

**INGENIERÍA DE FACTIBILIDAD DEL FTSF, WRF, ESTUDIOS GEOTÉCNICOS PARA CANTERAS, CIMENTACIÓN DE ESTRUCTURAS Y TRABAJOS DE QA/QC DE LAS INVESTIGACIONES GEOTÉCNICAS DE CAMPO Y LÍNEA BASE HIDROGEOLÓGICA**

FEASIBILITY ENGINEERING FTSF, WRF, GEOTECHNICAL STUDIES FOR BORROW PIT, FOUNDATION OF STRUCTURES AND QA/QC WORK OF GEOTECHNICAL FIELD INVESTIGATIONS AND HYDROGEOLOGICAL BASELINE

**RESUMEN EJECUTIVO ESTUDIO DE GEOLOGÍA / STUDY OF GEOLOGY**

Preparado para / Prepared for:

ATICO MINING CORPORATION

LA PLATA PROJECT



Elaborado por:

SINCO INGENIERIA & CONSTRUCCION SAC

Informe.: SC-006-2021-100-GE-01

Agosto, 2021 / August 2021

**Estado de Revisión/Revisión Status**

Rev.	Fecha/Date	Descripción/Description	Elaborado/Prepared		Aprobado/Approved	
			Name Surname	Cargo/Role	Name Surname	Cargo/Role
A	19/04/2021	Revisión interna SINCO	M. Díaz	Ingeniero de Proyecto	A. García	Jefe de estudio
B	20/06/2021	Para Revisión del cliente	M. Díaz	Ingeniero de Proyecto	A. García	Jefe de estudio
0	12/08/2021	Para Revisión del cliente	M. Díaz	Ingeniero de Proyecto	A. García	Jefe de estudio

CONTENIDO

**1 MARCO GEOLÓGICO REGIONAL..... 6**

**1.1 GEOMORFOLOGÍA..... 6**

**1.1.1 Unidades geomorfológicas regionales..... 6**

1.1.1.1 Vertientes externas de la cordillera occidental..... 6

1.1.1.2 Vertientes y relieves de cuencas interandinas..... 6

1.1.1.3 Medio aluvial de sierra ..... 7

**1.2 ESTRATIGRAFÍA ..... 7**

1.2.1 Unidad Pallatanga (Kpa), ..... 7

1.2.2 Unidad Mulaute (Kmi). ..... 7

1.2.3 Unidad Macuchi (PcEm)..... 8

1.2.4 Rocas intrusivas ..... 8

1.2.5 Terrazas cuaternarias (QT). ..... 8

**2 MARCO GEOLÓGICO LOCAL ..... 9**

**2.1 LITOESTRATIGRAFÍA LOCAL ..... 10**

2.1.1 Unidad Macuchi..... 10

2.1.2 Depósitos cuaternarios..... 12

2.1.2.1 Depósitos Aluviales ..... 12

2.1.2.2 Depósitos Coluvio - aluviales ..... 12

**2.2 GEOMORFOLOGÍA..... 14**

2.2.1 Pendiente de lo Terrenos..... 14

2.2.2 Sistema de Clasificación Geomorfológica..... 15

2.2.3 Paisajes de Montañas y colinas denudacionales ..... 15

**2.3 GEOESTRUCTURAS LOCALES..... 16**

**3 GEODINÁMICA..... 19**

**3.1 GEODINÁMICA INTERNA ..... 19**

3.1.1 Tectónica ..... 19

3.1.2 Vulcanismo ..... 21

**3.2 GEODINÁMICA EXTERNA ..... 23**

**3.3 PELIGROS GEOLÓGICOS ..... 24**

3.3.1 Deslizamientos..... 24

3.3.2 Derrumbes..... 27

3.3.3 Corrientes de tierra lentas (Arrastre) ..... 29

3.3.4 Subsistencia ..... 31

<b>3.4</b>	<b>GRADO DE PELIGROSIDAD DE LOS FENÓMENOS GEODINÁMICOS .....</b>	<b>32</b>
3.4.1	Grado de Peligrosidad en Deslizamientos.....	33
3.4.2	Grado de Peligrosidad en Derrumbes.....	37
3.4.3	Grado de Peligrosidad en Corrientes de tierra lentas (Arrastre) .....	39
3.4.4	Grado de Peligrosidad en Subsistencia .....	39
<b>3.5</b>	<b>GEOLOGÍA LOCAL DEL EMPLAZAMIENTO DEL DEPÓSITO DE RELAVES FILTRADOS.....</b>	<b>40</b>
<b>3.6</b>	<b>GEOLOGÍA LOCAL DEL EMPLAZAMIENTO DEL DEPÓSITO DE DESMONTES-01 .....</b>	<b>40</b>
<b>3.7</b>	<b>GEOLOGÍA LOCAL DEL EMPLAZAMIENTO DEL DEPÓSITO DE DESMONTES 2.....</b>	<b>41</b>
<b>3.8</b>	<b>GEOLOGÍA LOCAL DEL EMPLAZAMIENTO DE LA PLANTA DE PROCESOS .....</b>	<b>41</b>
<b>3.9</b>	<b>GEOLOGÍA LOCAL DEL EMPLAZAMIENTO DE LA ESTACIÓN AUXILIAR DE TRANSFERENCIA .</b>	<b>42</b>
<b>4</b>	<b>REFERENCIAS.....</b>	<b>43</b>

## RELACIÓN DE CUADROS

Cuadro 8: Rango de pendientes del terreno .....	15
Cuadro 9: Unidades de Paisajes Geomorfológicos .....	15
Cuadro 11: Cuadro resumen de deslizamientos identificados en la zona de proyecto .....	24
Cuadro 12: Resumen de la características y resumen de los derrumbes identificados en la zona de proyecto.....	28
Cuadro 13: Resumen de la características y resumen de los arrastres identificados en la zona de proyecto.....	30
Cuadro 14: Resumen de la ubicación de los puntos de subsidencia en la zona de proyecto .....	32
Cuadro 15: Clasificación de grado de peligrosidad .....	33
Cuadro 16: Grado de peligrosidad de deslizamientos.....	33
Cuadro 17: Grado de peligrosidad en derrumbes.....	37
Cuadro 18: Grado de peligrosidad en corrientes de tierra lentas.....	39
Cuadro 19: Grado de peligrosidad en subsidencia.....	39

## RELACIÓN DE FIGURAS

Figura N° 2 Mapa geológico regional del proyecto minero La Plata .....	9
Figura N° 3 Secuencia de lavas andesíticas en el margen derecho de la quebrada Alambique .	10
Figura N° 4 Lavas en almohadillas o pillow de lavas andesíticas en el lecho de la quebrada Alambique .....	11
Figura N° 5 Material volcánico sedimentario conformado por cenizas volcánicas con lentes de arcillas y suelo residual .....	11
Figura N° 6 Depósitos aluviales en el lecho de la quebrada Florida .....	12
Figura N° 7 Depósitos coluvio - aluviales en las paredes de la quebrada "sin nombre" que cruza el depósito de relaves filtrados. ....	13
Figura N° 8 Montañas fuertemente disectadas (MD2) y colinas moderadamente disectadas (CD1) .....	16
Figura N° 9 Contacto entre brecha de falla alterada y brecha silicificada (falla antigua), con orientación N62W/70NE .....	17
Figura N° 10 Falla inversa ubicada en un corte de la vía cercana al poblado de La Florida. ....	18
Figura N° 11 Esquema de la geología regional del proyecto La Plata .....	21
Figura N° 12 Vista del volcán Cotopaxi desde el sector Palo Quemado .....	23
Figura N° 13 Escarpa de deslizamiento semicircular ubicado en la zona de emplazamiento de los	

relaves filtrados (G-01).....	27
Figura N° 14 Cono de escombros asociados por un derrumbe próximo a la vía de acceso. ....	29
Figura N° 15 Zona de arrastre o movimientos de tierra.....	31
Figura N° 16 Zona de subsidencia o hundimiento ocurrido identificado .....	32

## **1 MARCO GEOLÓGICO REGIONAL**

### **1.1 GEOMORFOLOGÍA**

#### **1.1.1 Unidades geomorfológicas regionales**

A nivel regional en la zona de emplazamiento del proyecto, se tienen identificadas un grupo de unidades geomorfológicas regionales las cuales han sido también estudiadas por el Ministerio de Agricultura y Riego del Ecuador (MAGAP, 2015) y se mencionan a continuación:

##### **1.1.1.1 Vertientes externas de la cordillera occidental**

Esta unidad geomorfológica está conformada por un conjunto de relieves imponentes, con vertientes que se caracterizan por grandes desniveles y pendientes fuertes, desarrollándose fundamentalmente sobre rocas ígneas intrusivas y rocas metamórficas, con cobertura de material piroclástico.

Este dominio se localiza por la zona central del cantón Sigchos, localizándose ambos lados del complejo volcánico de Almas Santas, en la zona septentrional, en ambos márgenes del río Toachi y en la zona occidental, con alturas que oscilan entre los 800 y 3.800 msnm.

Consta de relieves desarrollados mayoritariamente en rocas compuestas por areniscas volcánicas de grano grueso, brechas, tobas, hialoclastitas, limolitas volcánicas, microgabros-diabasas, basaltos sub-porfíricos, lavas en almohadillas y escasas calcarenitas, de la Formación Macuchi de edad Cretácica, se caracteriza por vertientes rectilíneas y heterogéneas y relieves volcánicos colinados, con una marcada red de drenaje, principalmente formada por la erosión de los barrancos.

##### **1.1.1.2 Vertientes y relieves de cuencas interandinas**

Las cuencas de la Sierra volcánica norecuatoriana están drenadas por redes hidrográficas, entre las cuales se dirigen hacia la costa. Estas incisiones se incluyen dentro de estrechos corredores interandinos, incluyendo este dominio, fragmentado y discontinuo, las zonas más elevadas de dicho pasillo o depresión. Los relieves superiores del mismo llegan a contactar con el dominio de Cimas frías, en clara ruptura de pendiente con él. Los relieves inferiores, por su parte, enlazan con el otro dominio del corredor interandino, los Relieves de fondo de Cuencas Interandinas. La dirección meridiana que el dominio presenta en la zona septentrional de la Sierra, pasa a direcciones NO-SE y NNE-SSO en la parte central de la misma. Hacia la parte meridional de la Sierra, la Cordillera Real queda como la única franja continua de relieve y el corredor interandino, muy desdibujado.

Este dominio se localiza en la zona suroriental del cantón Sigchos, en las zonas más altas correspondientes a las cabeceras de los ríos Toachi y Cumbijín, el dominio presenta pendientes elevadas y pronunciada disección, donde llega a descender hasta los 3.200 msnm. Las vertientes y relieves inferiores aparecen con pendientes globalmente más suaves una disección menos acusada; estas vertientes inferiores llegan a descender hasta 2.400 msnm.

### 1.1.1.3 Medio aluvial de sierra

El dominio incluye las diferentes formas fluviales de la red hidrográfica actual y sus depósitos asociados en la región Sierra.

Se consideran pertenecientes a este dominio, con carácter general, los valles fluviales-llanuras de inundación y sistemas de terrazas asociados. Las formas fluviales de incisión (barrancos, valles en V, gargantas) y ciertas formas poligénicas ligadas directamente al drenaje (coluvio-aluviales) se incluyen dentro del contexto morfológico en que se emplacen, salvo que manifiesten continuidad con el resto del sistema fluvial y atraviesen más de un contexto morfológico.

En la zona del proyecto, este dominio se incide dentro de los dominios fisiográficos de las Vertientes externas de la Cordillera Occidental y las Vertientes y relieves de Cuencas Interandinas, donde discurre el valle del río Toachi, con direcciones preferenciales N-S. También se localiza en ríos menos importante, repartidos por las zonas centrales y surorientales, donde transcurren los ríos Zarapullo, San Antonio, Quititoca, Cumbijín y Cutzhuato. Estos complejos fluviales se caracterizan por valle en V, encañonamientos y barrancos.

## 1.2 ESTRATIGRAFÍA

A nivel regional, se ha tomado como referencia la información del mapa geológico de la cordillera occidental del Ecuador entre 0° - 1° S, a escala 1:200000 (Hughes R.A., 1998).

Las Unidades cercanas a la zona del proyecto se muestran en la figura 1, y son las siguientes:

### 1.2.1 Unidad Pallatanga (Kpa),

Se presenta como lentes tectónicas con rumbo NNE-SSW a lo largo del borde oriental de la Cordillera Real. Son secuencias de basamento oceánico, pillow lavas basálticas, brecha de hialoclastita, microgabro y ofiolita. La edad de las rocas ígneas corresponde al Cretáceo Superior (McCourt et al., 1997).

### 1.2.2 Unidad Mulaute (KMi).

Está mejor expuesta en el río Mulaute, en el valle del río Pilatón y en el Piedemonte de La Palma, en la parte occidental de Palo Quemado, en el valle del río Toachi en contacto fallido con la

Unidad Macuchi. Tiene un espesor estimado de cientos de metros y una edad Campaniense debido a la presencia de foraminíferos.

Se trata de una secuencia volcanoclástica de abanico turbidítico submarino que deriva de una fuente andesítica. Está compuesta principalmente por brechas matriz soportadas de grano fino, masivas, conteniendo clastos volcánicos vesiculares que contienen piroxenos y feldespato potásico. Presenta también un grueso paquete de limolitas y argilitas laminadas gris oscuras, finogranulares y con intenso clivaje (Hughes & Bermudez, 1997).

### **1.2.3 Unidad Macuchi (PcE<sub>M</sub>).**

Esta unidad abarca toda la zona de emplazamiento de los componentes del proyecto y se encuentra al SO de la falla Toachi-Toacazo. Su límite por el este, se encuentra debajo de las terrazas cuaternarias en la meseta costera.

A partir de la fauna encontrada en los sedimentos de esta secuencia, se designa una edad correspondiente al Eoceno. Está compuesta principalmente de una secuencia sedimentaria en aproximadamente un 90% y el resto corresponde a pillow-lavas e intrusiones diabásicas. Se han reportado dos secuencias de pillow-lavas que aparecen en el río Toachi. Una secuencia occidental formada por lavas basálticas a andesíticas con cherts intercalados. La secuencia oriental presenta numerosas láminas de pillow-basaltos de hasta 50 m de espesor intercaladas en pillow-brechas matriz-soportadas, con areniscas de grano grueso de composición basáltica y hialoclastitas. Las areniscas son típicamente cuarzo-feldespáticas y ricas en fragmentos líticos con clastos andesíticos y basálticos con piroxeno y plagioclasa, de grano fino y vesiculares. Cuerpos de diabasa, en forma de diques y pequeños intrusivos, probablemente representan intrusiones de alto nivel y alimentadores de magma. La mayoría de las facies de la Unidad Macuchi son el resultado de erupciones efusivas submarinas, basálticas a andesíticas. (BGS, 1993).

### **1.2.4 Rocas intrusivas**

Se ubican unos 5 km al oeste de la zona del proyecto como afloramientos de morfología redondeada y de 1,5 km de diámetro, formados por granitoides, específicamente granodioritas de grano grueso con hornblenda y biotita.

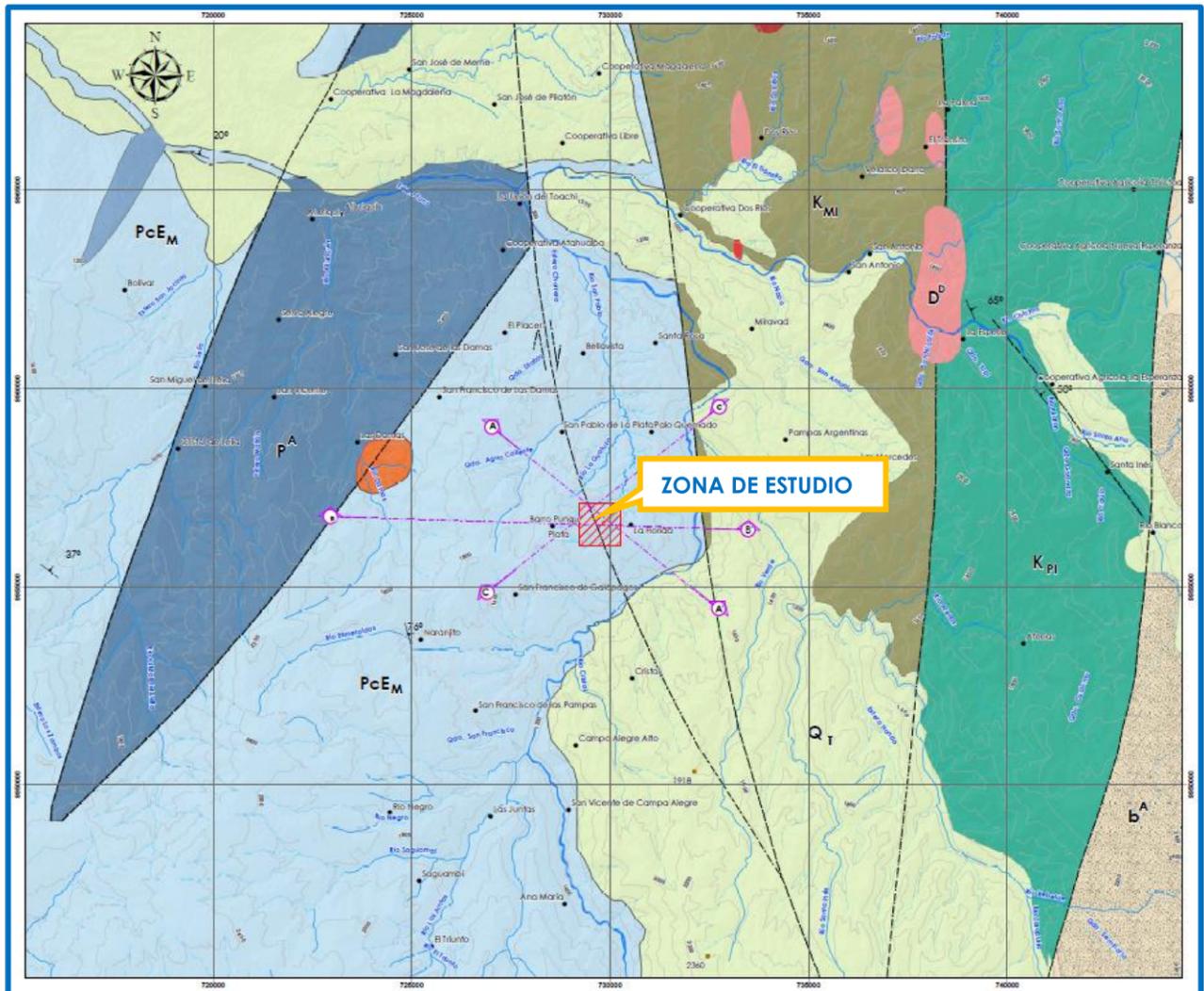
También se reportan afloramientos de microtonalitas y dioritas en los alrededores de Zumbagua y entre la ruta Aloag-Santo Domingo. Se le asigna edades que van del Eoceno al Mioceno Superior (Eguez, 1986).

### **1.2.5 Terrazas cuaternarias (QT).**

Estas terrazas cubren el basamento de rocas del Cretácico-terciario en una amplia zona. Están

compuestos por lahares y conglomerados (antiguos aluviales) originados por la actividad de volcanes cercanos como Quilotoa, Los Illinizas, Almas Santas, Corazón y Atacazo. El espesor de estos materiales superficiales puede alcanzar los 300 m y se limitan a los valles de los principales sistemas de drenaje. Sin embargo, pueden alcanzar una anchura de varios kilómetros cuando llegan a la parte más plana, formando depósitos de abanico.

**Figura N° 1 Mapa geológico regional del proyecto minero La Plata**



Fuente: R.A. Hughes, R. Bermúdez y G.E. Espinel , 1998  
Ver Plano SC-006-2021-GL-RG-01

## 2 MARCO GEOLÓGICO LOCAL

Las áreas de emplazamiento de los componentes mineros del proyecto se caracterizan por

presentar escasos afloramientos de roca de origen volcánico y volcánico-sedimentario, principalmente en las quebradas y cortes de la vía con cobertura de suelos coluvio-aluviales y depósitos aluviales en los cauces de quebradas.

## 2.1 LITOESTRATIGRAFÍA LOCAL

Las unidades litoestratigráficas locales observadas en la zona del proyecto se detallan a continuación:

### 2.1.1 Unidad Macuchi.

Esta unidad litoestratigráfica forma parte de todo el basamento rocoso encontrado en los componentes proyectados. Está conformado por lavas andesíticas, pillow lavas cubiertas por material volcánico sedimentario conformado por cenizas volcánicas consolidadas correspondientes al eoceno. A nivel superficial, en el lecho y paredes de las quebradas se ha registrado evidencia de estos afloramientos.

**Figura N° 2 Secuencia de lavas andesíticas en el margen derecho de la quebrada Alambique**



**Fuente:** Elaboración Propia

**Nota:** Se observa una pseudoestratificación subhorizontal (línea amarilla).

**Figura N° 3 Lavas en almohadillas o pillow de lavas andesíticas en el lecho de la quebrada Alambique**



**Fuente:** Elaboración Propia

**Nota:** Nótese las formas redondeadas típicas de este tipo de lavas.

**Figura N° 4 Material volcánico sedimentario conformado por cenizas volcánicas con lentes de arcillas y suelo residual**



**Fuente:** Elaboración Propia

Según lo registrado en la perforación P-05 ubicado en la zona de influencia del depósito de relaves filtrado, a una profundidad de 31.52 m, aparecen depósitos volcánico sedimentarios compuestos por cenizas volcánicas consolidadas con tobas hasta los 40,90 m se tiene roca fracturada compuesta por roca de tipo dolerita con presencia de óxidos de hierro en las fracturas. La resistencia de la roca aumenta en profundidad y se hace más competente y menos intemperizada con presencia de venillas de sílice rellenas en las fracturas.

## 2.1.2 Depósitos cuaternarios

### 2.1.2.1 Depósitos Aluviales

Son materiales transportados y depositados por acción del agua en las zonas que forman los cauces de las quebradas. Representan un 5% en promedio de todo el material existente en el área del proyecto.

La litología de estos depósitos se caracteriza por presentar cantos de forma subredondeada a redondeada, el tamaño de los cantos es variado desde 0,05 m hasta 0,20 m promedio. No se observa grandes bloques ni bolonería debido a la baja energía de transporte y suaves pendientes.

**Figura N° 5 Depósitos aluviales en el lecho de la quebrada Florida**



**Fuente:** Elaboración Propia

### 2.1.2.2 Depósitos Coluvio - aluviales

Estos depósitos son transportados por las aguas de escorrentía y la gravedad, con poco recorrido, por lo que predominan las arcillas limosas, limos arcillosos con lentes de arena y cenizas volcánicas que evidencian la actividad volcánica en el cuaternario reciente.

Estos depósitos cubren la mayor cantidad de la zona del proyecto y a su vez subyacen a coberturas de 0,30 a 0,50 m de suelos orgánicos.

**Figura N° 6 Depósitos coluvio - aluviales en las paredes de la quebrada "sin nombre" que cruza el depósito de relaves filtrados.**



**Fuente:** Elaboración Propia

**NOTA:** Imagen ubicada en la parte inferior del lecho de la quebrada con presencia de depósitos aluviales.

(1) La ubicación de la imagen es en las coordenadas 729753E y 9956671N en el sistema de coordenadas UTM WG84 en la zona 17S

Según los registros de las calicatas y perforaciones ejecutadas en la zona del proyecto, así como en los cortes de las vías de acceso y quebradas adyacentes, se ha podido observar una capa superficial de material orgánico (top-soil) de un espesor de 0,20 a 0,30 m en promedio, seguido de capas de arcillas limosas con lentes de arenas limosas de origen volcánico hasta una profundidad promedio de 30 m (perforación PC-05).

## 2.2 GEOMORFOLOGÍA

Para su evaluación, se ha recurrido al análisis de imágenes obtenidas mediante ortofotos con vuelo de dron y topografía a escala regional (1:50000) y a escala local (1:10000) donde se ha podido extraer información sobre alineamientos, contactos, zonas de acumulación superficial, desgarres, arrastre de material, flujos de detritos y coluviones.

Las geoformas de área de estudio se ubican en el Gran Paisaje denominado Región Subandina Occidental, la que se presenta alargada en sentido norte-sur y paralela al levantamiento general de la Cordillera de los Andes.

Las geoformas son relieves principalmente denudacionales derivados de las unidades litológicas existentes en la zona de estudio. Fisiográficamente, corresponden a un conjunto de mesas, cuestras, quebradas, montañas y colinas de pendientes que van desde moderadas a fuertes.

Debido a la presencia de suelos finos, los factores climatológicos con alta pluviosidad, las pendientes y las características del basamento se producen procesos erosivos de tipo gravitacional e hidrodinámico muy activo, de manera que el manejo inadecuado de los pastos y la cobertura vegetal provocan la pérdida del suelo por erosión.

### 2.2.1 Pendiente de lo Terrenos

Un aspecto relevante para la descripción de las unidades geomorfológicas aparte del relieve, es la pendiente de los terrenos (laderas).

La pendiente es uno de los principales factores dinámicos y particularmente de los movimientos en masa, ya que determinan la cantidad de energía cinética y potencial de una masa inestable (Medina et al, 2016), es un parámetro importante en la evaluación de procesos de movimientos en masa, como factor condicionante.

Se puede decir que es más fácil que ocurran movimientos en masa, en laderas y cauces cuya pendiente principal varía entre media a fuerte ( $> 30^\circ$ ), también es más alta la erosión de laderas (laminar, surcos y cárcavas) en colinas o montañas, ya que a mayor pendiente se facilita el escurrimiento superficial y por ende la erosión hídrica o pluvial (Medina et al, 2016).

Sin embargo, algunos procesos lentos como la reptación de suelos y ocasionales deslizamientos, ocurren con un mínimo de pendiente (Medina et al, 2016).

El mapa de pendientes para el área de estudio se ha elaborado con espaciamiento de curvas de nivel cada 5 m, las cuales fueron procesadas con el programa ArcGIS a partir de modelos de elevación digital disponibles. Se tomaron en consideración seis rangos o grados de pendiente moderada ( $5^\circ$ - $15^\circ$ , media), pendiente fuerte ( $15^\circ$ - $25^\circ$ ), pendiente muy fuerte ( $25^\circ$ - $45^\circ$ ) y pendiente

muy escarpada (>45°, abrupta); estas se describen en el siguiente cuadro:

**Cuadro 1:** Rango de pendientes del terreno

Rango de pendiente	Superficie topográfica	Descripción
0°-1°	Terreno llano a algo inclinado	Se ubica principalmente en el fondo del valle, en la cima de las montañas y en algunos sectores del deslizamiento antiguo en proceso de reactivación.
1°-5°	Terreno inclinado con pendiente suave	
5°-15°	Pendiente moderada	
15°-25°	Pendiente fuerte	Se sitúa en toda el área urbana y en las laderas de los cerros del sector.
25°-45°	Pendiente muy fuerte a escarpada	Se ubica en las laderas de los cerros del sector.
Mayor a 45°	Pendiente muy escarpada	Superficie muy limitada en el área de estudio.

Fuente: Elaboración Propia

## 2.2.2 Sistema de Clasificación Geomorfológica

La nomenclatura utilizada para la geomorfología, depende de su jerarquía. En el siguiente cuadro se presenta una breve descripción de las unidades geomorfológicas identificadas y su jerarquía.

**Cuadro 2:** Unidades de Paisajes Geomorfológicos

Unidades Geomorfológicas			Símbolo en el Mapa	Pendiente del Terreno	Descripción
Región	Sistemas	Unidades del Paisaje			
Región Subandina Occidental	Montañas y colinas denudacionales	Colinas moderadamente disectadas	CD1	5-25%	Colinas bajas a medias, disectadas, redondeadas, simétricas.
		Montañas moderadamente disectadas	MD1	25-45%	Montañas, moderadamente disectadas, de cimas alargadas.
		Montañas fuertemente disectadas	MD2	45-75%	Montañas, fuertemente disectadas, de cimas alargadas.

Fuente: Elaboración Propia

A continuación, se hace una descripción de los paisajes geomorfológicos del área de estudio:

## 2.2.3 Paisajes de Montañas y colinas denudacionales

- Colinas moderadamente disectadas (CD1)

Este relieve de colinas varía en su altura y pendiente, en función de su naturaleza litológica de la Unidad Macuchi, en la que se intercalan diferentes fases magmáticas. El desarrollo de mayor relieve se debe a zonas de acumulación de materiales volcánicos – sedimentarios. Es un paisaje colinar disectado, con un avenamiento subdendrítico de densidad media a baja, cuyas cimas son alargadas generalmente.

- Montañas moderadamente disectadas (MD1)

Estas unidades de paisaje corresponden a los flancos menos abruptos de las depresiones, cuyo relieve es poco disectado, con predominio de cimas agudas alargadas, con altitudes menores a los 2.053 m.s.n.m. La topografía dominante es la socavada, con pendientes que bordean el 50%, con un patrón de drenaje de subparalelo a dendrítico y de densidad baja, con desarrollo de suelos de origen residual, sobre rocas intrusivas y volcánicas antiguas.

- Montañas fuertemente disectadas (MD2)

Esta unidad de paisaje corresponde a los relieves de mayor elevación, hasta los 2.200 m.s.n.m., sobre rocas intrusivas y volcánicas antiguas, de relieve muy disectado, con predominio de cimas agudas, con flancos de las depresiones más abruptos. La topografía dominante es la socavada, con pendientes que sobrepasan el 50%, con un diseño del drenaje dendrítico a subparalelo, de densidad media, donde se han desarrollado suelos de origen residual, sobre rocas intrusivas y volcánicas antiguas.

**Figura N° 7 Montañas fuertemente disectadas (MD2) y colinas moderadamente disectadas (CD1)**



**Fuente:** Elaboración Propia

El total de los componentes del proyecto, debido a sus características morfológicas y de relieve, se enmarcan dentro de la unidad de colinas moderadamente disectadas.

### **2.3 GEOESTRUCTURAS LOCALES**

De las inspecciones en campo que incluyeron a los afloramientos en quebradas, cortes de la vía y registros de perforación en el área de emplazamiento de los componentes mineros, así como la

revisión y verificación en campo de la información registrada por Heredia, E. (2018) [8]. De acuerdo al mencionado estudio, se tienen definidas y verificadas la presencia de una falla con orientación E-W, denominada Falla Castellano; asimismo, el estudio de referencia muestra estructuras como secundarias o subordinadas y con orientación NW-SE y WNW-ESE.

Un grupo zonas de deslizamientos alineados en dirección N-S, ubicados en la cabecera de las quebradas La Florida y Alambique, estarían asociados a la presencia de material triturado causado por la Falla Toachi por lo que se el material triturado sumado a las condiciones climáticas y de pendiente asociado a esta falla serían los factores detonantes de estos deslizamientos.

De acuerdo a las inspecciones realizadas por Heredia, (2018) se señalaron 30 m de ancho con perturbación tectónica formado por brecha de falla silicificada, con material arcilloso alterado. Esta falla tiene una orientación de N65°W/ 70°NE en la quebrada Castellano considerada como una falla antigua inactiva debido a estado silicificado que presenta esta falla.

**Figura N° 8 Contacto entre brecha de falla alterada y brecha silicificada (falla antigua), con orientación N62W/70NE**



**Fuente:** E. Heredia, 2018

Asimismo, las fallas encontradas en las perforaciones exploratorias CMLP-17-93 ubicadas a profundidades entre 62 y 101 m.

En la quebrada Mala, se ha encontrado una falla con orientación NE (Heredia, 2018). Esta estructura pone en contacto una roca altamente fracturada y silicificada, que controla estructuralmente el curso de la quebrada Mala.

A una distancia de 1 km al SW de la zona de emplazamiento de los componentes, en las coordenadas UTM WGS84, zona 17S: E 728639, N 9955932, en un corte de la vía, se ha encontrado una falla inversa de rumbo N70°E/ 70°NW, tal como se puede apreciar en la siguiente fotografía:

**Figura N° 9** Falla inversa ubicada en un corte de la vía cercana al poblado de La Florida.



**Fuente:** Elaboración Propia

**Nota:** Indicadores cinemáticos dados por los pliegues de arrastre y la estructura principal

En la actualidad las estructuras locales cartografiadas, no reflejan ningún movimiento a escala visual manifestándose como ruptura escalonada del material cuaternario por lo que no se consideran como fallas activas.

### 3 GEODINÁMICA

#### 3.1 GEODINÁMICA INTERNA

La dinámica del interior de la tierra es la que guía los procesos geológicos más espectaculares tales como: terremotos, erupciones volcánicas, tsunamis, el movimiento de las placas tectónicas entre otras.

##### 3.1.1 Tectónica

La tectónica a nivel regional del Ecuador se puede dividir en dos grandes zonas. Una parte del territorio del norte está incluida en una microplaca denominada bloque andino, que forma parte de la placa sudamericana. Esta a su vez interactúa entre las placas de Nazca, Cocos y el Caribe. Mientras que la región sur del Ecuador está en interacción entre la placa oceánicas de América del Sur y la de Nazca.

Este marco tectónico particular ha producido tres inclinaciones diferentes de la Placa de Nazca que subduce en la Placa Continental (Taipe, 2013):

- Desde la latitud 1°N al norte del territorio, una subducción normal con un ángulo de inclinación de 35°
- En el espacio formado por las latitudes 1°N y 3°S, hay una inclinación de 25°
- La tercera zona de inclinación desde la latitud 3°S al sur, tiene un ángulo inferior a 25°

Este comportamiento dinámico ha generado un sistema de fallas llamado "Gran Sistema Dextral" (Alvarado, 2012) que presenta una concentración de fallas en la Sierra ecuatoriana. Este sistema de fallas, junto con el proceso de subducción, representan las principales fuentes de terremotos en Ecuador.

La tasa de deslizamiento de la zona de subducción varía a lo largo de la costa de Ecuador (Chlieh M., et al, 2014) indica velocidades de desplazamiento de la placa de Nazca que van desde 15-25 mm/año en la costa norte, entre 26 a 36 mm/año para el área de la Isla de la Plata y entre 5 y 15mm/año para la Península de Santa Elena hacia el Sur. La convergencia relativa resultante entre las placas de Nazca y América del Sur es de 46 mm/año.

La zona de emplazamiento de los componentes del proyecto se encuentra ubicados en el lado occidental de la Cordillera de los Andes. En esta zona predomina la presencia de rocas volcánicas y volcánico-sedimentarias del Mesozoico – Cenozoico, de origen marino (arcos de islas y suelo oceánico) y turbidita clástica conectada al continente en forma de terrenos separados por estructuras importantes como la falla Toachi-Toacazo que pasaría cerca de Palo Quemado (Figura

Nº 1.) Es interesante notar que un ramal de esta falla atraviesa el área donde se realizaban las antiguas actividades mineras y es el área de emplazamiento para los presentes estudios. Trabajos especializados en geología estructural realizados en el proyecto minero La Plata, confirman que el dominio estructural de primer orden en esta zona consiste en una falla del curso N-S, con inmersión subvertical y rasgo dextral (Davis, 2017).

La falla regional divide dos secuencias: al oeste, rocas volcánicas submarinas y volcánicas clásticas de la Unidad Macuchi del Paleoceno al Eoceno Temprano con pillow-lavas y cuerpos intrusivos relacionados; y al este, una secuencia más antigua correspondiente a los volcanoclásticos de la Unidad Mulaute del Cretáceo (BGS & CODIGEM, 1999; BISA, 2015; Toachi Mining Inc, 2017).

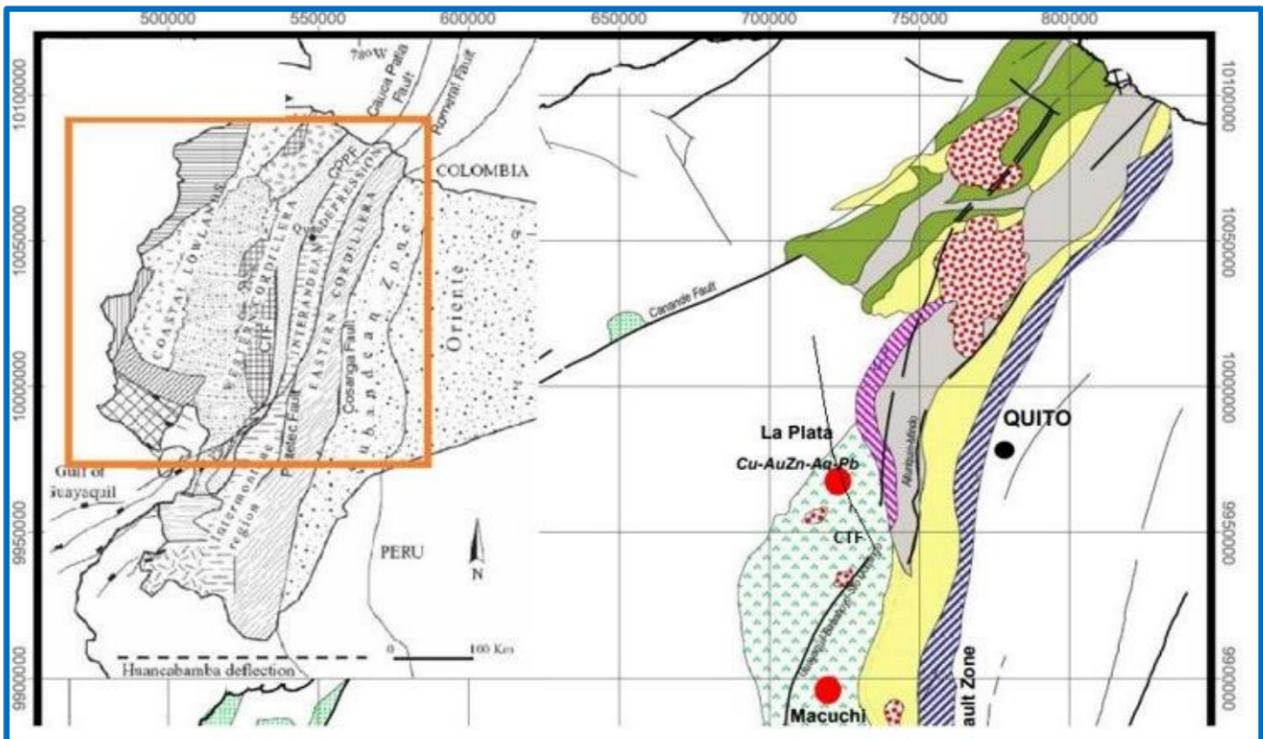
La Unidad Macuchi aparece por más de 500 km con rumbo NNE -SSW y hasta 50 km de espesor. En la frontera oeste, hay depósitos Cuaternarios no clasificados de la Costa. Mientras que, al este del distrito de La Plata, existen las fallas Toachi y Pilato-Sigchos.

Todos los Sulfuros Masivos (VHMS) alojados en Volcánicos que se encuentran en la Cordillera de los Andes occidentales se encuentran dentro de la Unidad Macuchi. Los depósitos más importantes son del distrito de La Plata, donde se encuentra el proyecto minero La Plata. El depósito Macuchi, ubicado a unos 65km al sur de La Plata (Figura Nº 1), y el depósito El Domo, 100km al sur de La Plata. Estos tres depósitos representan ejemplos de mineralización de tipo Kuroko (Toachi Mining Inc, 2017).

La Figura Nº 1 muestra la presencia de depósitos intrusivos terciarios que afectan depósitos de origen marino. Finalmente, existen depósitos cuaternarios que cubren el basamento oceánico y siguen los antiguos arroyos de los ríos Toachi y Pilatón, que al final forman un gran depósito en abanico donde se ubica la ciudad de Santo Domingo de los Tsáchilas.

En esta zona, la falla regional Toachi está orientada N-NE y hay fallas menores con rumbo E-W aproximadamente, según se interpreta a partir de los desplazamientos de algunas unidades geológicas, pero probablemente tengan ocurrencia local. La falla se reporta en la ciudad de Unión del Toachi en el valle del río Toachi, donde puede estar presente como cinco zonas de cizallamiento con indicadores de movimiento dextral. Se considera que esta falla tiene actividad cuaternaria.

Figura N° 10 Esquema de la geología regional del proyecto La Plata



Fuente: Hydrogeology and Hydrology report, TOACHIEC EXPLORACIONES MINERAS S.A

De acuerdo con los resultados de la desagregación sísmica obtenidos en el estudio de peligro sísmico, se ha determinado que los sismos que contribuyen en mayor proporción serían los correspondientes a fallas activas cercanas (sismos corticales).

Las fallas de río Baba, Valencia-La Maná y Machachi, serían las más cercanas a la zona del proyecto y de las que se tienen mayor información bibliográfica como la reportada por Eguez et al. (Eguez, A. et al, 2003).

### 3.1.2 Vulcanismo

La actividad volcánica está relacionada a los cinturones móviles de los Andes ecuatorianos. La mayoría de los volcanes activos del Ecuador se ubican en las cordilleras Occidental y Real, normalmente entre los 110 y 150 km de la zona de Benioff, con excepción del eje Cerro Hermoso-Sumaco-Pan de Azúcar-Reventador, que se ubica entre 170 y 180 km de esta zona, este eje se emplaza en el sector subandino.

El volcán Cotopaxi es el volcán más cercano a la zona de estudio, ubicado al SE a una distancia de 65 km, en línea recta a la zona del proyecto. Es un cono simétrico que indica actividad reciente, se lo considera como activo. Su edificio se levanta sobre rocas de basamento metamórfico regional, el cual consiste en una secuencia de rocas Paleozoicas, Jurásicas, Cretácicas y Terciarias (Litherland et al., 1994).

La última erupción ríolítica, ocurrió hace 4500 años A.P., donde el edificio volcánico se volvió inestable. Parte del flanco Noreste del edificio se derrumbó formando una avalancha de escombros de gran volumen (2,1 Km<sup>3</sup>). La avalancha fue precedida y seguida por grandes flujos piroclásticos (Hall et al., 2005).

El glaciar que se fundió en esa erupción, dio lugar a la formación de un gigantesco lahar conocido como "Lahar del Valle de Los Chillos". Este lahar fluyó hasta llegar al océano Pacífico. El volumen del depósito ha sido calculado en 3,8 km<sup>3</sup> (Mothes et al., 1998).

Desde hace 4500 años A.P., la actividad en el volcán ha continuado hasta la actualidad. Donde todas las erupciones han sido de carácter andesítico, excepto una pequeña erupción ríolítica ocurrida hace 2100 años A.P. Estas erupciones han construido gran parte del edificio actual, conocido como "Cotopaxi II-B" (Hall & Mothes, 2007).

En la estratigrafía del Cotopaxi II-B se puede reconocer al menos 18 ciclos eruptivos, de magnitud moderada a grande (Índice de Explosividad Volcánica "VEI"  $\geq 3$ ). Cada ciclo se caracteriza por fenómenos eruptivos similares, los que incluyen caídas plinianas de escoria o pómez, flujos piroclásticos de escoria o pómez, coladas de lava y extensos flujos de escombros (lahares) (Hall & Mothes, 2007).

Los cinco períodos más importantes ocurrieron entre: 1532-1534, 1742-1744, 1766-1768, 1853-1854 y 1877-1880. En cada uno de estos períodos de actividad fueron frecuentes los flujos piroclásticos, las caídas de ceniza a nivel regional, pequeños flujos de lava y grandes lahares muy destructivos (Hall & Mothes, 2007).

Luego de la erupción de 1877, el Cotopaxi continuó con actividad moderada a leve por varios años, principalmente explosiones esporádicas y emisiones leves de ceniza (Andrade et al., 2005).

De lo observado en los recorridos realizados en la zona de emplazamiento del proyecto, se ha encontrado capas superficiales de caída de cenizas volcánicas y tobas correspondientes a materiales volcánicos ocurridos en el cuaternario reciente. Sin embargo, no se ha encontrado detritos o paleocanales de flujos de lahares que discurran por las áreas de influencia del proyecto.

El grado de peligrosidad de relacionado a erupciones volcánicas, pueden estratificarse en cuatro niveles: bajo, medio, alto y muy alto, cuyas características y su valor correspondiente, considerando la distancia a la zona de ubicación del volcán Cotopaxi, se concluye que el nivel de peligro por actividad volcánica que afecte la zona de estudio es considerado como de nivel bajo.

**Figura N° 11 Vista del volcán Cotopaxi desde el sector Palo Quemado**

**Fuente:** Elaboración propia.

### **3.2 GEODINÁMICA EXTERNA**

La geodinámica externa comprende el conjunto de factores y fuerzas externas, capaces de modelar la superficie de la corteza a causa de la erosión y/o socavamiento, esto según la escala y fuerza del agente, ejemplo: El agua, viento, hielo. Además, producto de las erosiones en la parte baja de las pendientes, la sobre saturación de los suelos y la deforestación de las laderas se desencadenan eventos o peligros geológicos como: Derrumbes, deslizamientos, remociones en masas.

En esta sección se proporciona una visión aproximada de los tipos de acciones erosivas identificando sus magnitudes e intensidades.

Hasta la fecha no se ha encontrado reportes relacionados a fenómenos ocurridos de movimiento de laderas de grandes magnitudes en esta área específica, pero habiendo analizado la información existente y evaluado las condiciones actuales del sector, se estima que los factores condicionantes o desencadenantes que puedan propiciar fenómenos geodinámicos en las inmediaciones de la zona de estudio son el clima, las precipitaciones, los cambios en las condiciones hidrogeológicas de las laderas, sismos y algunos cambios por acciones antrópicas.

### 3.3 PELIGROS GEOLÓGICOS

#### 3.3.1 Deslizamientos

Se trata del movimiento de material del talud a través de superficies de fallas con desplazamientos rotacionales, traslacionales o una combinación de ambos. En la zona del proyecto se presentan escarpas de deslizamiento recientes y antiguos por lo general próximos a las zonas de quebradas o altas pendientes. Asimismo, también se tiene un grupo de deslizamientos que sigue el alineamiento de la falla Toachi, la cual es una falla regional de rumbo N-NE.

En el siguiente cuadro se muestra las coordenadas (UTM WGS84, Zona 17S), con la ubicación de los deslizamientos y sus características registradas en campo:

**Cuadro 3: Cuadro resumen de deslizamientos identificados en la zona de proyecto**

ID	Este	Norte	Tipo de Evento	Descripción	Causas	Acciones
G-1	729765	9956674	Deslizamiento rotacional	Zona de quebrada, grietas sobre la cara del talud, escarpas de deslizamiento, grietas de tensión	Masa de suelos arcillosos a arcillo limosos en ladera de pendiente suave, cuyo detonante sería la saturación del suelo por aguas de escorrentía superficial.	Descarga de la corona del talud. Escalonado o banqueteo del talud. Mejoramiento del drenaje.
G-2	729670	9956548	Deslizamiento antiguo y arrastre	Ladera de colina de suave pendiente. Escarpas de deslizamiento antiguo y zonas de arrastre de suelos.	Masa de suelos arcillosos a arcillo limosos en ladera de pendiente suave, cuyo detonante sería la saturación del suelo por aguas de escorrentía superficial.	Descarga de la corona del talud. Escalonado o banqueteo del talud. Mejoramiento del drenaje.
G-3	729694	9956406	Deslizamiento antiguo	Ladera de colina de suave pendiente. Escarpas de deslizamiento antiguo.	Masa de suelos arcillosos a arcillo limosos en ladera de pendiente suave, cuyo detonante sería la saturación del suelo por aguas de escorrentía superficial.	Descarga de la corona del talud. Escalonado o banqueteo del talud. Mejoramiento del drenaje.
G-4	729540	9956670	Deslizamiento rotacional	Zona de quebrada. Escarpa de deslizamiento, asentamientos	Masa de suelos arcillosos a arcillo limosos en ladera de pendiente suave, cuyo detonante sería la saturación del suelo por aguas de escorrentía superficial.	Descarga de la corona del talud. Escalonado o banqueteo del talud. Mejoramiento del drenaje.

ID	Este	Norte	Tipo de Evento	Descripción	Causas	Acciones
G-5	729971	9957094	Deslizamiento rotacional	Cabecera de quebrada. Escarpa de deslizamientos	Masa de suelos arcillosos a arcillo limosos en ladera de pendiente suave, cuyo detonante sería la saturación del suelo por aguas de escorrentía superficial.	Descarga de la corona del talud. Escalonado o banqueteo del talud. Mejoramiento del drenaje.
G-6	730001	9957216	Deslizamiento rotacional	Zona de quebrada. Escarpa deslizamiento, asentamiento	Masa de suelos arcillosos a arcillo limosos en ladera de pendiente suave, cuyo detonante sería la saturación del suelo por aguas de escorrentía superficial.	Descarga de la corona del talud. Escalonado o banqueteo del talud. Mejoramiento del drenaje.
G-7	729958	9957174	Deslizamiento rotacional	Zona de quebrada. Escarpa deslizamiento, asentamiento	Masa de suelos arcillosos a arcillo limosos en ladera de pendiente suave, cuyo detonante sería la saturación del suelo por aguas de escorrentía superficial.	Descarga de la corona del talud. Escalonado o banqueteo del talud. Mejoramiento del drenaje.
G-8	730288	9956264	Deslizamiento traslacional	Ladera de fuerte pendiente. Escarpa deslizamiento, asentamiento. No afecta directamente a las zonas de emplazamiento de los componentes.	Masa de suelos arcillosos a arcillo limosos en ladera de pendiente fuerte, cuyo detonante sería la saturación del suelo por aguas de escorrentía superficial.	Debido a las dimensiones que presenta (100 m de escarpa), en esta zona de deslizamientos no sería viable la estabilización del mismo.
G-9	728693	9956281	Deslizamiento rotacional	Cabecera de la quebrada Florida. Escarpa de deslizamientos. No afecta directamente a las zonas de emplazamiento de los componentes.	Masa de suelos arcillosos a arcillo limosos en ladera de pendiente moderada, cuyo detonante sería la saturación del suelo por aguas de escorrentía superficial, Y material triturado de la falla Toachi	Debido a las dimensiones que presenta (100 m de escarpa), en esta zona de deslizamientos no sería viable la estabilización del mismo.

ID	Este	Norte	Tipo de Evento	Descripción	Causas	Acciones
G-10	729009	9956939	Deslizamiento rotacional	Zona de quebrada. Escarpa de deslizamiento, asentamientos	Masa de suelos arcillosos a arcillo limosos en ladera de pendiente fuerte, cuyo detonante sería la saturación del suelo por aguas de escorrentía superficial.	Descarga de la corona del talud. Escalonado o banqueteo del talud.
G-11	729137	9956891	Deslizamiento rotacional	Zona de quebrada. Escarpa de deslizamiento, asentamientos	Masa de suelos arcillosos a arcillo limosos en ladera de pendiente fuerte, cuyo detonante sería la saturación del suelo por aguas de escorrentía superficial.	Descarga de la corona del talud. Escalonado o banqueteo del talud. Mejoramiento del drenaje.
G-12	729145	9956977	Deslizamiento y arrastre	Zona de quebrada. Escarpas de deslizamiento antiguo y zonas de arrastre de suelos.	Masa de suelos arcillosos a arcillo limosos en ladera de pendiente fuerte, cuyo detonante sería la saturación del suelo por aguas de escorrentía superficial.	Descarga de la corona del talud. Escalonado o banqueteo del talud. Mejoramiento del drenaje.
G-17	729001	9956659	Deslizamiento rotacional	Escarpa derrumbe, asentamiento. Zona próxima a la vía	Masa de suelos arcillosos a arcillo limosos en ladera de pendiente fuerte, cuyo detonante sería la saturación del suelo por aguas de escorrentía superficial.	Descarga de la corona del talud. Escalonado o banqueteo del talud. Mejoramiento del drenaje.
G-19	729295	9956851	Deslizamiento rotacional	Cabecera de quebrada. Escarpa de deslizamientos	Masa de suelos arcillosos a arcillo limosos en ladera de pendiente fuerte, cuyo detonante sería la saturación del suelo por aguas de escorrentía superficial.	Descarga de la corona del talud. Escalonado o banqueteo del talud. Mejoramiento del drenaje.
G-20	729709	9956975	Deslizamiento rotacional	Zona de quebrada. Escarpa deslizamiento, asentamiento	Masa de suelos arcillosos a arcillo limosos en ladera de pendiente fuerte, cuyo detonante sería la saturación del suelo por aguas de escorrentía superficial.	Descarga de la corona del talud. Escalonado o banqueteo del talud. Mejoramiento del drenaje.

ID	Este	Norte	Tipo de Evento	Descripción	Causas	Acciones
G-21	729726	9957039	Deslizamiento rotacional	Zona de quebrada. Escarpa deslizamiento, asentamiento	Masa de suelos arcillosos a arcillo limosos en ladera de pendiente fuerte, cuyo detonante sería la saturación del suelo por aguas de escorrentía superficial.	Descarga de la corona del talud. Escalonado o banqueteo del talud. Mejoramiento del drenaje.
G-23	730449	9957243	Deslizamiento antiguo	Escarpa derrumbe, asentamiento. Zona de quebrada	Masa de suelos arcillosos a arcillo limosos en ladera de pendiente fuerte, cuyo detonante sería la saturación del suelo por aguas de escorrentía superficial.	Descarga de la corona del talud. Escalonado o banqueteo del talud. Mejoramiento del drenaje.

**Fuente:** Elaboración propia.

En la zona de emplazamiento del componente depósitos de relaves filtrados se tiene una zona de deslizamientos identificada como G-1, que se muestra en la siguiente fotografía aérea tomada con dron:

**Figura N° 12 Escarpa de deslizamiento semicircular ubicado en la zona de emplazamiento de los relaves filtrados (G-01)**



**Fuente:** Elaboración propia.

**Nota:** Vista tomada con dron.

### 3.3.2 Derrumbes

Los derrumbes consisten en desprendimientos de masas de material de un talud sin presentar una

superficie de falla definida, lo que será frecuente en taludes de rocas muy intemperizadas y en zonas de depósitos coluviales; es decir, en donde no hay planos de estratificación definidos.

Cuando se presentan derrumbes solo es posible un mejoramiento de la geometría del talud involucrado.

En el siguiente cuadro se muestra las coordenadas (UTM WGS84, Zona 17S), con la ubicación de los derrumbes y sus características registradas en campo:

**Cuadro 4: Resumen de la características y resumen de los derrumbes identificados en la zona de proyecto**

ID	Este	Norte	Tipo de Evento	Descripción	Causas	Acciones
G-13	730185	9957231	Derrumbe	Desprendimiento de suelos en zona de quebrada.	Masa de suelos arcillosos a arcillo limosos en ladera de pendiente fuerte, cuyo detonante sería la saturación del suelo por aguas de escorrentía superficial.	Descarga de la corona del talud. Escalonado o banqueteo del talud. Mejoramiento del drenaje.
G-14	730295	9957280	Derrumbe	Escarpa derrumbe, asentamiento. Zona de quebrada	Masa de suelos arcillosos a arcillo limosos en ladera de pendiente fuerte, cuyo detonante sería la saturación del suelo por aguas de escorrentía superficial.	Descarga de la corona del talud. Escalonado o banqueteo del talud. Mejoramiento del drenaje.
G-15	730599	9957237	Derrumbe	Escarpa derrumbe, asentamiento. Zona de quebrada	Masa de suelos arcillosos a arcillo limosos en ladera de pendiente fuerte, cuyo detonante sería la saturación del suelo por aguas de escorrentía superficial.	Descarga de la corona del talud. Escalonado o banqueteo del talud. Mejoramiento del drenaje.
G-16	729419	9956084	Derrumbe	Escarpa derrumbe, asentamiento. Zona de quebrada	Masa de suelos arcillosos a arcillo limosos en ladera de pendiente fuerte, cuyo detonante sería la saturación del suelo por aguas de escorrentía superficial.	Descarga de la corona del talud. Escalonado o banqueteo del talud. Mejoramiento del drenaje.
G-18	728685	9956685	Derrumbe	Escarpa derrumbe, asentamiento. Zona de quebrada	Masa de suelos arcillosos a arcillo limosos en ladera de pendiente fuerte, cuyo detonante sería la saturación del suelo por aguas de escorrentía superficial.	Descarga de la corona del talud. Escalonado o banqueteo del talud. Mejoramiento del drenaje.
G-22	730111	9957266	Derrumbe	Escarpa derrumbe, asentamiento. Zona de quebrada	Masa de suelos arcillosos a arcillo limosos en ladera de pendiente fuerte, cuyo detonante sería la saturación del suelo por aguas de escorrentía superficial.	Descarga de la corona del talud. Escalonado o banqueteo del talud. Mejoramiento del drenaje.
G-24	727893	9957852	Derrumbe	Escarpas de derrumbe, asentamiento. Ladera de fuerte pendiente	Masa de suelos arcillosos a arcillo limosos en ladera de pendiente fuerte, cuyo detonante sería la saturación del suelo por aguas de escorrentía superficial.	Descarga de la corona del talud. Escalonado o banqueteo del talud. Mejoramiento del drenaje.

ID	Este	Norte	Tipo de Evento	Descripción	Causas	Acciones
G-25	727210	9957735	Derrumbe	Escarpa derrumbe. Zona de quebrada	Masa de suelos arcillosos a arcillo limosos en ladera de pendiente fuerte, cuyo detonante sería la saturación del suelo por aguas de escorrentía superficial.	Descarga de la corona del talud. Escalonado o banqueteo del talud. Mejoramiento del drenaje.
G-26	729333	9958832	Derrumbe	Escarpa derrumbe, cono de escombros. Zona de quebrada	Masa de suelos arcillosos a arcillo limosos en ladera de pendiente fuerte, cuyo detonante sería la saturación del suelo por aguas de escorrentía superficial.	Descarga de la corona del talud. Escalonado o banqueteo del talud. Mejoramiento del drenaje.
G-27	729293	9958840	Derrumbe	Escarpa derrumbe, cono de escombros. Ladera de fuerte pendiente	Masa de suelos arcillosos a arcillo limosos en ladera de pendiente fuerte, cuyo detonante sería la saturación del suelo por aguas de escorrentía superficial.	Descarga de la corona del talud. Escalonado o banqueteo del talud. Mejoramiento del drenaje.

Fuente: Elaboración propia.

**Figura N° 13 Cono de escombros asociados por un derrumbe próximo a la vía de acceso.**



Fuente: Elaboración propia.

**Nota:** Identificada como G-27

### 3.3.3 Corrientes de tierra lentas (Arrastre)

Consisten en movimientos descendentes lentos y constantes del suelo que forma la pendiente. El movimiento es causado por tensión cortante interna que es suficiente para causar la deformación, pero insuficiente para provocar una falla. Existen tres tipos de arrastre y son: (1) de temporada, cuando el movimiento se da dentro de la profundidad del suelo afectado por los cambios estacionales en la humedad del suelo y la temperatura, (2) continuo, cuando el esfuerzo cortante supera la resistencia continua del material; y (3) progresivo, cuando las pendientes alcanzan el punto de falla para otros tipos de movimientos de masas.

En el siguiente cuadro se muestra las coordenadas (UTM WGS84, Zona 17S), con la ubicación de estos fenómenos geodinámicos y sus características registradas en campo:

**Cuadro 5: Resumen de la características y resumen de los arrastres identificados en la zona de proyecto**

ID	Este	Norte	Tipo de Evento	Descripción	Causas	Acciones
G-2	729670	9956548	Deslizamiento antiguo y arrastre	Ladera de colina de suave pendiente. Escarpas de deslizamiento antiguo y zonas de arrastre de suelos.	Masa de suelos arcillosos a arcillo limosos en ladera de pendiente suave, cuyo detonante sería la saturación del suelo por aguas de escorrentía superficial.	Descarga de la corona del talud. Escalonado o banqueteo del talud. Mejoramiento del drenaje.
G-12	729145	9956977	Deslizamiento y arrastre	Zona de quebrada. Escarpas de deslizamiento antiguo y zonas de arrastre de suelos.	Masa de suelos arcillosos a arcillo limosos en ladera de pendiente fuerte, cuyo detonante sería la saturación del suelo por aguas de escorrentía superficial.	Descarga de la corona del talud. Escalonado o banqueteo del talud. Mejoramiento del drenaje.

**Fuente:** Elaboración propia.

Debido a que es posible hacer un tratamiento sobre estos, tales como descarga de la corona del talud, escalonado o banqueteo del talud y mejoramiento del drenaje.

**Figura N° 14 Zona de arrastre o movimientos de tierra**

**Fuente:** Elaboración propia.

**Nota:** Identificada como G-2

### **3.3.4 Subsistencia**

Según Gonzales de Vallejo et al (2002), las subsidencias consisten en movimientos lentos, aunque con frecuencia se aceleran por actuaciones antrópicas.

Pueden afectar a todo tipo de terrenos, generalmente a suelos, y son debidos a cambios tensionales inducidos en el terreno, por las siguientes causas:

- Descenso del nivel freático.
- Minería subterránea y túneles.
- Extracción o expulsión de petróleo o gas.
- Explotación intensiva de acuíferos.
- Procesos lentos de disolución y lavado de materiales.
- Procesos morfológicos y de sedimentación.
- Procesos de consolidación de suelos blandos y orgánicos.

De las causas anteriormente mencionadas, la que en este caso se tendría como detonante serian

la consolidación de suelos blandos y orgánicos, esto debido a las características físicas de los suelos los cuales han sido debidamente caracterizados mediante calicatas y perforaciones.

En el siguiente cuadro se muestra las coordenadas (UTM WGS84, Zona 17S), con la ubicación de estos fenómenos geodinámicos y sus características registradas en campo:

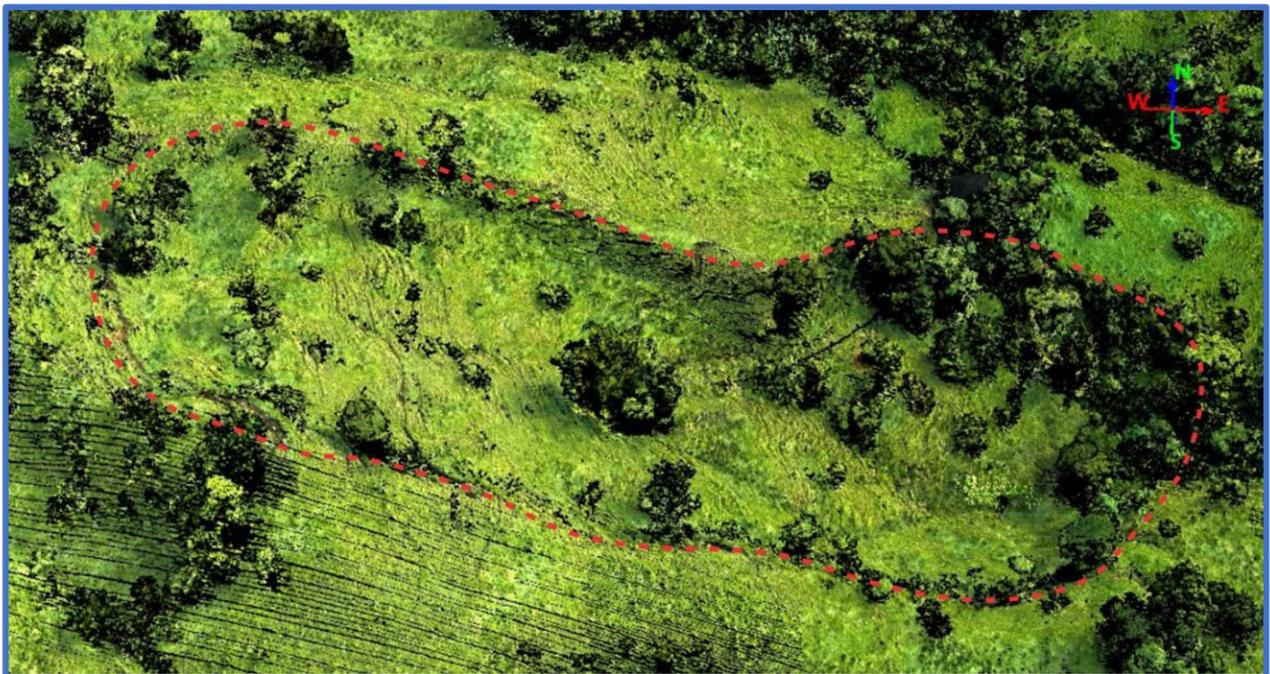
**Cuadro 6:** Resumen de la ubicación de los puntos de subsidencia en la zona de proyecto

ID	Este	Norte	Tipo de Evento	Descripción	Causas	Acciones
G-28	729573	9956555	Subsidencia	Ladera de colina de suave pendiente. Perímetro escarpado alrededor de la subsidencia del suelo.	Masa de suelos arcillosos a arcillo limosos en ladera de pendiente suave, cuyo detonante sería la saturación del suelo por aguas de escorrentía superficial.	Descarga de la corona del talud. Escalonado o banqueteo del talud. Mejoramiento del drenaje.

**Fuente:** Elaboración propia.

Debido a que es posible hacer un tratamiento sobre estos, tales como descarga de la corona del talud, escalonado o banqueteo del talud y mejoramiento del drenaje.

**Figura N° 15** Zona de subsidencia o hundimiento ocurrido identificado



**Fuente:** Elaboración propia.

**Nota:** Identificada como G-2

### 3.4 GRADO DE PELIGROSIDAD DE LOS FENÓMENOS GEODINÁMICOS

Para la determinación del grado de peligrosidad de los fenómenos de geodinámica externa se

ha tenido en cuenta la siguiente clasificación:

**Cuadro 7: Clasificación de grado de peligrosidad**

Grado de Peligrosidad	Descripción
BAJA	Esta categoría engloba una serie de fenómenos con comportamiento bajo o nulo.
MEDIA	Pueden presentar algunos comportamientos más activos. El movimiento del terreno puede causar daños a la infraestructura en casos extremos. Sin embargo, aún podría estabilizarse el movimiento en masa a través de obras o medidas de mitigación.
ALTA	Zona de movimientos en masa activos, pudiendo haber eventos secundarios que se mueven más rápido que otros. Debido al alto grado de peligrosidad las medidas de contención convencionales no serían suficientes para estabilizarla. Tratamiento costoso que requiere una mayor evaluación.

Fuente: Elaboración propia.

### 3.4.1 Grado de Peligrosidad en Deslizamientos

**Cuadro 8: Grado de peligrosidad de deslizamientos**

ID	Este	Norte	Tipo de Evento	Descripción	Causas	Acciones	Grado de Peligrosidad
G-1	729765	9956674	Deslizamiento rotacional	Zona de quebrada, grietas sobre la cara del talud, escarpas de deslizamiento, grietas de tensión	Masa de suelos arcillosos a arcillo limosos en ladera de pendiente suave, cuyo detonante sería la saturación del suelo por aguas de escorrentía superficial.	Descarga de la corona del talud. Escalonado o banqueteo del talud. Mejoramiento del drenaje.	MEDIA
G-2	729670	9956548	Deslizamiento antiguo y arrastre	Ladera de colina de suave pendiente. Escarpas de deslizamiento antiguo y zonas de arrastre de suelos.	Masa de suelos arcillosos a arcillo limosos en ladera de pendiente suave, cuyo detonante sería la saturación del suelo por aguas de escorrentía superficial.	Descarga de la corona del talud. Escalonado o banqueteo del talud. Mejoramiento del drenaje.	MEDIA
G-3	729694	9956406	Deslizamiento antiguo	Ladera de colina de suave pendiente. Escarpas de deslizamiento antiguo.	Masa de suelos arcillosos a arcillo limosos en ladera de pendiente suave, cuyo detonante sería la saturación del suelo por aguas de escorrentía superficial.	Descarga de la corona del talud. Escalonado o banqueteo del talud. Mejoramiento del drenaje.	MEDIA

ID	Este	Norte	Tipo de Evento	Descripción	Causas	Acciones	Grado de Peligrosidad
G-4	729540	9956670	Deslizamiento rotacional	Zona de quebrada. Escarpa de deslizamiento, asentamientos	Masa de suelos arcillosos a arcillo limosos en ladera de pendiente suave, cuyo detonante sería la saturación del suelo por aguas de escorrentía superficial.	Descarga de la corona del talud. Escalonado o banqueteo del talud. Mejoramiento del drenaje.	MEDIA
G-5	729971	9957094	Deslizamiento rotacional	Cabecera de quebrada. Escarpa de deslizamientos	Masa de suelos arcillosos a arcillo limosos en ladera de pendiente suave, cuyo detonante sería la saturación del suelo por aguas de escorrentía superficial.	Descarga de la corona del talud. Escalonado o banqueteo del talud. Mejoramiento del drenaje.	MEDIA
G-6	730001	9957216	Deslizamiento rotacional	Zona de quebrada. Escarpa deslizamiento, asentamiento	Masa de suelos arcillosos a arcillo limosos en ladera de pendiente suave, cuyo detonante sería la saturación del suelo por aguas de escorrentía superficial.	Descarga de la corona del talud. Escalonado o banqueteo del talud. Mejoramiento del drenaje.	MEDIA
G-7	729958	9957174	Deslizamiento rotacional	Zona de quebrada. Escarpa deslizamiento, asentamiento	Masa de suelos arcillosos a arcillo limosos en ladera de pendiente suave, cuyo detonante sería la saturación del suelo por aguas de escorrentía superficial.	Descarga de la corona del talud. Escalonado o banqueteo del talud. Mejoramiento del drenaje.	MEDIA
G-8	730288	9956264	Deslizamiento traslacional	Ladera de fuerte pendiente. Escarpa deslizamiento, asentamiento. No afecta directamente a las zonas de emplazamiento de los	Masa de suelos arcillosos a arcillo limosos en ladera de pendiente fuerte, cuyo detonante sería la saturación del suelo por aguas de escorrentía superficial.	Debido a las dimensiones que presenta (100 m de escarpa), en esta zona de deslizamientos no sería viable la estabilización del mismo.	ALTA

ID	Este	Norte	Tipo de Evento	Descripción	Causas	Acciones	Grado de Peligrosidad
				componentes.			
G-9	728693	9956281	Deslizamiento rotacional	Cabecera de la quebrada Florida. Escarpa de deslizamientos. No afecta directamente a las zonas de emplazamiento de los componentes.	Masa de suelos arcillosos a arcillo limosos en ladera de pendiente moderada, cuyo detonante sería la saturación del suelo por aguas de escorrentía superficial, Y material triturado de la falla Toachi	Debido a las dimensiones que presenta (100 m de escarpa), en esta zona de deslizamientos no sería viable la estabilización del mismo.	ALTA
G-10	729009	9956939	Deslizamiento rotacional	Zona de quebrada. Escarpa de deslizamientos o asentamientos	Masa de suelos arcillosos a arcillo limosos en ladera de pendiente fuerte, cuyo detonante sería la saturación del suelo por aguas de escorrentía superficial.	Descarga de la corona del talud. Escalonado o banqueteo del talud.	MEDIA
G-11	729137	9956891	Deslizamiento rotacional	Zona de quebrada. Escarpa de deslizamientos o asentamientos	Masa de suelos arcillosos a arcillo limosos en ladera de pendiente fuerte, cuyo detonante sería la saturación del suelo por aguas de escorrentía superficial.	Descarga de la corona del talud. Escalonado o banqueteo del talud. Mejoramiento del drenaje.	MEDIA
G-12	729145	9956977	Deslizamiento y arrastre	Zona de quebrada. Escarpas de deslizamiento antiguo y zonas de arrastre de suelos.	Masa de suelos arcillosos a arcillo limosos en ladera de pendiente fuerte, cuyo detonante sería la saturación del suelo por aguas de escorrentía superficial.	Descarga de la corona del talud. Escalonado o banqueteo del talud. Mejoramiento del drenaje.	MEDIA

ID	Este	Norte	Tipo de Evento	Descripción	Causas	Acciones	Grado de Peligrosidad
G-17	729001	9956659	Deslizamiento rotacional	Escarpa derrumbe, asentamiento o. Zona próxima a la vía	Masa de suelos arcillosos a arcillo limosos en ladera de pendiente fuerte, cuyo detonante sería la saturación del suelo por aguas de escorrentía superficial.	Descarga de la corona del talud. Escalonado o banqueteo del talud. Mejoramiento del drenaje.	MEDIA
G-19	729295	9956851	Deslizamiento rotacional	Cabecera de quebrada. Escarpa de deslizamientos	Masa de suelos arcillosos a arcillo limosos en ladera de pendiente fuerte, cuyo detonante sería la saturación del suelo por aguas de escorrentía superficial.	Descarga de la corona del talud. Escalonado o banqueteo del talud. Mejoramiento del drenaje.	MEDIA
G-20	729709	9956975	Deslizamiento rotacional	Zona de quebrada. Escarpa deslizamiento o, asentamiento	Masa de suelos arcillosos a arcillo limosos en ladera de pendiente fuerte, cuyo detonante sería la saturación del suelo por aguas de escorrentía superficial.	Descarga de la corona del talud. Escalonado o banqueteo del talud. Mejoramiento del drenaje.	MEDIA
G-21	729726	9957039	Deslizamiento rotacional	Zona de quebrada. Escarpa deslizamiento o, asentamiento	Masa de suelos arcillosos a arcillo limosos en ladera de pendiente fuerte, cuyo detonante sería la saturación del suelo por aguas de escorrentía superficial.	Descarga de la corona del talud. Escalonado o banqueteo del talud. Mejoramiento del drenaje.	MEDIA
G-23	730449	9957243	Deslizamiento antiguo	Escarpa derrumbe, asentamiento o. Zona de quebrada	Masa de suelos arcillosos a arcillo limosos en ladera de pendiente fuerte, cuyo detonante sería la saturación del suelo por aguas de escorrentía superficial.	Descarga de la corona del talud. Escalonado o banqueteo del talud. Mejoramiento del drenaje.	MEDIA

**Fuente:** Elaboración propia.

De todos los deslizamientos mencionados en el cuadro anterior, los que afectan directamente a la zona de ubicación de los componentes, serían los identificados como deslizamientos con

códigos: G-1, G-2, G-3, G-4 y G-5. Estos fenómenos geodinámicos se han considerado como de grado de peligrosidad media debido a que es posible hacer un tratamiento sobre estos, tales como descarga de la corona del talud, escalonado o banqueteo del talud.

Cabe resaltar que los fenómenos descritos con códigos G-8 y G-9 con grado de peligrosidad alta, se encuentran alejados de las zonas de emplazamiento de los componentes y no los afectan directamente.

### 3.4.2 Grado de Peligrosidad en Derrumbes

**Cuadro 9: Grado de peligrosidad en derrumbes**

ID	Este	Norte	Tipo de Evento	Descripción	Causas	Acciones	Grado de Peligrosidad
G-13	730185	9957231	Derrumbe	Desprendimiento de suelos en zona de quebrada.	Masa de suelos arcillosos a arcillo limosos en ladera de pendiente fuerte, cuyo detonante sería la saturación del suelo por aguas de escorrentía superficial.	Descarga de la corona del talud. Escalonado o banqueteo del talud. Mejoramiento del drenaje.	MEDIA
G-14	730295	9957280	Derrumbe	Escarpa derrumbe, asentamiento. Zona de quebrada	Masa de suelos arcillosos a arcillo limosos en ladera de pendiente fuerte, cuyo detonante sería la saturación del suelo por aguas de escorrentía superficial.	Descarga de la corona del talud. Escalonado o banqueteo del talud. Mejoramiento del drenaje.	MEDIA
G-15	730599	9957237	Derrumbe	Escarpa derrumbe, asentamiento. Zona de quebrada	Masa de suelos arcillosos a arcillo limosos en ladera de pendiente fuerte, cuyo detonante sería la saturación del suelo por aguas de escorrentía superficial.	Descarga de la corona del talud. Escalonado o banqueteo del talud. Mejoramiento del drenaje.	MEDIA
G-16	729419	9956084	Derrumbe	Escarpa derrumbe, asentamiento. Zona de quebrada	Masa de suelos arcillosos a arcillo limosos en ladera de pendiente fuerte, cuyo detonante sería la saturación del suelo por aguas de escorrentía superficial.	Descarga de la corona del talud. Escalonado o banqueteo del talud. Mejoramiento del drenaje.	MEDIA

ID	Este	Norte	Tipo de Evento	Descripción	Causas	Acciones	Grado de Peligrosidad
G-18	728685	9956685	Derrumbe	Escarpa derrumbe, asentamiento. Zona de quebrada	Masa de suelos arcillosos a arcillo limosos en ladera de pendiente fuerte, cuyo detonante sería la saturación del suelo por aguas de escorrentía superficial.	Descarga de la corona del talud. Escalonado o banqueteo del talud. Mejoramiento del drenaje.	MEDIA
G-22	730111	9957266	Derrumbe	Escarpa derrumbe, asentamiento. Zona de quebrada	Masa de suelos arcillosos a arcillo limosos en ladera de pendiente fuerte, cuyo detonante sería la saturación del suelo por aguas de escorrentía superficial.	Descarga de la corona del talud. Escalonado o banqueteo del talud. Mejoramiento del drenaje.	MEDIA
G-24	727893	9957852	Derrumbe	Escarpas de derrumbe, asentamiento. Ladera de fuerte pendiente	Masa de suelos arcillosos a arcillo limosos en ladera de pendiente fuerte, cuyo detonante sería la saturación del suelo por aguas de escorrentía superficial.	Descarga de la corona del talud. Escalonado o banqueteo del talud. Mejoramiento del drenaje.	MEDIA
G-25	727210	9957735	Derrumbe	Escarpa derrumbe. Zona de quebrada	Masa de suelos arcillosos a arcillo limosos en ladera de pendiente fuerte, cuyo detonante sería la saturación del suelo por aguas de escorrentía superficial.	Descarga de la corona del talud. Escalonado o banqueteo del talud. Mejoramiento del drenaje.	MEDIA
G-26	729333	9958832	Derrumbe	Escarpa derrumbe, cono de escombros. Zona de quebrada	Masa de suelos arcillosos a arcillo limosos en ladera de pendiente fuerte, cuyo detonante sería la saturación del suelo por aguas de escorrentía superficial.	Descarga de la corona del talud. Escalonado o banqueteo del talud. Mejoramiento del drenaje.	MEDIA
G-27	729293	9958840	Derrumbe	Escarpa derrumbe, cono de escombros. Ladera de fuerte pendiente	Masa de suelos arcillosos a arcillo limosos en ladera de pendiente fuerte, cuyo detonante sería la saturación del suelo por aguas de escorrentía superficial.	Descarga de la corona del talud. Escalonado o banqueteo del talud. Mejoramiento del drenaje.	MEDIA

Fuente: Elaboración propia.

De las zonas de derrumbes mencionadas en el cuadro anterior cabe señalar que todas tienen un grado de peligrosidad media, es decir que es posible hacer un tratamiento sobre estos, tales como descarga de la corona del talud, escalonado o banqueteo del talud y estos no afectan directamente sobre el emplazamiento de los componentes proyectados.

### 3.4.3 Grado de Peligrosidad en Corrientes de tierra lentas (Arrastre)

**Cuadro 10: Grado de peligrosidad en corrientes de tierra lentas**

ID	Este	Norte	Tipo de Evento	Descripción	Causas	Acciones	Grado de Peligrosidad
G-2	729670	9956548	Deslizamiento o antiguo y arrastre	Ladera de colina de suave pendiente. Escarpas de deslizamiento antiguo y zonas de arrastre de suelos.	Masa de suelos arcillosos a arcillo limosos en ladera de pendiente suave, cuyo detonante sería la saturación del suelo por aguas de escorrentía superficial.	Descarga de la corona del talud. Escalonado o banqueteo del talud. Mejoramiento del drenaje.	MEDIA
G-12	729145	9956977	Deslizamiento y arrastre	Zona de quebrada. Escarpas de deslizamiento antiguo y zonas de arrastre de suelos.	Masa de suelos arcillosos a arcillo limosos en ladera de pendiente fuerte, cuyo detonante sería la saturación del suelo por aguas de escorrentía superficial.	Descarga de la corona del talud. Escalonado o banqueteo del talud. Mejoramiento del drenaje.	MEDIA

Fuente: Elaboración propia.

De las zonas de arrastre mencionadas en el cuadro anterior los que afectan directamente a la zona de ubicación de los componentes, sería únicamente el identificado con códigos: G-2. Estos fenómenos geodinámicos se han considerado como de grado de peligrosidad media.

### 3.4.4 Grado de Peligrosidad en Subsistencia

**Cuadro 11: Grado de peligrosidad en subsistencia**

ID	Este	Norte	Tipo de Evento	Descripción	Causas	Acciones	Grado de Peligrosidad
G-28	729573	9956555	Subsistencia	Ladera de colina de suave pendiente. Perímetro escarpado alrededor de la subsistencia del suelo.	Masa de suelos arcillosos a arcillo limosos en ladera de pendiente suave, cuyo detonante sería la saturación del suelo por aguas de escorrentía superficial.	Descarga de la corona del talud. Escalonado o banqueteo del talud. Mejoramiento del drenaje.	MEDIA

Fuente: Elaboración propia.

La zona de subsistencia identificado con códigos: G-28 y mencionada en el cuadro anterior, se ubica próximo al componente depósito de relaves filtrados a unos 80 m al oeste del borde de

dicho componente. Estos fenómenos geodinámicos se han considerado como de grado de peligrosidad media.

### **3.5 GEOLOGÍA LOCAL DEL EMPLAZAMIENTO DEL DEPÓSITO DE RELAVES FILTRADOS**

En el área de emplazamiento de este componente minero, se ha realizado una serie de calicatas y perforaciones, entre ellas las perforaciones: P-02, P-03, P-04, P-08 y P-09, mediante las cuales se ha podido determinar las características del basamento rocoso y los suelos de fundación.

El basamento rocoso está formado por roca dolerita perteneciente a la unidad Macuchi del eoceno, a una profundidad que varía entre los 12 y 40 m tal como ha sido registrado en las perforaciones P-02, P-03, P-04, P-08 y P-09. Sobre este basamento rocoso se tienen depósitos que han sido clasificados geológicamente como depósitos coluvio-aluviales. Estos depósitos comprenden suelos conformados por arcillas a arcillas limosas, de color marrón claro a ocre, de plasticidad media a alta, con intercalaciones de arenas limosas y arcillosas, con lentes de arena de origen volcánico y capas de cenizas volcánicas.

Se han encontrado algunos lentes de gravas de muy poca predominancia, que corresponderían a antiguos canales o lechos de quebrada.

Desde el punto de vista geomorfológico, este componente se encuentra emplazado sobre una zona de colinas moderadamente disectadas con pendientes que varían entre fuertes a muy fuertes o escarpadas. En estas superficies se ha podido identificar fenómenos geodinámicos relacionados a deslizamientos y arrastre de suelos con presencia de escarpas y grietas de tensión tal como se muestra en el plano geomorfológico-geodinámico. Sin embargo, estos problemas geodinámicos identificados en el área de estudio, serían solucionados con las obras de construcción que se tiene proyectado.

### **3.6 GEOLOGÍA LOCAL DEL EMPLAZAMIENTO DEL DEPÓSITO DE DESMONTES-01**

El área de estudio donde se tiene proyectado este componente, se han realizado las perforaciones P-06 y P-07, las cuales han podido determinar las características del basamento rocoso y del suelo de fundación.

El basamento rocoso está formado por roca dolerita perteneciente a la unidad Macuchi del eoceno, a una profundidad que varía entre los 30 y 45 m. Sobre este basamento rocoso se tienen depósitos que han sido clasificados geológicamente como depósitos coluvio-aluviales. Estos depósitos comprenden suelos conformados por arcillas a arcillas limosas, de color marrón claro a ocre, de plasticidad media a alta, con intercalaciones de arenas limosas y arcillosas, con lentes de arena de origen volcánico y capas de cenizas volcánicas.

Desde el punto de vista geomorfológico, este componente se emplaza sobre una zona de colinas moderadamente disectadas con pendientes que varían entre fuertes a muy fuertes o escarpadas. En estas superficies se ha podido identificar fenómenos geodinámicos relacionados a deslizamientos, con presencia de escarpas tal como se muestra en el plano geomorfológico-geodinámico. Sin embargo, estos problemas geodinámicos identificados en el área de estudio, serían solucionados con las obras de construcción que se tiene proyectado.

### **3.7 GEOLOGÍA LOCAL DEL EMPLAZAMIENTO DEL DEPÓSITO DE DESMONTES 2**

En el área de estudio donde se tiene proyectado este componente, se han realizado las perforaciones: P-11, P-12 y P-13, las cuales han podido determinar las características del basamento rocoso y del suelo de fundación.

El basamento rocoso está formado por roca dolerita perteneciente a la unidad Macuchi del eoceno, a una profundidad que varía entre los 10 y 40 m. Sobre este basamento rocoso se tienen depósitos que han sido clasificados geológicamente como depósitos coluvio-aluviales. Estos depósitos comprenden suelos conformados por arcillas a arcillas limosas, de color marrón claro a ocre, de plasticidad media a alta, con intercalaciones de arenas limosas y arcillosas, con lentes de arena de origen volcánico y capas de cenizas volcánicas.

Desde el punto de vista geomorfológico, este componente se emplaza sobre una zona de colinas moderadamente disectadas con pendientes que varían entre fuertes a muy fuertes o escarpadas. En estas superficies no se ha podido identificar fenómenos geodinámicos tal como se muestra en el plano geomorfológico-geodinámico.

### **3.8 GEOLOGÍA LOCAL DEL EMPLAZAMIENTO DE LA PLANTA DE PROCESOS**

En el área de estudio donde se proyecta este componente, se han realizado las perforaciones P-05 y P-15, las cuales han podido determinar las características del basamento rocoso y del suelo de fundación.

El basamento rocoso está formado por roca dolerita perteneciente a la unidad Macuchi del eoceno, a una profundidad que varía entre los 15 y 40 m. Sobre este basamento rocoso se tienen depósitos que han sido clasificados geológicamente como depósitos coluvio-aluviales. Estos depósitos comprenden suelos conformados por arcillas a arcillas limosas, de color marrón claro a ocre, de plasticidad media a alta, con intercalaciones de arenas limosas y arcillosas, con lentes de arena de origen volcánico y capas de cenizas volcánicas.

Desde el punto de vista geomorfológico, este componente se emplaza sobre una zona de colinas moderadamente disectadas con pendientes que varían entre fuertes a muy fuertes o escarpadas. En estas superficies no se ha identificado fenómenos geodinámicos tal como se muestra en el

plano geomorfológico-geodinámico.

### **3.9 GEOLOGÍA LOCAL DEL EMPLAZAMIENTO DE LA ESTACIÓN AUXILIAR DE TRANSFERENCIA**

En el área de estudio donde se tiene proyectado este componente se han proyectado las perforaciones P-01 y P-10, las cuales han podido determinar las características del basamento rocoso y del suelo de fundación.

El basamento rocoso está formado por roca dolerita perteneciente a la unidad Macuchi del eoceno, a una profundidad que varía entre los 25 y 35 m. Sobre este basamento rocoso se tienen depósitos que han sido clasificados geológicamente como depósitos coluvio-aluviales. Estos depósitos comprenden suelos conformados por arcillas a arcillas limosas, de color marrón claro a ocre, de plasticidad media a alta, con intercalaciones de arenas limosas y arcillosas, con lentes de arena de origen volcánico y capas de cenizas volcánicas.

Desde el punto de vista geomorfológico, este componente se emplaza sobre una zona de colinas de suave pendiente con pendientes que varían entre fuertes a muy fuertes o escarpadas. En estas superficies se ha podido identificar fenómenos geodinámicos relacionados a deslizamientos antiguos con presencia de escarpas tal como se muestra en el plano geomorfológico-geodinámico. Sin embargo, estos problemas geodinámicos identificados en el área de estudio, serían solucionados con las obras de construcción que se tiene proyectado.

**4 REFERENCIAS**

- Alvarado, A. (2012). *Néotectonique et cinématique de la déformation continentale en Equateur*. University of Grenoble.
- Andrade, D., Hall, M., Mothes, P., Troncoso, L., Eissen, P.-J., Samaniego, P., Egred, J., Ramón, P., Rivero, D., & Yepes, H. (2005). *Los peligros volcánicos asociados con el Cotopaxi*.
- BRITISH GEOLOGICAL SURVEY, & CORPORACIÓN DE DESARROLLO E INVESTIGACIÓN GEOLÓGICO MINERO-METALURGICA. (1993). *Mapa Geológico de la República del Ecuador, escala 1: 1,000.000*.
- Chlieh M., Mothes P.A., Nocquet J.M., Jarrin P., Charvis P., C. D. (2014). *Distribution of discrete seismic asperities and aseismic slip along the Ecuadorian megathrust* (pp. 292–301). *Earth Planet Sci Lett*.
- Eguez, A., Alvarado, A., Yepes, H., Machette, M.N., Costa, C.H., Dart, R.L., and B. (2003). *Database and map of Quaternary faults and folds of Ecuador and its offshore regions* (Vol. 03). U.S. Geological Survey.
- Eguez, A. (1986). *Evolution Cenozoique de la Cordillere Occidentale Septentrionale d´ Equateur: Les mineralisation associees*.
- Gonzales de Vallejo, L. I., Ferrer, M., Ortuño, L., & Oteo, C. (2002). *Ingeniería Geológica*.
- Hall, M., & Mothes, P. (2007). *The rhyolitic–andesitic eruptive history of Cotopaxi volcano*.
- Hall, M., Mothes, P., & Hidalgo, S. (2005). *Mapa geológico del volcán Cotopaxi/ Geologic Map of Cotopaxi Volcano, esc. 1:50 000*.
- Heredia, E. (2018). *La Plata Mining Project Package 2: Hydrogeology and Hydrology Final Report*.
- Hughes, R. A., & Bermudez, R. (1997). *Informe No. 4, Proyecto de Desarrollo Minero y Control Ambiental, Programa de Información Cartográfica y Geológica: Geology of the Western Cordillera of Ecuador between 0-1°S*.
- Hughes R.A., B. R. y E. G. (1998). *Mapa Geológico de la Cordillera Occidental del Ecuador entre 0° - 1° S, Escala 1:200.000*.
- INDECI. (2006). *Manual Básico para la Estimación del Riesgo*.
- Litherland, M., Aspden, J. A., & Jemielita, R. A. (1994). *The Metamorphic Belts of Ecuador*.
- McCourt, W. J., Duque, P., & Pilatasig, L. F. (1997). *Informe No. 3, Proyecto de Desarrollo Minero y Control Ambiental, Programa de Información Cartográfica y Geológica: Geology of the*

*Western Cordillera of Ecuador between 1-2°S.*

Medina Allca, L., & Calderón Vilca, E. (2016). *Inspección Técnica de Peligros Geológicos del Pueblo San Juan del Oro.*

Mothes, P., Hall, M., & Janda, R. (1998). *The enormous Chillos valley lahar: an ash-flow generated debris flow from Cotopaxi volcano.*

Taipe, L. (2013). Análisis de las ecuaciones de predicción de movimientos de suelo para el Ecuador, utilizando datos registrados durante el periodo 2000-2011 en estaciones sísmicas de banda ancha y acelerógrafos. En *Escuela Politécnica Nacional* (pp. 1-126). Escuela Politécnica Nacional.