

DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO

**Informe Técnico N° A7101**

# EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS DEL ASENTAMIENTO HUMANO ARAHUAY

Región Cusco  
Provincia Calca  
Distrito Santiago



# **EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS DEL ASENTAMIENTO HUMANO ARAHUAY.**

(Distrito de Santiago, provincia y región Cusco)

Elaborado por la Dirección  
de Geología Ambiental y  
Riesgo Geológico del  
INGEMMET

*Equipo de investigación:*

*David Prudencio M.*

## **Referencia bibliográfica**

Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico (2020). Evaluación de peligros geológicos del Asentamiento Humano Arahua. Distrito de Santiago, provincia y región Cusco. Lima: INGEMMET, Informe Técnico A7101, 29 p.

## ÍNDICE

<b>RESUMEN</b> .....	1
<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	2
<b>1.1. Objetivos del estudio</b> .....	2
<b>1.2. Antecedentes y trabajos anteriores</b> .....	2
<b>1.3. Aspectos generales</b> .....	3
1.3.1. UBICACIÓN .....	3
1.3.2. ACCESIBILIDAD .....	4
1.3.3. CLIMA .....	4
<b>2. ASPECTOS GEOLÓGICOS</b> .....	5
<b>2.1. Unidades litoestratigráficas</b> .....	5
2.1.1. GRUPO SAN JERÓNIMO .....	7
2.1.2. DEPÓSITOS CUATERNARIOS .....	7
A. Formación San Sebastián .....	7
B. Depósitos Fluviales .....	7
C. Depósitos Coluviales.....	7
<b>3. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS</b> .....	8
<b>3.1. Pendientes del terreno</b> .....	8
<b>3.2. Unidades geomorfológicas</b> .....	10
3.2.1. GEOFORMAS DE CARÁCTER TECTÓNICO - DEGRADACIONAL Y EROSIONAL .....	10
3.2.2. GEOFORMAS DE CARÁCTER DEPOSITACIONAL Y AGRADACIONAL ..	11
<b>4. ASPECTOS GEOTÉCNICOS GEOHIDROLÓGICOS</b> .....	12
<b>4.1. Formación San Sebastián</b> .....	12
<b>4.2. Formación Kayra</b> .....	13
<b>5. PELIGROS GEOLÓGICOS Y/O GEOHIDROLÓGICOS</b> .....	13
<b>5.1. Peligros geológicos por movimientos en masa</b> .....	13
<b>5.2. Deslizamiento del Asentamiento Humano Arahua</b> .....	15
5.2.1. CARACTERÍSTICAS VISUALES DEL EVENTO .....	15
<b>5.3. Derrumbe de detritos de A.H. Arahua</b> .....	19
5.3.1. CARACTERÍSTICAS VISUALES DEL EVENTO .....	19
5.3.2. FACTORES CONDICIONANTES.....	20

5.3.3.	FACTORES DETONANTES O DESENCADENANTES.....	20
5.3.4.	DAÑOS O EFECTOS SECUNDARIO.....	21
<b>6.</b>	<b>CARACTERIZACIÓN DE ÁREAS PROPUESTAS PARA REUBICACIÓN .....</b>	<b>21</b>
<b>7.</b>	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>22</b>
<b>8.</b>	<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>23</b>
<b>9.</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>24</b>

## RESUMEN

El presente informe técnico es el resultado de la evaluación de peligros geológicos por movimientos en masa, realizados en el Asentamiento Humano Arahuy que pertenece a la jurisdicción de la Municipalidad Distrital de Santiago, provincia Cusco, región Cusco. Con este trabajo, el Instituto Geológico Minero y Metalúrgico – INGEMMET, cumple con una de sus funciones que consiste en brindar asistencia técnica de calidad e información actualización, confiable, oportuna y accesible en geología en los tres niveles de gobierno (distrital, regional y nacional).

Las unidades geológicas que afloran en la zona evaluada corresponden a rocas de origen sedimentarios del Grupo San Jerónimo (compuesta por areniscas feldespáticas intercaladas con niveles pequeños de lutitas) y de la Formación San Sebastián (compuesta por niveles de diatomita, calcáreos, areniscas fluviales y lutitas lacustres). Los movimientos en masa identificados en la zona, se desarrollaron principalmente en depósitos de la formación San Sebastián.

Las geoformas identificadas corresponden a las de origen tectónico-degradacional y erosional (montaña estructural en roca sedimentaria) y geoformas de carácter depositacional y agradacional principalmente originada por la ocurrencia de movimientos antiguos, que configuran geoformas de piedemonte (vertiente o piedemonte coluvio – deluvial) y planicie (terrazza aluvial). Se considera que el principal factor condicionante que originan la ocurrencia de peligros geológicos por movimientos en masa, es el material de los depósitos del terreno sumado a la pendiente que va de fuerte (15° - 25°) a muy fuerte (25° - 45°).

Los procesos identificados en el Asentamiento Humano Arahuy corresponden a los denominados movimientos en masa (deslizamiento y derrumbes), eventos latentes que han sufrido reactivaciones. Estos procesos han afectado a las viviendas de la manzana C, dejando un lote colapsado y los demás con grietas y fracturas en sus paredes y pisos.

Se concluye que el área de estudio es considerada de **Muy Alto** peligro a la ocurrencia de deslizamientos, que pueden ser desencadenados en la temporada de lluvias (octubre a marzo) y/o por movimientos sísmicos.

Finalmente, se brinda recomendaciones que se consideran importante que las autoridades competentes pongan en práctica, como el reasentamiento de las viviendas afectadas y realización de zanjas de coronación para evitar la infiltración por presencia de aguas pluviales del sector.

## 1. INTRODUCCIÓN

El INGEMMET, ente técnico-científico que desarrolla a través de los proyectos de la Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico (DGAR) la “Evaluación de peligros geológicos a nivel nacional (ACT. 11)”, contribuye de esta forma con entidades gubernamentales en los tres niveles de gobierno mediante el reconocimiento, caracterización y diagnóstico del peligro geológico en zonas que tengan elementos vulnerables.

Atendiendo la solicitud de la Municipalidad Distrital de Santiago, según oficio N° 026-2020-MDS/C, es en el marco de nuestras competencias que se realiza una evaluación de los eventos de tipo (caída de rocas y deslizamiento), ocurridos el día 20 de febrero del 2020 y en menores cantidades en el transcurso del año, que afectó a la manzana C del Asentamiento Humano Arahua del distrito de Santiago, provincia de Cusco.

La Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico del INGEMMET designó a l Ing. David Prudencio para realizar la evaluación técnica respectivas. Los trabajos de campo se realizaron el día 22 de octubre del presente año con el acompañamiento del jefe de la oficina de Defensa Civil del distrito.

La evaluación técnica se basa en la recopilación y análisis de información existente de trabajos anteriores realizados por INGEMMET, los datos obtenidos durante el trabajo de campo (puntos de control GPS y fotografías), el cartografiado geológico y geodinámico, con lo que finalmente se realizó la redacción del informe técnico.

Este informe se pone en consideración de la Municipalidad Distrital de Santiago, donde se proporcionan resultados de la inspección y recomendaciones para la mitigación y reducción del riesgo de desastres, a fin de que sea un instrumento técnico para la toma de decisiones.

### 1.1. Objetivos del estudio

El presente trabajo tiene como objetivos:

- a) Identificar, tipificar y caracterizar los peligros geológicos por movimientos en masa que están afectando a la manzana C del Asentamiento Humano Arahua, evento que pueden comprometer la seguridad física de personas, y las construcciones de viviendas ubicadas en la zona de influencia de los eventos.
- b) Determinar las causas principales que dan origen a estos fenómenos en la quebrada mencionada.
- c) Presentar a las autoridades y población interesada un documento sustentando el peligro y dar las recomendaciones pertinentes para realizar las acciones de prevención, reducción y mitigación de los peligros geológicos identificados en la zona.

### 1.2. Antecedentes y trabajos anteriores

Existen trabajos previos y publicaciones del INGEMMET, que incluyen al río Huatanay, relacionados a temas de geología y geodinámica externa, de los cuales destacan los siguientes:

- A) Boletín N° 74, serie C, geodinámica e ingeniería geológica: “Peligros Geológicos en la Región Cusco” (Vílchez et al., 2020); se identifican los peligros geológicos y geohidrológicos que pueden causar desastres dentro del ámbito de estudio. Se identificó un total de 75 zonas críticas donde se presentan 1682 ocurrencias de peligros mostrando de mayor a menor las ocurrencias que son: caídas, deslizamientos, flujos, procesos de erosión de laderas, erosión fluvial, reptación de suelos, inundación fluvial, movimientos complejos, hundimientos, inundación lagunar y finalmente vuelcos. El estudio también realiza un análisis de susceptibilidad a la inundación (escala 1: 100 000).
- B) En la “Geología del cuadrángulo de Cusco hoja 28-s (Carlotto et al., 2011); describe la información relacionada a los cambios más resaltantes sobre estratigrafía, rocas ígneas y la geología estructural a una escala de 1:50 000 del área de dicho cuadrángulo.
- C) Mapa de peligros geológicos del valle del Cusco (Cárdenas, J., et al 2013); señala que en el río Huancaro existen peligros geológicos de tipo inundaciones; esta zona de acuerdo al peligro por inundación desencadenaría al deslizamiento de Arahuy.

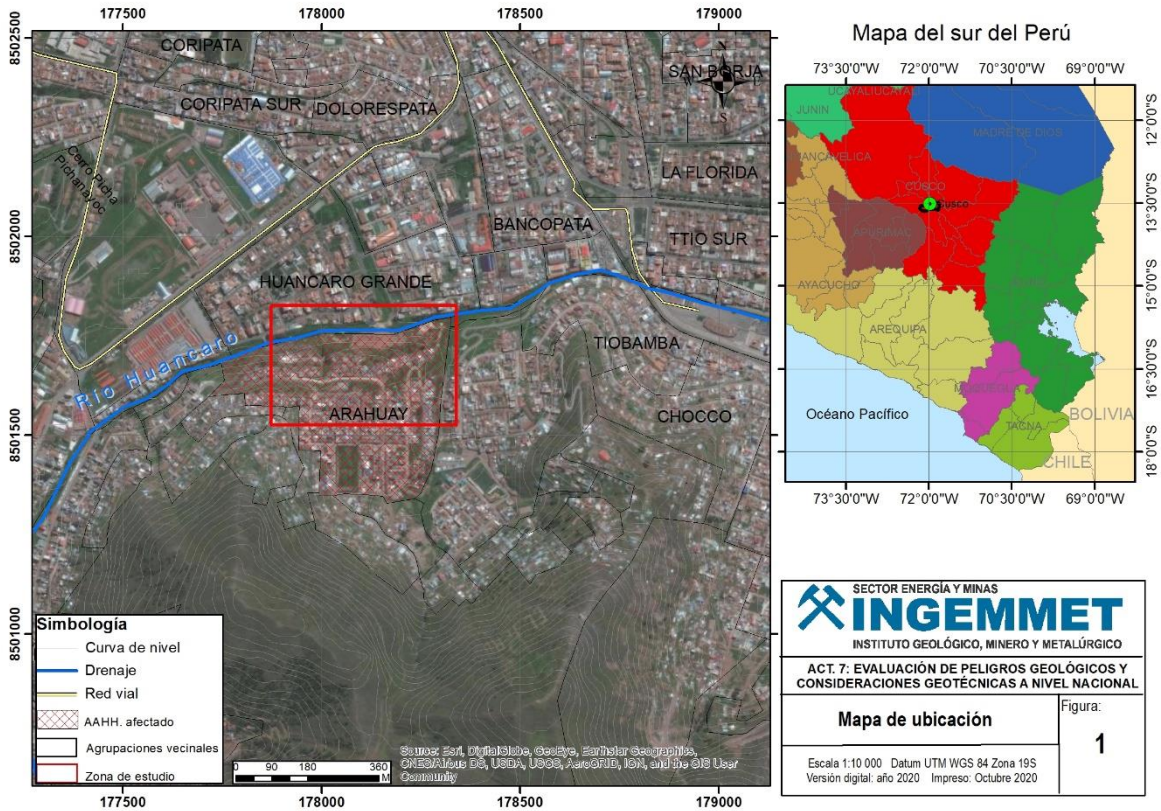
### 1.3. Aspectos generales

#### 1.3.1. UBICACIÓN

El área de evaluación está ubicada en la margen derecha del río Huancaro, en la parte superior de una terraza alta del valle, al sector se le conoce como Asentamiento Humano Arahuy y pertenece al distrito de Santiago, provincia y departamento de Cusco (figura 01), podemos ubicarlo en las coordenadas UTM (WGS84 – Zona 19S) siguientes:

**Cuadro 01.** Coordenadas del área de estudio.

N°	UTM - WGS84 - Zona 19L		Geográficas	
	Este	Norte	Latitud	Longitud
1	177876	8501830	-13.534187	-71.975781
2	178339	8501831	-13.534231	-71.971514
3	178339	8501532	--13.536936	71.971548
4	177876	8501532	-13.536879	-71.975821
<b>COORDENADA CENTRAL DE LA ZONA EVALUADA O EVENTO PRINCIPAL</b>				
C	178175	8501701	-13.53538	-71.973038



**Figura 01.** Mapa de ubicación del Asentamiento Humano Arahuary.

### 1.3.2. ACCESIBILIDAD

El acceso al asentamiento humano Arahuary desde la ciudad de Cusco (OD Cusco-INGEMMET), se realiza por vía terrestre a través de la siguiente ruta:

**Cuadro 02.** Rutas y accesos a la zona evaluada.

<i>Ruta</i>	<i>Tipo de vía</i>	<i>Distancia (km)</i>	<i>Tiempo estimado</i>
INGEMMET/ OD CUSCO – Asentamiento Humano Arahuary	Asfaltada	5	20 minutos

### 1.3.3. CLIMA

De acuerdo al mapa climático del SENAMHI (2018), en el Asentamiento Humano Arahuary el clima es del tipo semiseco, frío caracterizado por presentar lluvias acumuladas anuales promedio de 700 mm y temperaturas medidas anuales de 12°C, además en los meses de diciembre a marzo es frecuente que presente precipitaciones y en los meses de junio a setiembre presentan heladas, la humedad que presenta es



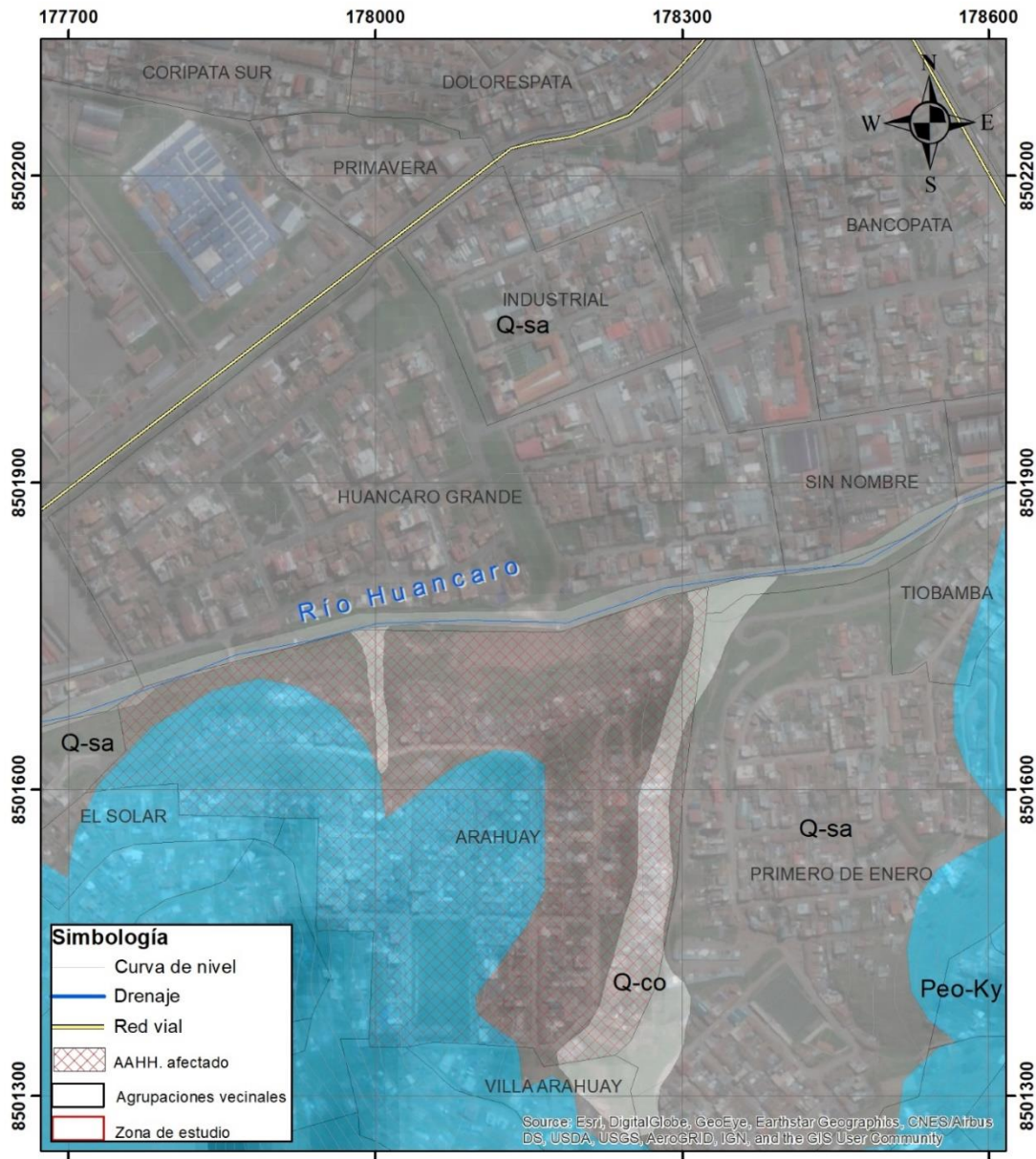
de tipo seco. Esta información está sustentada en la clasificación climática por el método de Thornthwaite con información meteorológica recolectada de aproximadamente 20 años.

## **2. ASPECTOS GEOLÓGICOS**

El análisis geológico del área de estudio se elaboró teniendo como base la revisión y actualización de la geología del cuadrángulo del Cusco (Carlotto *et al.*, 2011), donde se tiene depósitos desde el Cretácico hasta el Cuaternarios. La geología se complementó con trabajos de interpretación de imágenes satelitales, fotos aéreas y observaciones de campo.

### **2.1. Unidades litoestratigráficas**

Las unidades litoestratigráficas que afloran en el Asentamiento Humano Arahua y alrededores son de origen sedimentario, que fueron acumulados desde el Paleógeno - Paleoceno hasta la actualidad (figura 02). Localmente se han identificado depósitos coluviales ubicadas en zonas deprimidas del sector.



Eratema	Sistema	Serie	UNIDADES LITOESTRATIGRAFICAS
CENOZOICA	CUATERNARIO	HOLOCENO	Dep. Coluviales <b>Q-co</b> Depósitos de deslizamientos
		PLEISTOCENO	Dep. Aluviales <b>Q-fl</b> Arenas, arenas gravosas estratificadas y terrazas.
			Fm. San Sebastian <b>Q-sa</b> Arcillas y arenas fluvio lacustres. Niveles de turba y diatomita.
	NEÓGENO	PLUOCENO	
		MIOCENO	
	PALEÓGENO	CRETÁCICO	Fm. kayra <b>Peo-ky</b> Areniscas feldespáticas intercalados con niveles de lutitas de medios fluviales, al techo conglomerados fluviales y en la base bancos arenosos.

SECTOR ENERGÍA Y MINAS  
**INGEMMET**  
 INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO

ACT. 7: EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS Y CONSIDERACIONES GEOTÉCNICAS A NIVEL NACIONAL

**Mapa Geológico**

Figura: **2**

Escala 1:5 000 Datum UTM WGS 84 Zona 19S  
 Versión digital: año 2020 Impreso: Octubre 2020

Figura 02. Mapa geológico de la zona evaluada.

Haga clic o pulse aquí para escribir texto.

Haga clic o pulse aquí para escribir texto.Haga clic o pulse aquí para escribir texto.

### 2.1.1. GRUPO SAN JERÓNIMO

Este Grupo es de origen fluvial de edad Eocena inferior – Oligocena inferior y tiene un espesor de más de 6000 m fue dividida en tres Formaciones: Kayra, Soncco y Punacancha. De las cuales en la zona evaluada se aprecia la Formación Kayra.

#### A. Formación Kayra

Aflora al sur del Asentamiento Humano Arahua. Litológicamente está compuesto por areniscas feldespáticas intercaladas con niveles pequeños de lutitas rojas, la parte media superior por areniscas y micro conglomerados con clastos volcánicos y cuarcíticos de un medio fluvial entrelazado, esta unidad tiene un espesor que varía entre 2000 y 3000 m (Carlotto et al., 2011).

Haga clic o pulse aquí para escribir texto.

### 2.1.2. DEPÓSITOS CUATERNARIOS

Son los depósitos más recientes, fueron datados desde hace 2.59 millones de años, depositando materiales hasta la actualidad.

#### A. Formación San Sebastián

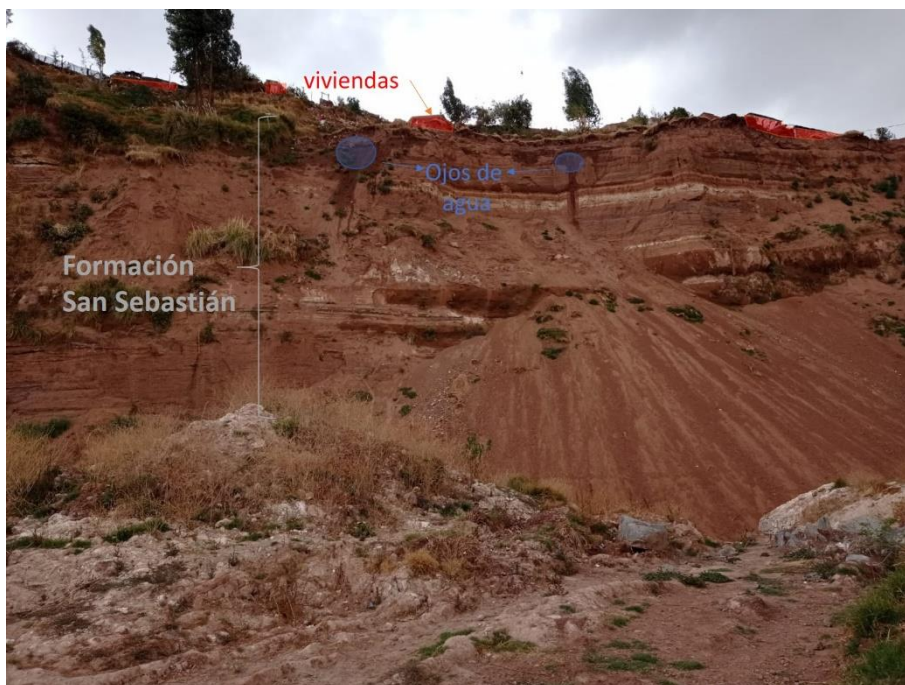
En la zona inspeccionada aflora en los flancos del río Huancaro, al norte del Asentamiento Humano Arahua, está constituida en la parte superior por niveles de diatomita y calcáreos y en la parte inferior por secuencias de areniscas fluviales de canales entrelazados deltaicos y lutitas lacustres siendo la primera secuencia de la Formación San Sebastián de grano decreciente (Carlotto et al., 2011) (figura 3).

#### B. Depósitos Fluviales

Estos depósitos se encuentran dispuestos a lo largo del río Huancaro, está compuesto por bloques sub redondeados de diversos diámetros, gravas y arenas en matriz areno limosa, que fueron arrastrados y depositados por el flujo del río en épocas de crecida.

#### C. Depósitos Coluviales

Aflora dentro del polígono del Asentamiento Humano Arahua, en la margen derecha del río Huancaro, siendo depósitos compuestos por gravas, arenas y limos dispuestos caóticamente y generado por los materiales arrastrados por la pendiente y los deslizamientos que ocurrieron en la zona de estudio.



**Figura 03.** Vista tomada en coordenadas UTM (GWS184-Zona 19s) E 178161; N 8501779. Se aprecia la ladera compuesta por la Formación San Sebastián; en la parte alta, las viviendas del A.H. Arahuy que fueron afectadas por el deslizamiento. Foto tomada en la orilla izquierda del río Huancaro.

### 3. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS

#### 3.1. Pendientes del terreno

En la zona inspeccionada los rangos de pendientes del terreno varían entre media ( $5^{\circ}$  -  $15^{\circ}$ ) a muy fuerte ( $25^{\circ}$ -  $45^{\circ}$ ), en la zona del deslizamiento se aprecia un talud de aproximadamente 40 m de altura con una pendiente muy fuerte y cambia abruptamente a pendiente media (figura 4).

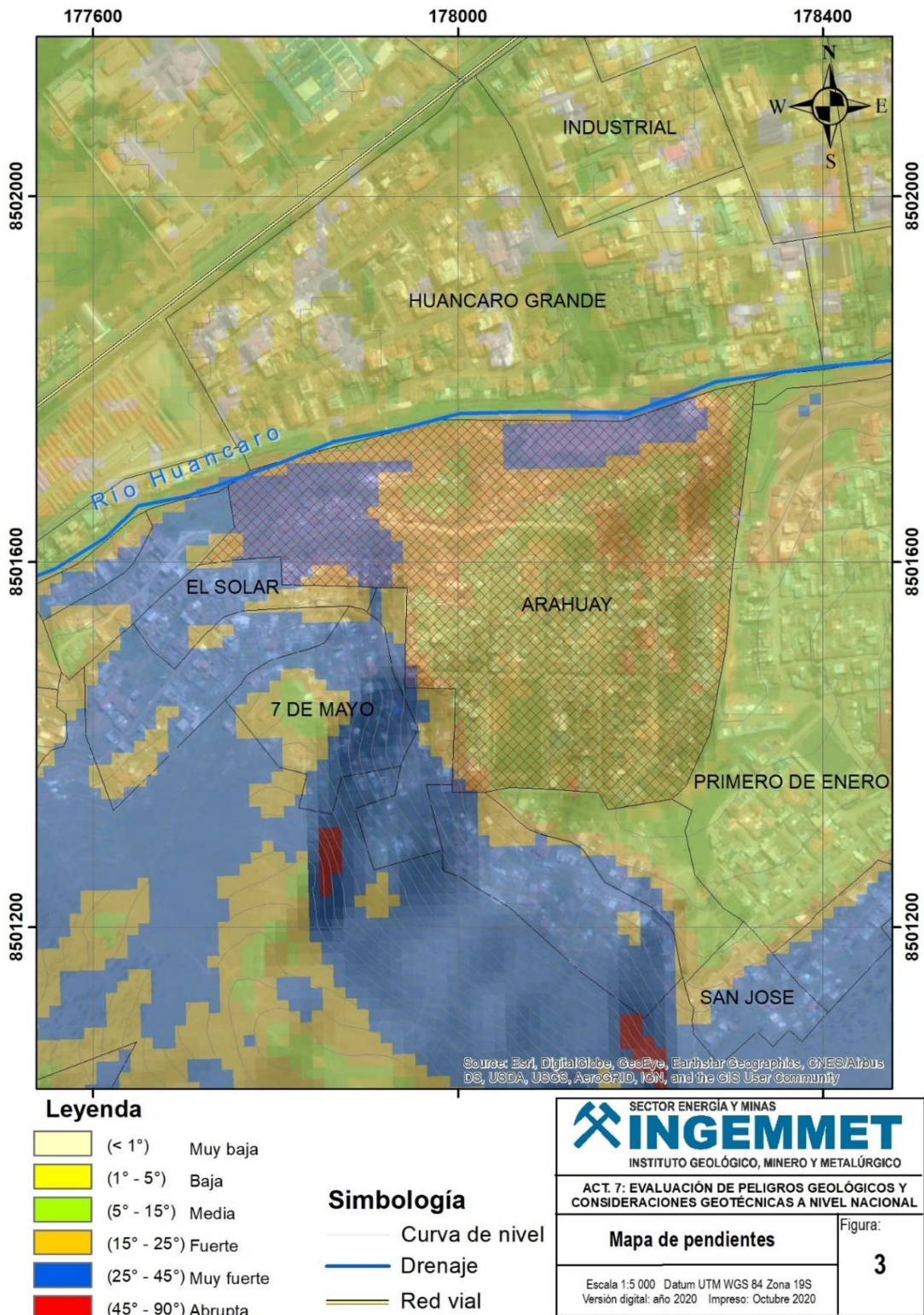


Figura 04. Mapa de pendientes del sector evaluado.

### 3.2. Unidades geomorfológicas

Para la caracterización de las unidades geomorfológicas en el área de estudio, se consideraron criterios de control como: la homogeneidad litológica y caracterización conceptual en base a aspectos del relieve en relación a la erosión, denudación y sedimentación (Vilchez et al., 2019).

#### 3.2.1. GEOFORMAS DE CARÁCTER TECTÓNICO - DEGRADACIONAL Y EROSIONAL

Esta geoforma es el resultado de procesos originados por la tectónica sumado a un consiguiente proceso denudativo y erosional, con acumulación de materiales que afectan otras geoformas preexistentes:

##### 3.2.1.1. Unidad de montañas

Se consideran dentro de Unidad de Montañas a elevaciones del terreno con alturas mayores a 300 m con respecto al nivel de base local, diferenciándose las siguientes subunidades según el tipo de roca que las conforma y los procesos que han originado su forma actual.

**Subunidad de montaña estructural en roca sedimentaria (RME-rs):** en la zona de estudio se consideran dentro de esta subunidad terrenos compuestos de rocas de la Formación Kayra, parte de ella ubicada al sur del A.H. Arahua, que se encuentra asociado a procesos erosivos determinado por la lluvia-escorrentía de la zona, para luego acumular sus materiales en los sectores más bajos hasta llegar al río Huancaro (figura 5).



**Figura 05.** Vista tomada en coordenadas UTM (GWS184-Zona 19s) E 178248; N 8501668. Se aprecia la vertiente o piedemonte coluvio – deluvial y al fondo la montaña estructural en roca sedimentaria compuesta por la Formación Kayra.

### 3.2.2. GEOFORMAS DE CARÁCTER DEPOSITACIONAL Y AGRADACIONAL

Están representadas por formas de terreno nivelados hacia arriba resultados de la acumulación de materiales provenientes de los procesos denudativos y erosionales que afectan las geoformas anteriores:

#### 3.2.2.1. Unidad de piedemonte

Forma de terreno que constituye la transición entre los relieves montañosos accidentados y las zonas planas, predomina depósitos coluviales antiguos y recientes, relacionadas con repentinos cambios de pendiente.

**Subunidad de vertiente o piedemonte coluvio – deluvial (V-cd):** en la zona de estudio, corresponde a las acumulaciones de ladera originadas por procesos de movimientos en masa, antiguos y recientes, que pueden ser del tipo deslizamientos, avalancha de rocas y/o movimientos complejos. Su litología es homogénea; con materiales inconsolidados a ligeramente consolidados, de corto a mediano recorrido relacionados a las laderas superiores adyacentes. Su morfología es usualmente convexa y su disposición semicircular a elongada en relación a la zona de arranque o despegue del movimiento en masa (figura 5).

#### 3.2.2.2. Unidad de planicie

Se considera unidad de planicie a terrenos con pendientes de tipo llano a suave, asociado a depósitos aluviales antiguos y fluvioglaciares, limitado en muchos casos por depósitos de piedemonte y laderas de montaña (Zavala & Vílchez, 2006).

**Subunidad de terraza aluvial (T-al):** Compuesta por proporciones de terreno dispuestas a los costados de la llanura de inundación o del lecho principal del río, a mayor altura, representan niveles antiguos de sedimentación fluvial, disectados por las corrientes de profundización del valle. En la zona de estudio se ubican ampliamente en la margen izquierda del río Huancaro como terraza aluvial (T-al), también podemos observar en la margen derecha del río, pero como terraza alta aluvial (Ta-al), perteneciente a la Formación San Sebastián; sobre esta subunidad se encuentra ubicado el asentamiento humano Arahua (figura 6).



**Figura 06.** Vista tomada en coordenadas UTM (GWS184-Zona 19s) E 178083; N 8501699. Se aprecia la terraza aluvial (T-al) en la margen izquierda del río Huancaro y la terraza alta aluvial (Ta-al) compuesta por depósitos de la Formación San Sebastián en la margen derecha del río.

## 4. ASPECTOS GEOTÉCNICOS GEOHIDROLÓGICOS

### 4.1. Formación San Sebastián

Desde el punto de vista geotécnico, los depósitos de esta formación ubicados en el deslizamiento pertenecen a su primera secuencia, por lo cual, los sedimentos lacustres y palustres tienen un comportamiento pésimo, tanto en las cimentaciones como en la estabilidad de las laderas, podemos observar en la ladera del asentamiento humano Arahua, donde se generó el deslizamiento y caídas de rocas (Carlotto et al., 2011).

Además de acuerdo a la clasificación hidrogeológica esta formación está catalogada como Acuitardo sedimentario, porque estos depósitos de arcillas y diatomitas intercaladas con arenas en conjunto tienen la capacidad de almacenar y transmitir lentamente el agua en su interior o en forma localizada debido a su poca permeabilidad (Carlotto et al., 2011).



## 4.2. Formación Kayra

Desde el punto de vista geotécnico, los depósitos ubicados en la parte alta hacia el sur del deslizamiento, son rocas sedimentarias que tienen un comportamiento muy favorable para las obras civiles (Carlotto et al., 2011).

Además, de acuerdo a la clasificación hidrogeológica esta formación está catalogada como Acuífero fisurado sedimentario porque tiene la capacidad de almacenar y transmitir agua subterránea. Es decir, que permite el movimiento del agua por gravedad, también posee gran cantidad de fracturas que le dan una mayor porosidad efectiva secundaria, lo que facilita la infiltración de las aguas de lluvia que alimentan el acuífero (Carlotto et al., 2011).

## 5. PELIGROS GEOLÓGICOS Y/O GEOHIDROLÓGICOS

Los peligros geológicos reconocidos en la zona evaluada, corresponden a movimientos en masa de tipo deslizamiento y caídas (derrumbes) (Proyecto Multinacional Andino: GCA, 2007). Estos procesos son resultado del proceso de modelamiento del terreno, así como la incisión sufrida en los cursos de agua en la Cordillera de los Andes, que conllevó a la generación de diversos movimientos en masa, que modificaron la topografía de los terrenos y movilizaron cantidades variables de materiales desde las laderas hacia el curso de los ríos.

Estos movimientos en masa, tienen como causas o condicionantes factores intrínsecos, como son la geometría del terreno, la pendiente, el tipo de roca, el tipo de suelos, el drenaje superficial–subterráneo y la cobertura vegetal. Se tiene como “desencadenantes” de estos eventos las precipitaciones pluviales periódicas y extraordinarias que caen en la zona, así como la sismicidad.

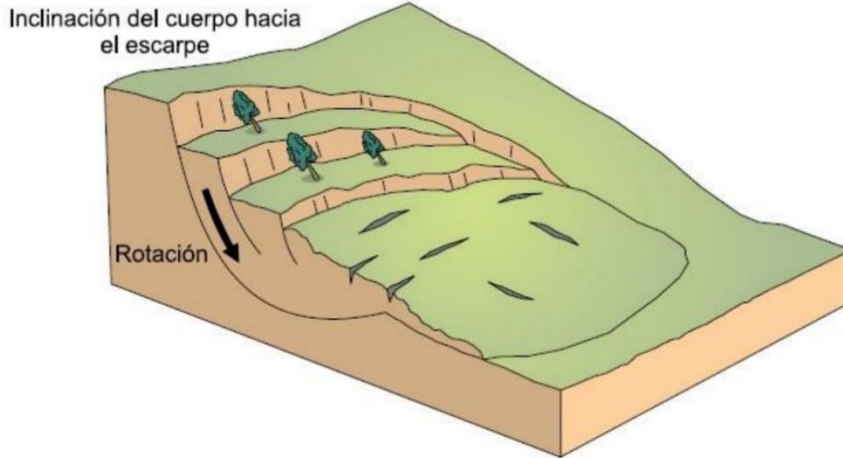
### 5.1. Peligros geológicos por movimientos en masa

Para explicar los eventos de movimientos en masa, tomamos como base la terminología sobre movimientos en masa en la región andina preparado por el grupo Proyecto Multinacional Andino (PMA: GCA, 2007), donde se describen los eventos de movimientos en masa.

#### **Deslizamiento**

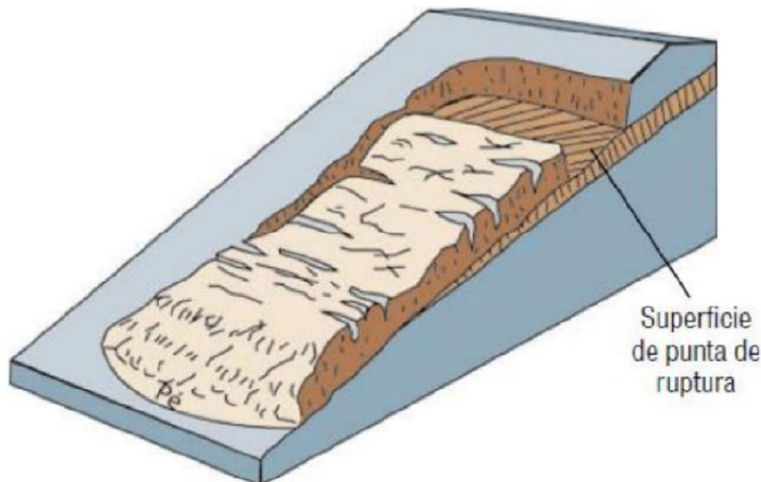
Un deslizamiento es un movimiento ladera abajo de una masa desprendida del sustrato o de suelo que normalmente ocurre a lo largo de una superficie de falla o de una zona delgada donde ocurre una deformación cortante.

Es rotacional si el movimiento lo hace en una superficie de falla curva y cóncava (figura 7), su forma se caracteriza por tener escarpe principal profundo y una contrapendiente de la superficie de la cabeza del deslizamiento hacia el escarpe principal, la deformación interna de la masa desplazada es usualmente poca, debido al mecanismo rotacional que es auto – deslizante (PMA: GCA, 2007).



**Figura 07.** Esquema de un deslizamiento rotacional indicando los rasgos morfológicos característicos.

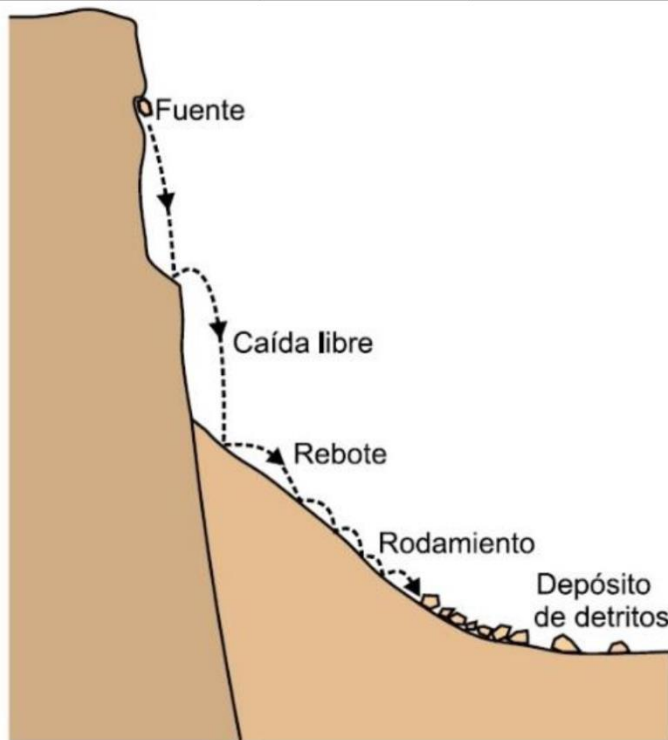
Es traslacional si el movimiento se da a lo largo de una superficie de falla plana (figura 8) estos movimientos suelen ser más superficiales y su desplazamiento discurre a lo largo de la discontinuidad (PMA: GCA, 2007).



**Figura 08.** Esquema de un deslizamiento traslacional indicando los rasgos morfológicos característicos.

### Caída de rocas

Son movimientos en masa en el cual uno o varios bloques de roca se desprenden de una ladera sin que a lo largo de la superficie ocurra desplazamiento cortante, el material cae desplazándose principalmente realizando rodamientos (figura 9) en zonas con pendiente escarpada este movimiento es rápido y a veces extremadamente rápido (PMA, 2007), además cuando las caídas no tienen una forma definida se le denomina derrumbes.



**Figura 09.** Esquema de caída de detritos en zona de pendientes pronunciadas.

## 5.2. Deslizamiento del Asentamiento Humano Arahuaay

Evento localizado en la margen derecha del río Huancaro dentro del área del A.H. Arahuaay, es un deslizamiento de tipo rotacional con presencia de grietas retrogresivas, el cual indica su crecimiento, tiene una escarpa de deslizamiento 120 m por 3.5 m de altura, el deslizamiento tiene un ancho aproximado de 90 m y 42 m de altura, una distancia desde la zona de arranque de 21 m y un volumen de 80 000 m<sup>3</sup>, con presencia de grietas dentro y fuera del deslizamiento, entre ellas dentro de las viviendas se aprecian grietas de hasta 15 cm de ancho con 50 cm de profundidad y 47 m de longitud y dentro del deslizamiento se observa grietas de hasta 1 m de ancho con 70 cm de profundidad y 25 m de longitud. Es una reactivación que afecta a la manzana C del asentamiento humano. El material deslizado obstruyó el cauce del río, por lo que el Gobierno Regional tuvo que intervenir mediante la limpieza del cauce al día siguiente del evento para evitar un posible huaico aguas abajo.

### 5.2.1. CARACTERÍSTICAS VISUALES DEL EVENTO

El día 20 de febrero del presente año se reactivó el deslizamiento produciendo colapso de una vivienda y dejando grietas en los muros y pisos de las demás viviendas

adyacentes, se pudo observar el material deslizado perteneciente a depósitos de la Formación San Sebastián, geotécnicamente estos depósitos se comportan pésimamente en la estabilidad de las laderas y en las cimentaciones. Hidrogeológicamente es un acuitardo sedimentario por tener la capacidad de retener agua y transmitirla lentamente por su interior, por lo que se aprecian ojos de agua en toda la ladera, emergiendo en algunos paquetes de esta formación, aunque no sea época de precipitaciones (figura 10, 11, 12, 13 y 14).

El deslizamiento rotacional del A.H. Arahuay tiene las siguientes características y dimensiones (figura 10):

- Ancho promedio de la zona de arranque: 90 m
- Forma de la superficie de rotura: cóncava
- Diferencia de altura aproximada de la corona a la base del deslizamiento: 63 m
- Dirección (azimut) del movimiento: N 05°
- Área del deslizamiento: 5 976 m<sup>2</sup>
- Volumen aproximado de material colapsado: 80 000 m<sup>3</sup>
- Produjo el represamiento del río Huancaro, por lo cual se tuvo que realizar la limpieza del cauce (fotografía 1).



**Figura 10.** Se aprecia la escarpa y el salto principal del deslizamiento con sus respectivas medidas.



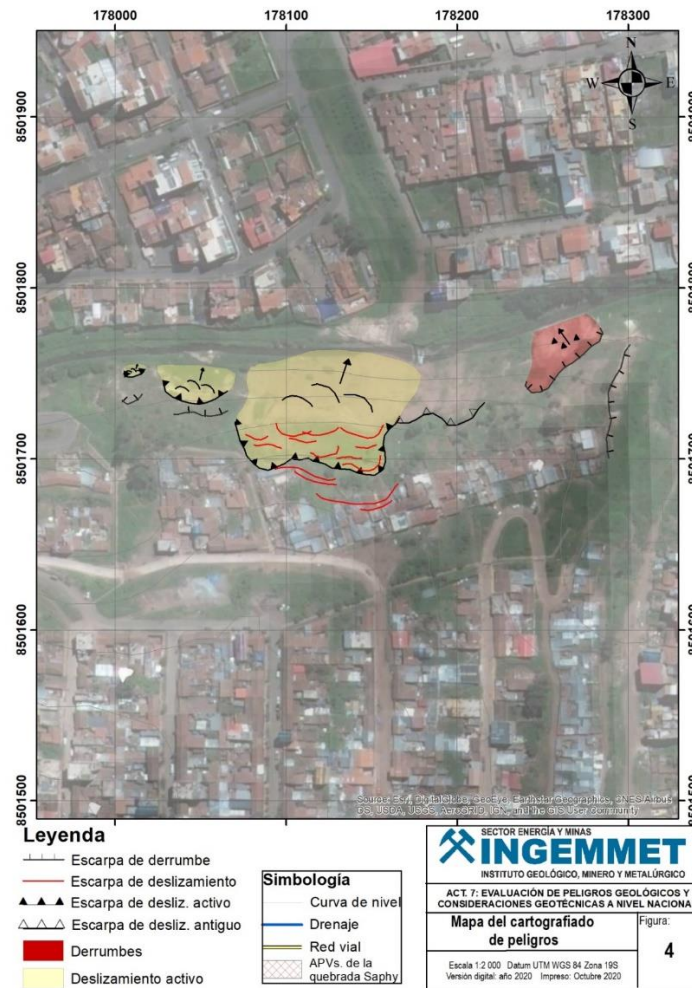
**Figura 11.** Vista tomada en coordenadas UTM (GWS184-Zona 19s) E 178080; N 8501707. Se aprecia el cuerpo del deslizamiento (ancho) y la altura desde la corona hasta el pie del deslizamiento con sus medidas respectivas en la parte baja el cauce del río Huancaro.



**Figura 12.** Vista tomada en coordenadas UTM (GWS184-Zona 19s) E 178114; N 8501706. Se puede apreciar las grietas transversales que se presentan dentro del deslizamiento, con las medidas principales de la grieta mayor.



**Figura 13.** Vista de la figura B tomada en coordenadas UTM (GWS184-Zona 19s) E 178138; N 8501681. Se aprecia presencia de grietas retrogresivas ubicadas fuera del deslizamiento, que afectan pisos y paredes de las viviendas del sector.



**Figura 14.** Mapa del Cartografiado de peligros del deslizamiento y derrumbe que afectan al A.H. Arahuay.



**Fotografía 1.** Limpieza del cauce del río Huancaro, ejecutado por el Gobierno Regional de Cusco, extraído de la página de Facebook (Cusco Noticias News Cusco).

### **5.3. Derrumbe de detritos de A.H. Arahuary**

Evento localizado en la margen derecha del río Huancaro dentro del área del A.H. Arahuary, es un derrumbe que se presenta en las diatomitas de la Formación San Sebastián, tiene una distancia aproximada de 46 m de ancho y 22 m de altura. Es una reactivación que se dio el presente año y que no afecta a viviendas, pero se debe controlar para evitar la generación de nuevos eventos que puedan afectar terrenos de cultivo del sector.

#### **5.3.1. CARACTERÍSTICAS VISUALES DEL EVENTO**

En el presente año se reactivó la zona de derrumbes de detritos, geotécnicamente los depósitos de diatomitas se comportan pésimamente en la estabilidad de laderas. Hidrogeológicamente es un acuitado sedimentario por tener la capacidad de retener agua y transmitirla lentamente por su interior, por lo que se aprecian ojos de agua en toda la ladera, emergiendo en algunos paquetes de esta Formación, aunque no sea época de precipitaciones (figura 14 y 15).

El derrumbe de detritos del A.H. Arahuary tiene las siguientes características y dimensiones:

- Ancho promedio de la zona de arranque: 46 m
- Forma de la superficie de rotura: irregular
- Diferencia de altura aproximada de la zona de arranque a la base del derrumbe: 5 m
- Dirección (azimut) del movimiento: N 350°

- Volumen aproximado de material colapsado: 230 m<sup>3</sup>



**Figura 15.** Vista tomada en coordenadas UTM (GWS184-Zona 19s) E 178251; N 8501739. Derrumbe de detritos del sector noreste del A.H. Arahuay, se aprecia las medidas del derrumbe.

### 5.3.2. FACTORES CONDICIONANTES

- Los factores principales son los depósitos de la primera secuencia de la Formación San Sebastián ubicada en la ladera del A.H. Arahuay con un comportamiento geotécnico pésimo en la estabilidad de laderas y cimentaciones además de ser un acuitardo sedimentario conteniendo agua dentro de sus paquetes.
- El factor de forma, porque geomorfológicamente en el sector se presenta la subunidad de terraza alta, la ladera de esta terraza presenta movimientos en masa con procesos denudacionales por erosión y pendientes muy fuertes.
- La cobertura vegetal, en la zona existe poca vegetación arbustiva que mejore la calidad del suelo y absorba las aguas pluviales, además, por la tala de los árboles en el sector.
- El factor humano es muy importante ya que al construir las viviendas generaron cargas extra que debe soportar el suelo; habiendo dañado el talud con la construcción de las mismas e infiltrando sus vertimientos de desagües antes de que se haya generado los problemas.

### 5.3.3. FACTORES DETONANTES O DESENCADENANTES

- Las precipitaciones pluviales periódicas y extremas que se dan en la zona evaluada saturan y sobrecargan los suelos al punto de hacer fallar al talud.



- Los sismos pueden desencadenar los movimientos en masa principalmente en depósitos poco compactados durante o después del sismo.

#### 5.3.4. DAÑOS O EFECTOS SECUNDARIO

Las viviendas de la manzana C del Asentamiento Humano Arahúy fueron afectados por un deslizamiento, en más proporción el lote C-21 quedando con la vivienda colapsada, además, los lotes C-20, C-17, C-16, C-15, C-14, C-13, C-12 y C-11 presentan grietas en los muros y pisos y es por donde pasan las grietas retrogresivas de este deslizamiento.

### 6. CARACTERIZACIÓN DE ÁREAS PROPUESTAS PARA REUBICACIÓN

Se consultó sobre áreas de reubicación para las viviendas afectadas con el Arq. Víctor Del Castillo quien nos acompañó a la evaluación, el cual nos indicó que el A.H. Arahúy hasta el momento no cuenta con un sector para la reubicación.

## 7. CONCLUSIONES

- a) De acuerdo a la evaluación, en el Asentamiento Humano Arahua se encontró dos eventos por movimientos en masa considerados como peligro muy alto que pueden afectar a las viviendas y población del sector: primero el deslizamiento rotacional retrogresivo que afectó a viviendas del sector y segundo un derrumbe de detritos, ubicados en la margen derecha del río Huancaro en la terraza alta aluvial.
- b) Estos dos eventos de movimientos en masa están en estado latente siendo muy posible su reactivación en el tiempo, siendo cada vez de mayores volúmenes si no son controlados con tratamientos para la reducción del peligro en laderas.
- c) De acuerdo a la geología evaluada, los eventos de movimientos en masa se generan en la Formación San Sebastián, la cual tiene un comportamiento pésimo en la estabilidad de laderas además se observó procesos de erosión generados por la presencia de aguas infiltradas, los cuales son un factor importante a considerar para la generación de movimientos en masa.
- d) El deslizamiento es de tipo rotacional con presencia de grietas retrogresivas que indica su avance, también aproximadamente cuenta con un volumen de 80 000 m<sup>3</sup>, el ancho es de 90 m y la altura es de 63 m, de los cuales una parte de este material llegó a obstruir el río Huancaro.
- e) El derrumbe de detritos tiene aproximadamente un volumen de 230 m<sup>3</sup> con un ancho de 46 m y una altura de 5 m, estos materiales no ocasionaron ninguna pérdida, pero con el tiempo si no cuenta con un tratamiento adecuado el derrumbe puede aumentar en magnitud y generar daños considerables.
- f) Las lluvias son uno de los factores desencadenantes de estos movimientos en masa, es posible que se siga deslizando este sector por el periodo de avenidas presentes, porque la infiltración del suelo será mayor debido a que las grietas generadas por el movimiento del deslizamiento fracturaron los paquetes interiores de arcillas que aíslan al agua infiltrada.

## 8. RECOMENDACIONES

- A) Por el periodo de lluvias presente, es de urgencia la reubicación de las viviendas de la manzana C del Asentamiento Humano Arahua , principalmente las viviendas afectadas por las grietas como efecto del deslizamiento que son los lotes C-21, C-20, C-17, C-16, C-15, C-14, C-13, C-12 y C-11 y posteriormente la totalidad de la manzana de acuerdo el avance del deslizamiento.
- B) Se recomienda retirar los materiales de construcción de viviendas afectadas y construir zanjas de coronación recubiertas en estas zonas, con la finalidad de drenar el agua superficial del sector.
- C) Para reducir la infiltración de aguas pluviales en el deslizamiento, se debe recubrir el área con geomantas para impedir el paso de las aguas pluviales al subsuelo.
- D) Reducir las pendientes de la ladera con banqueteo, para realizar estas acciones se debe contar con profesionales capacitados y cuidar de no dañar más el terreno ya que se conoce la reacción de estos depósitos frente a esfuerzos mayores de los que soportan, en el sector del deslizamiento no realizar esta obra.
- E) En el deslizamiento y derrumbe, realizar zanjas de coronación recubiertas, además de realizar la misma acción para toda la manzana desde la altura de las antenas de conducción eléctrica de alta tensión, previo estudio geohidrológico para ubicar la o las capas que retiene los flujos de agua del subsuelo.
- F) Las recomendaciones que se dan son integrales y de urgencia, ya que la infiltración de las aguas pluviales será mayor por las grietas generadas por la reactivación del deslizamiento.
- G) Implementar Sistemas de Alerta Temprana mientras no se realicen estas obras, para que las personas ubicadas en el sector tengan un mejor resguardo ante estos fenómenos.



Segundo A. Núñez Juárez  
Jefe de Proyecto-Act. 11



.....  
Ing. LIONEL V. FIDEL SMOLL  
Director  
Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico  
INGEMMET

## 9. BIBLIOGRAFÍA

Cárdenas, J.; Concha, R.; García, B.; Astete, I.; Arriola, D., et al. (2013) - Mapa de peligros geológicos del valle del Cusco. En: Foro Internacional Peligros Geológicos, Arequipa, 14-16 octubre 2013, Libro de resúmenes. Arequipa: INGEMMET, pp. 40-45.

Carlotto, V., Cardénas, J. y Carlier, G. (2011) - Geología del Cuadrángulo de Cusco 28-s - 1:50 000 INGEMMET, Boletín, Serie A: 138, 258p., 6 mapas.

Cruden, D.M. & Varnes, D.J. (1996) - Landslides types and processes, en Turner, K., y Schuster, R.L., ed., Landslides investigation and mitigation: Washintong D. C, National Academy Press, Transportation researchs board Special Report 247, p. 36-75.

Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas. (2007) - Movimientos en Masa en la Región Andina: Una guía para la evaluación de amenazas. Servicio Nacional de Geología y Minería, Publicación Geológica Multinacional, No. 4, 432 p., 1 CD-ROM

SENAMHI. (1988). Mapa de clasificación climática del Perú. Método de Thornthwaite. Eds. SENAMHI Perú, 50pp.

Vilchez, M.; Sosa, N.; Pari, W. & Peña, F. (2020) - Peligro geológico en la región Cusco. INGEMMET, Boletín, Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica, 74, 202 p, 9 mapas.

Zavala, B.; Vilchez, M. (2006), Estudio de Riesgos Geológicos en la Región Huánuco. INGEMMET, Serie C. Geodinámica e Ingeniería Geológica, N° 34, 174p., 5 mapas 1:900 000, y 11 mapas escala 1:300 000.