

DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO

Informe Técnico N° A7312

EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS POR DESLIZAMIENTO EN EL CENTRO POBLADO DE NUNUPATA

Departamento Áncash
Provincia Huari
Distrito Chavín de Huántar



OCTUBRE
2022

EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS POR DESLIZAMIENTO EN EL CENTRO POBLADO DE NUNUPATA

(Distrito Chavín de Huántar, provincia Huari, departamento Ancash)

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

Equipo de investigación:

Guisela Choquenaira Garate

Segundo Núñez Juárez

Lionel Fidel Smoll

Mauricio Núñez Peredo

Ely Ccorimanya Chalco

Referencia bibliográfica

Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico (2022). Evaluación de peligros geológicos por deslizamiento en el centro poblado de Nunupata. Distrito Chavín de Huántar, provincia Huari, departamento Ancash. Lima: Ingemmet, Informe Técnico A7312, 46 p.

ÍNDICE

RESUMEN	4
1. INTRODUCCIÓN	6
1.1. Objetivos del estudio	6
1.2. Antecedentes y trabajos anteriores	6
1.3. Aspectos generales	9
1.3.1. Ubicación.....	9
1.3.2. Accesibilidad.....	10
1.3.3. Población.....	10
2. DEFINICIONES	11
3. ASPECTOS GEOLÓGICOS	12
3.1. Unidades litoestratigráficas	13
3.1.1. Formación Chimú (Ki-chi).....	13
3.1.2. Formación Santa (Ki-sa).....	13
3.1.3. Formación Carhuaz (Ki-ca).....	13
3.1.4. Depósito coluvial (Q-co).....	14
3.1.5. Depósito coluvio - deluvial (Q-cd).....	14
4. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS	15
4.1. Modelo digital de elevaciones (MDE)	15
4.2. Pendientes del terreno	16
4.3. Unidades geomorfológicas	17
5. PELIGROS GEOLÓGICOS	20
5.1. Análisis multitemporal del deslizamiento	20
5.2. Peligros geológicos por movimientos en masa	22
5.2.1. Deslizamiento de Nunupata.....	22
6. MECANISMOS ASOCIADOS A LA INESTABILIDAD DEL DESLIZAMIENTO	31
6.1. Factores condicionantes	31
6.2. Actividad antrópica	31
7. CONCLUSIONES	32
8. RECOMENDACIONES	34
9. BIBLIOGRAFÍA	35
ANEXO 1: MAPAS	36
ANEXO 2: DESCRIPCIÓN DE LOS DEPÓSITOS	40
ANEXO 2: MEDIDAS DE PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN	43

RESUMEN

El presente informe es el resultado de la evaluación de peligros geológicos en el centro poblado de Nunupata, de la jurisdicción distrital de Chavín de Huántar, provincia Huari, departamento Áncash. Con este trabajo, el Instituto Geológico Minero y Metalúrgico – Ingemmet, cumple con una de sus funciones que consiste en brindar asistencia técnica en peligros geológicos, para los tres niveles de gobierno (local, regional y nacional).

En el contexto litológico, el deslizamiento de Nunupata está compuesto por depósitos coluviales (antiguos deslizamientos) compuestos por bloques (3%), cantos (7%), gravas (25%), en una matriz de arenas (25%), limo (30%) y arcilla (10%); se presentan medianamente consolidadas, medianamente saturadas debido a la infiltración que genera el agua proveniente del riego de los terrenos cultivo de alfalfa. Son depósitos, fácilmente removibles y erosionables ante la presencia de agua pluvial y riego en exceso.

Estos depósitos cubren rocas de tipo areniscas cuarzosas, intercaladas con lutitas y limo - arcillitas de la Formación Carhuaz, controlada por la gran deformación tectónica – estructural, que formó un sinclinal, sufriendo un intenso fracturamiento, cuyo resultado se traduce en fragmentos de roca con diámetros entre 0.10m a 1.7 m, que por gravedad se desplazan cuesta abajo, generando inestabilidad en la ladera rocosa.

Morfológicamente, Nunupata se ubica en el cuerpo de un antiguo deslizamiento rotacional, circunscrita a una topografía accidentada, definido por relieves modelados en rocas sedimentarias estructurales, con laderas de pendientes que varían entre 25° a 65°, consideradas de fuerte a muy escarpadas, lo que contribuye que, el material suelto disponible en las laderas se erosione y se remueva fácilmente pendiente abajo, por efecto de la gravedad y escorrentía pluvial.

El análisis multitemporal, del deslizamiento de Nunupata, a través de imágenes del Google Earth disponibles desde el año 2005 a la actualidad, permitió analizar el comportamiento del evento. La reactivación del deslizamiento inicia como derrumbe, formando un área aproximada de 15.89 Ha; a lo largo del tiempo va incrementando en área y volumen, observando para el año 2013 un avance retrogresivo donde se aprecia la formación de escarpes. En la actualidad, el área inestable (derrumbes y deslizamientos) conforma un área aproximada de 103.69 Ha.

El deslizamiento D-1, con un área aproximada de 1.5 Ha, muestra actividad reciente, presentando numerosos agrietamientos longitudinales producidos en la zona posterior a la corona, con aperturas centimétricas (20 cm en promedio) en una longitud continua de 70 cm.

El deslizamiento D-2, ubicado a 12 m de la vivienda más próxima de Nunupata, representa el evento con mayor peligro ante la posible reactivación, puesto que, involucra mayor área y volumen de material deslizado, con altas probabilidades de generar plano de falla, que obturarían por completo el cauce del río Huachecsa, cuyo desembalse podría afectar a las viviendas de la localidad de Chavín de Huántar y al Centro Arqueológico del mismo nombre, localizado aproximadamente a 2.5 km, al NE del centro poblado de Nunupata.

El uso inadecuado de riego de terrenos de cultivo de alfalfa (riego por aspersión las 24 horas del día) en el cuerpo y áreas adyacentes del deslizamiento de Nunupata, está generando mayor saturación y humedecimiento del terreno, acelerando la reactivación del mismo.

De continuar la reactivación del deslizamiento de forma retrogresiva, afectaría al centro poblado de Nunupata, por lo cual se tendría que reubicar a las viviendas e infraestructura asentadas en el cuerpo del evento.

Debido a las condiciones geológicas, geomorfológicas y de geodinámica externa que presenta el centro poblado de Nunupata, se les considera como **Zona crítica** y de **Peligro Muy Alto**

1. INTRODUCCIÓN

El Ingemmet, ente técnico-científico 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 del Ministerio de Cultura, según Oficio N° 001122-2022-DDC ANC-MC, en el marco de nuestras competencias se realizó una evaluación de peligros geológicos por deslizamiento en el centro Poblado de Nunupata, que se encuentra en zona muy susceptible a movimientos en masa, exponiendo viviendas, vías de acceso y terrenos de cultivo.

La Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico del Ingemmet designó a los Ingenieros Lionel Fidel Smoll, Segundo Núñez Juárez, Guisela Choquenaira Garate, Ely Ccorimanya Chalco y Mauricio Núñez Peredo, para realizar la evaluación de peligros geológicos, el 3 y 4 de agosto del 2022. Es importante mencionar el acompañamiento, en las evaluaciones de campo del director del Centro Arqueológico de Chavín de Huántar.

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 terrestres y aéreas obtenidas con Dron), la cartografía geológica y geodinámica, con lo que finalmente se realizó la redacción del informe técnico.

Este informe se pone a consideración de la Municipalidad Distrital de Chavín de Huántar y entidades encargadas en la gestión del riesgo de desastres, donde se proporcionan resultados de la evaluación y recomendaciones para la mitigación y reducción del riesgo, 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) Evaluar y caracterizar los peligros geológicos por movimientos en masa en el centro poblado de Nunupata, que compromete viviendas, vías de acceso y terrenos de cultivo.
- b) Determinar los factores condicionantes que influyen en la ocurrencia de los peligros geológicos por movimientos en masa.
- c) Proponer medidas de prevención, reducción y mitigación ante peligros geológicos evaluados en la etapa de campo.

1.2. Antecedentes y trabajos anteriores

Entre los principales estudios realizados a nivel local y regional en el distrito de Chavín de Huántar, se tienen:

- A. Informe técnico. Movimientos en masa en la cuenca del río Huachecsa, Chavín de Huántar (Fidel., et al 2007). Describe la cartografía de peligros geológicos a escala 1:25 000, donde identificaron deslizamientos en la localidad de Nunupata (figura 1). Así mismo, identificaron flujo de detritos, que se desplazó por el río Huachecsa, en su

trayecto, erosionó la margen derecha del río, reactivando el deslizamiento de Nunupata. Este flujo, presentando hasta tres eventos de gran magnitud, en su desembocadura con el Río Mosna, afectó principalmente viviendas de la localidad de Chavín de Huántar y el centro Arqueológico del mismo nombre.

- B. Boletín N° 38, serie C: Riesgos Geológicos en la Región Áncash, realizado por Zavala, B. et al 2009; mencionan que el aluvión del 17 de enero de 1945, afectó parcialmente al complejo arqueológico de Chavín de Huántar y ocasionó 400 muertos. Este sector es considerado como de alta susceptibilidad a movimientos en masa y como zona crítica a peligros geológicos.

El estudio también realiza un análisis de susceptibilidad a movimientos en masa presentado en un mapa a escala 1: 250 000, donde el cerro Cruz de Shallapa y la localidad de Chavín de Huántar, se encuentran en zona de susceptibilidad Muy Alta (cuadro 1). Entendiéndose, la susceptibilidad a movimientos en masa como la propensión que tiene una determinada zona a ser afectada por un determinado proceso geológico (movimiento en masa), expresado en grados cualitativos y relativos.

- C. Informe técnico. Primer reporte “Zonas críticas por peligro geológico y geohidrológico en la región Ancash” (Zavala, 2007), determinó que el valle del río Mosna hasta la localidad de Pushca como **Zonas Críticas (44)**, debido a la peligrosidad que representa ante la ocurrencia de derrumbes, deslizamientos y flujo de detritos, con evidencia de aluviones históricos en el valle (cuadro 2).

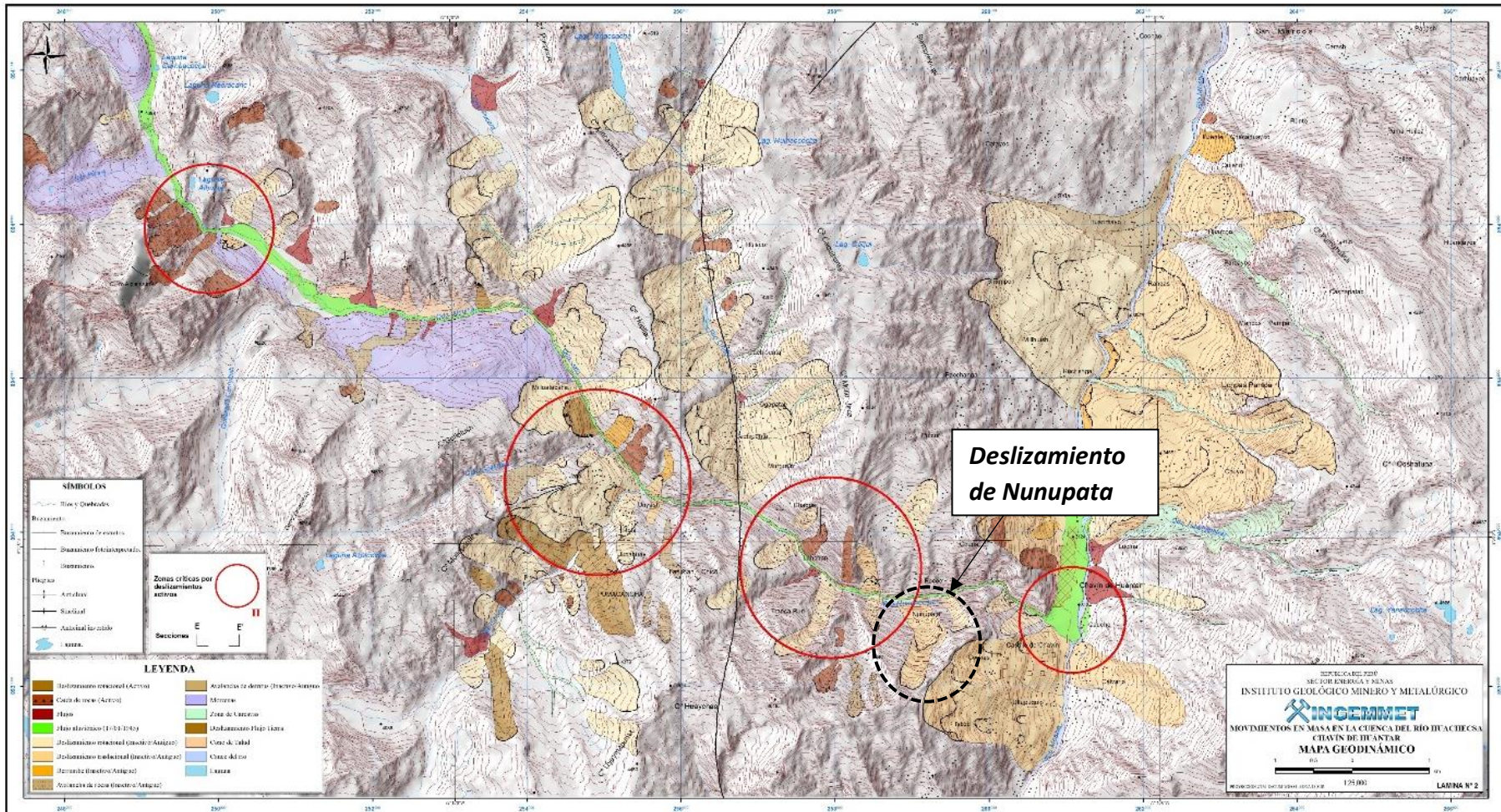


Figura 1. Cartografía de peligros geológicos en la localidad de Nunupata (demarcado en círculo negro) y laderas que circunscriben la quebrada Huachecsa.
 Fuente: Zavala, B. et al 2009.

1.3. Aspectos generales

1.3.1. Ubicación

Nunupata, se ubica en la margen derecha del río Huachecsa sobre el cuerpo de un antiguo deslizamiento, a 2.5 km al suroeste de la localidad de Chavín de Huántar. Políticamente, pertenece al distrito de Chavín de Huántar, provincia de Huari, departamento de Ancash (figura 2); en las siguientes coordenadas UTM (WGS84 – Zona 18 s) (cuadro 1):

Cuadro 1. Coordenadas del área evaluada

N°	UTM - WGS84 - Zona 17L		Geográficas	
	Este	Norte	Latitud	Longitud
1	258579	8939268	9°35'20.02"	77°11'58.61"
2	259228	8939338	9°35'17.88"	77°11'37.32"
3	259299	8938238	9°35'53.68"	77°11'35.22"
4	258666	8938360	9°35'49.58"	77°11'55.95"
COORDENADA CENTRAL DE LA ZONA EVALUADA O EVENTO PRINCIPAL				
C	259096	8938837	9°35'34.15"	77°11'41.75"

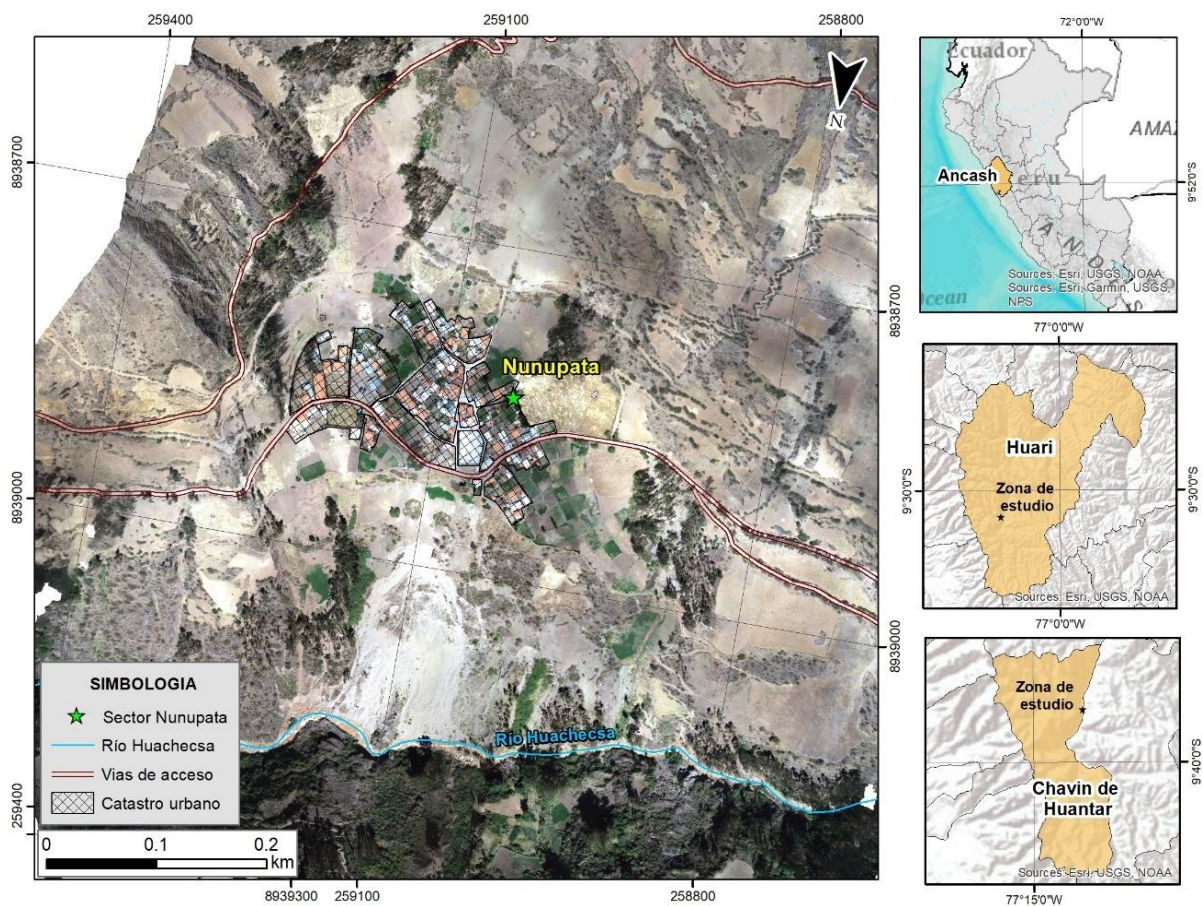


Figura 2. Ubicación del área evaluada, distrito de Chavín de Huántar, provincia de Huari, departamento Ancash.

1.3.2. Accesibilidad

Se accede por vía terrestre desde la ciudad de Lima (Ingemmet-sede central), mediante la siguiente ruta (cuadro 2):

Cuadro 2. Rutas y accesos al área evaluada.

Ruta	Tipo de vía	Distancia (km)	Tiempo estimado
Lima – Catac	Carretera asfaltada	367	6h 18 minutos
Catac – Chavín de Huántar	Carretera asfaltada	67.2	1h 21 minutos
Chavín de Huántar - Nunupata	Trocha carrozable	6.2 km	20 minutos

1.3.3. Población

Según el sistema de Información geográfica del Instituto Nacional de estadística e Informática (INEI, 2017), la distribución poblacional del centro poblado de Nunupata asciende a 150 Habitantes (varones, mujeres y niños), y 60 viviendas censadas. <http://sige.inei.gob.pe/test/atlas/>

Con apoyo de trabajos de campo se pudo observar que las viviendas de Nunupata están construidas en su mayoría de material rústico (adobes), además cuenta con una Institución educativa y cancha deportiva, ubicadas en la margen derecha del río Huachecsa y cuerpo del deslizamiento antiguo en proceso de reactivación (fotografía 1).



Fotografía 1. Vista de viviendas del centro poblado de Nunupata, ubicadas en el cuerpo de un deslizamiento antiguo.

2. DEFINICIONES

En el presente glosario se describe según los términos establecidos en el Proyecto Multinacional Andino - Movimientos en Masa GEMMA, del PMA: GCA:

AGRIETAMIENTO: Formación de grietas causada por esfuerzos de tensión o de compresión sobre masas de suelo o roca, o por desecación de materiales arcillosos.

CÁRCAVA: Tipo de erosión concentrada en surcos que se forma por el escurrimiento de las aguas sobre la superficie de las laderas.

CORONA (crown). Zona adyacente arriba del escarpe principal de un deslizamiento que prácticamente no ha sufrido desplazamiento ladera abajo. Sobre ella suelen presentarse algunas grietas paralelas o semi paralelas conocidas como grietas de tensión o de tracción.

COLUVIO-DELUVIAL: Forma de terreno o depósito formado por la acumulación intercalada de materiales de origen coluvial y deluvial (material con poco transporte), los cuales se encuentran interestratificados y por lo general no es posible diferenciarlos.

DERRUMBE: Desplome de una masa de roca, suelo o ambos por gravedad, sin presentar una superficie o plano definido de ruptura, y más bien una zona irregular. Se producen por lluvias intensas, erosión fluvial; rocas muy meteorizadas y fracturadas.

DESLIZAMIENTO: Movimiento ladera abajo de una masa de suelo o roca cuyo desplazamiento ocurre predominantemente a lo largo de una superficie de falla (Cruden y Varnes, 1996). Según la forma de la superficie de falla se clasifican en traslacionales (superficie de falla plana u ondulada) y rotacionales (superficie de falla curva y cóncava).

DESLIZAMIENTO ROTACIONAL: Tipo de deslizamiento en el cual la masa se mueve a lo largo de una superficie de falla curva y cóncava. Los deslizamientos rotacionales muestran una morfología distintiva caracterizada por un escarpe principal pronunciado y un contrapendiente de la superficie de la cabeza del deslizamiento hacia el escarpe principal.

ESCARPE (scarp). sin.: escarpa. Superficie vertical o semi vertical que se forma en macizos rocosos o de depósitos de suelo debido a procesos denudativos (erosión, movimientos en masa, socavación), o a la actividad tectónica. En el caso de deslizamientos se refiere a un rasgo morfométrico de ellos.

FACTOR CONDICIONANTE: Se refiere al factor natural o antrópico que condiciona o contribuye a la inestabilidad de una ladera o talud, pero que no constituye el evento detonante del movimiento.

FACTOR DETONANTE: Acción o evento natural o antrópico, que es la causa directa e inmediata de un movimiento en masa. Entre ellos pueden estar, por ejemplo, los terremotos, la lluvia, la excavación del pie de una ladera, la sobrecarga de una ladera, entre otros.

FORMACIÓN GEOLÓGICA: Unidad litoestratigráfica formal que define cuerpos de rocas caracterizados por presentar propiedades litológicas comunes (composición y estructura) que las diferencian de las adyacentes.

FRACTURA (crack). Corresponde a una estructura de discontinuidad menor en la cual hay separación por tensión, pero sin movimiento tangencial entre los cuerpos que se separan.

METEORIZACIÓN (weathering). Se designa así a todas aquellas alteraciones que modifican las características físicas y químicas de las rocas y suelos. La meteorización puede ser física, química y biológica. Los suelos residuales se forman por la meteorización in situ de las rocas subyacentes.

MOVIMIENTO EN MASA (mass movement, landslide). sin.: Fenómeno de remoción en masa (Co, Ar), proceso de remoción en masa (Ar), remoción en masa (Ch), fenómeno de movimiento en masa, movimientos de ladera, movimientos de vertiente. Movimiento ladera abajo de una masa de roca, de detritos o de tierras (Cruden, 1991).

RETROGRESIVO: Tipo de actividad de un movimiento en masa, en el cual la superficie de falla se extiende en la dirección opuesta al movimiento del material desplazado (Cruden y Varnes, 1996).

SUSCEPTIBILIDAD: La susceptibilidad está definida como la propensión que tiene una determinada zona a ser afectada por un determinado proceso geológico, expresado en grados cualitativos y relativos. Los factores que controlan o condicionan la ocurrencia de los procesos geodinámicos son intrínsecos (la geometría del terreno, la resistencia de los materiales, los estados de esfuerzo, el drenaje superficial y subterráneo, y el tipo de cobertura del terreno) y los detonantes o disparadores de estos eventos son la sismicidad y la precipitación pluvial.

TALUD: Superficie artificial inclinada de un terreno que se forma al cortar una ladera, o al construir obras como por ejemplo un terraplén.

ZONAS CRÍTICAS: Son zonas o áreas con peligros potenciales de acuerdo a la vulnerabilidad asociada (infraestructura y centros poblados), que muestran una recurrencia, en algunos casos, entre periódica y excepcional. Algunas pueden presentarse durante la ocurrencia de lluvias excepcionales y puede ser necesario considerarlas dentro de los planes o políticas nacionales, regionales y/o locales sobre prevención y atención de desastres.

3. ASPECTOS GEOLÓGICOS

El análisis ingeniero - geológico realizado en el centro poblado de Nunupata, se desarrolló en base a la información obtenida en campo y la Carta Geológica del cuadrángulo de Recuay – hoja 20-i, (Cobbing et al., 1996), a escala 1/100 000, donde se presentan rocas sedimentarias del cretácico y depósitos coluvio, deluviales y aluviales del Cuaternario, éstos últimos a través de la cartografía y en base a la interpretación de imágenes satelitales, fotografías aéreas se completa en el mapa geológico, presentado en el mapa 1: Anexo 1.

3.1. Unidades litoestratigráficas

Las unidades litoestratigráficas que afloran en las laderas que circunscriben el centro poblado de Nunupata corresponden a rocas de origen sedimentario de las formaciones Chimú (Ki-chi), Santa (Ki-sa) y Carhuaz (Ki-ca). En algunas zonas, estas unidades se encuentran cubiertas por depósitos coluviales, deluviales y residuales, que han sido acumulados desde el Pleistoceno hasta la actualidad.

3.1.1. Formación Chimú (Ki-chi)

Esta unidad infrayace a la Formación Santa, formando parte del sinclinal que atraviesa el centro poblado de Nunupata. Está conformado por areniscas, cuarcitas, lutitas, niveles de carbón, estos últimos son rocas poco competentes.

3.1.2. Formación Santa (Ki-sa)

Aflora ampliamente en la cuenca del río Huachecsa, sobreyaciendo a la Formación Chimú, así mismo, aflora en las laderas que circunscriben el centro poblado de Nunupata. Está conformado de calizas muy fracturadas, debido deformación tectónica – estructural, dando origen a plegamientos (anticlinales y sinclinales).

Las calizas de origen marino con espesores que varían entre 30 y 50 m, presentan 3 familias de fracturamiento, y de moderada a alta meteorización. De acuerdo a sus características ingeniero – geológicas, se consideran como rocas de regular calidad geotécnica.

3.1.3. Formación Carhuaz (Ki-ca)

Aflora en los alrededores de la desembocadura del río Huachecsa, al este del sitio arqueológico de Chavín de Huántar y ladera noreste del centro poblado de Nunupata, donde resalta por su accidentada morfología. Esta formación se caracteriza por sus estratos de areniscas cuarzosas blancas y macizas en capas de 1 a 3 m de espesor, que se han depositado en un ambiente deltaico en el Cretácico inferior. El espesor de la unidad varía entre 100 y 200 m (Fuente: Núñez, S. 2022).

Localmente, se observa en la cabecera y flancos que delimitan el deslizamiento de Nunupata, así como en la margen derecha del río Huachecsa, por encima de la zona de deslizamiento activo. Según la interpretación del mapa geológico del cuadrángulo de Recuay, esta unidad forma parte de un sinclinal, en dirección N-S; lo que estaría controlando la formación del deslizamiento. Los afloramientos se encuentran de moderado (F3) a muy fracturados (F4) (cuadro 3) produciendo bloques sueltos que conforman depósitos coluviales y coluvio - deluviales.

Esta unidad está asociada a caída de rocas, derrumbes y deslizamientos. De acuerdo a sus características ingeniero – geológicas, se consideran como rocas de regular calidad geotécnica (fotografía 2).

Cuadro 3. Clasificación del grado de fracturamiento de los afloramientos de la Formación Carhuaz.

INTENSIDAD DE FRACTURAMIENTO		
NOMBRE	SEPARACIÓN	DESCRIPCIÓN
F1	>3 m	Fracturas espaciadas entre si (más de 3)
F2	3 -1 m	Fracturadas espaciadas a veces no distinguidas
F3	1.0 - 0.3 m	Espaciamiento regular entre fracturas
F4	0.30 - 0.05 m	Fracturas muy próximas entre sí. Se separan en bloques tabulares
F5	< 0.05 m	La roca se muestra astillosa y se separan lascas con facilidad

Fuente: ISRM,1981



Fotografía 2. Afloramiento rocoso, conformado por areniscas de moderada a altamente meteorizadas y muy fracturadas, condicionadas por la deformación tectónica-estructural.

3.1.4. Depósito coluvial (Q-co)

Los depósitos coluviales corresponden a agregados de fragmentos angulosos de roca, transportados por acción de la gravedad y que se acumulan regularmente en los taludes adyacentes a los macizos rocosos (fotografía 3).

En la zona puntual, estos depósitos se encuentran al pie del deslizamiento de Nunupata transportados por acción de la gravedad. Están compuestos por bloques angulosos de hasta 1.5 m, gravas, arenas, limos -arcillas (fotografía 2).

3.1.5. Depósito coluvio - deluvial (Q-cd)

Son materiales de origen coluvial (caídas de rocas, derrumbes y deslizamientos) y deluvial (procesos de remoción, con agua, con bajo transporte), que se encuentran medianamente consolidados. Sobre este depósito se encuentra asentada el centro poblado de Nunupata, cubriendo principalmente el substrato rocoso de la Formación Carhuaz.

Están compuestos por bloques de composición sedimentaria (calizas), de formas angulosas a subangulosas, con diámetro hasta de 1.7 m, gravas y gravillas envueltos en una matriz areno limosa, con regular presencia de arcilla (figura 3 y cuadro 4).



Figura 3. Depósito coluvial-deluvial, compuestos por bloques de calizas angulosas a subangulosas, con diámetro hasta de 1.7 m, gravas y gravillas envueltos en una matriz areno limosa, con regular presencia de arcilla.

Cuadro 4. Clasificación granulométrica de los depósitos coluvio deluviales.

GRANULOMETRÍA		FORMA		REDONDES		PLASTICIDAD	
%							
3	Bolos		Esférica		Redondeado		Alta plasticidad
7	Cantos	X	Discoidal	X	Subredondeado		Med. Plástico
15	Gravas		Laminar		Anguloso	X	Baja Plasticidad
10	Gránulos		Cilíndrica	XX	Subanguloso		No plástico
25	Arenas						
30	Limos						
10	Arcillas						

4. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS

4.1. Modelo digital de elevaciones (MDE)

En la figura 4 B, se presenta el mapa de alturas, clasificados en cinco niveles altitudinales, con la finalidad de visualizar la extensión con respecto a la diferencia de alturas. El deslizamiento antiguo (D3) donde actualmente se encuentra asentado el centro poblado de

Nunupata, inicia a una altura de 4016 m s.n.m. mientras que el deslizamiento reactivado inicia a una altura de 3608 m s.n.m. Finalmente, el deslizamiento activo y latente (D-1) comprende elevaciones que van desde los 3428 m s.n.m. hasta los 3339 m s.n.m., punto donde el deslizamiento deposita el material al río Huachecsa;

4.2. Pendientes del terreno

La pendiente es un parámetro importante en la evaluación de procesos por movimientos en masa, actúa como factor condicionante y dinámico en la generación de movimientos en masa.

En la figura 4 A, se presenta el mapa de pendientes del actual relieve del centro poblado de Nunupata, elaborado en base al modelo de elevación digital de 0.14 m de resolución, obtenido a través de fotogrametría (Dron).

En el área de inspección se han identificado los 4 rangos de pendientes (cuadro 5) bien marcados debido a la configuración morfológica del relieve, donde se presentan con mayor predominio laderas con pendientes muy fuertes (25°-45°) a escarpadas (>45°), en el deslizamiento activo y latente, así como en la ladera rocosa de la Formación Carhuaz, con un cambio a terrenos de pendientes moderadas (5°-15°) a fuertes (15°-25°) en la superficie donde se encuentra asentada la localidad de Nunupata, es decir en el cuerpo del deslizamiento reactivado (cuadro 5).

Cuadro 5. Rangos de pendiente identificados en el área evaluada.

RANGO	DESCRIPCIÓN	SECTOR	UNIDAD GEOMORFOLÓGICA
5°-15°	Pendiente moderada	Se presentan en el cuerpo de un deslizamiento antiguo reactivado sobre el cual se asienta el centro poblado de Nunupata, y en las vertientes coluvio- deluviales, y depósitos de las avalanchas.	Vertiente de deslizamiento
15°-25°	Pendiente fuerte	Se presenta en las vertientes coluvio deluviales (depósito de deslizamiento).	Vertientes coluvio- deluviales con evidencias de deslizamiento antiguos
25°-45°	Pendiente muy fuerte o escarpada	Cubran gran parte de la zona de estudio. Se presenta en las laderas que delimitan el conjunto de deslizamientos de Nunupata, y la cara del deslizamiento activo y latente.	Laderas de montaña sedimentaria (Formación Carhuaz) y vertiente de deslizamiento
>45°	Terreno muy escarpado	En las laderas que circunscriben el deslizamiento de Nunupata, y zonas de escarpes de deslizamientos	Laderas de montaña sedimentaria

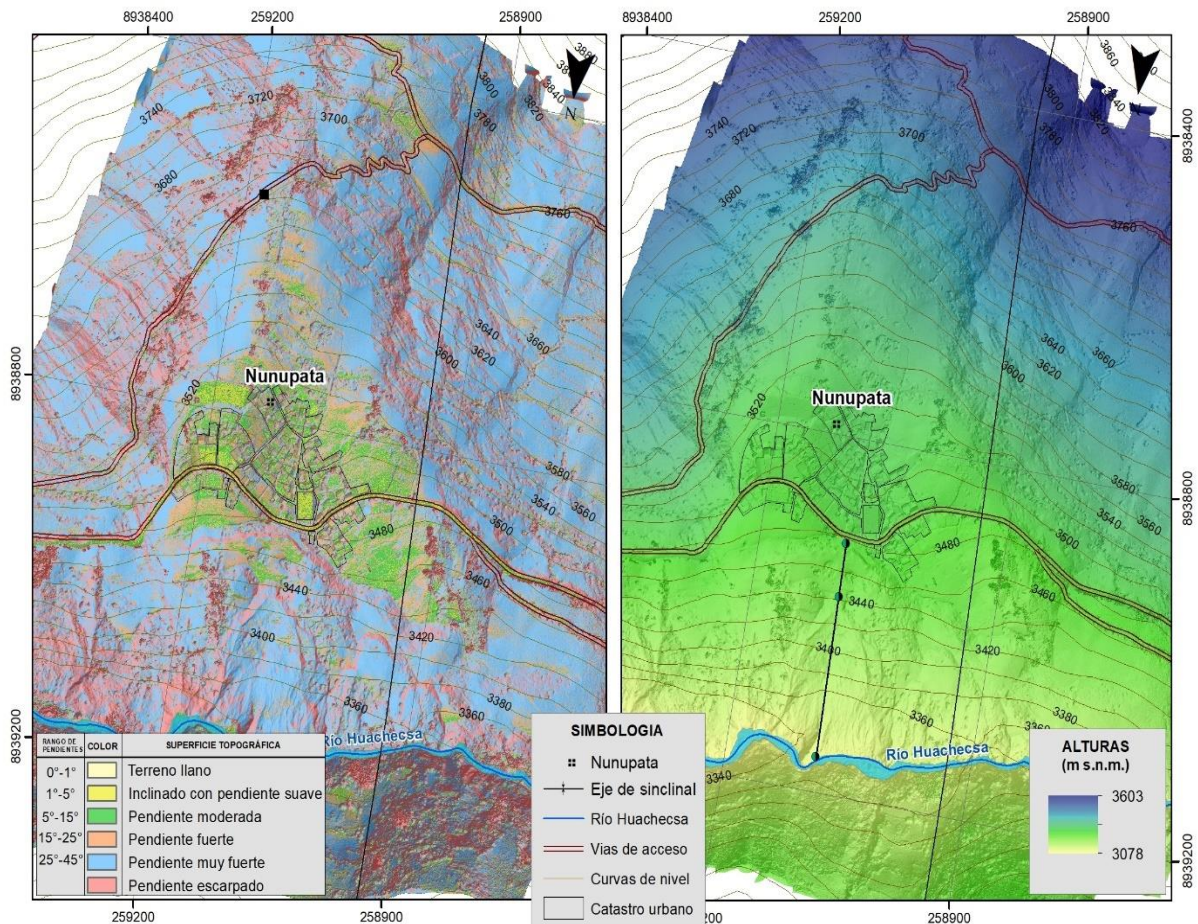


Figura 4. A) Variación de pendientes. B) Modelo digital de elevaciones.

4.3. Unidades geomorfológicas

Para la caracterización de las unidades geomorfológicas (Anexo 1: Mapa 2), 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 (Vílchez *et al.*, 2020).

El centro poblado de Nunupata se encuentra en la margen derecha de un valle estrecho, en forma de “V”, con laderas de pendiente fuertes a escarpada, donde existe la posibilidad de que algunos movimientos en masa puedan generar importantes cierres del valle; con consecuencias de afectación a las viviendas asentadas aguas abajo.

A continuación, se mencionan las principales unidades y subunidades geomorfológicas identificadas y que conforman el relieve en la zona de estudio. Cabe recalcar que, dichas definiciones y unidades establecidas en el mapa geomorfológico regional del departamento de Ancash, a escala 1/ 1 000 000 (Ingemmet, 2012), fueron complementadas y modificadas con información obtenida en campo (figura 5).



Figura 5. Unidades geomorfológicas. RME-rs: Montaña estructural modelada en roca sedimentaria. V-cd: Vertiente coluvio - deluvial. V-dd: Vertiente con depósito de deslizamiento.

4.3.1. Unidad de montañas

Tienen una altura de más de 300 m con respecto al nivel de base local; según el tipo de roca que las conforma y los procesos que han originado su forma actual, se diferencia las siguientes subunidades:

Subunidad de montaña estructural modelado en rocas sedimentarias (RME-rs): Relieve modelado en secuencias de la Formación Carhuaz, conformada por areniscas cuarzosas. Las montañas que cubren gran parte de la zona de estudio, presentan cimas subredondeadas y alargadas, cuyas laderas naturales poseen pendientes que varían de 20° a 65° (figura 6).

4.3.2. Unidad de piedemonte

Están representadas por formas de terreno resultados de la acumulación de materiales provenientes de los procesos denudativos y erosionales que afectan las geoformas anteriores, aquí se tienen:

Subunidad de vertiente coluvial (V-cd): Geoforma formada por la acumulación de material detrítico heterogéneo, de formas angulosos a subangulosos, originado por la acumulación de material caído desde las partes altas, por acción de la gravedad y del agua de escorrentía pluvial. Estas unidades se presentan de manera constante en las laderas que circundan el río Huachecsa, de forma puntal, al pie del deslizamiento de Nunupata (fotografía 3).

Vertiente de deslizamiento (V-dd): Corresponde a las acumulaciones de ladera originadas por procesos de movimientos en masa prehistóricos, antiguos y recientes, que pueden ser del tipo deslizamientos, derrumbes, avalancha de rocas y/o movimientos complejos. Generalmente su composición litológica es homogénea, con materiales inconsolidados a

ligeramente consolidados de corto a mediano recorrido relacionados a las laderas superiores de los valles. Su morfología es usualmente convexa y con disposición semicircular a elongada en relación con la zona de arranque o despegue del movimiento en masa.

Esta unidad geomorfológica fue identificada en el área de inspección, corresponde al depósito detrítico de un deslizamiento antiguo de Nunupata, en la ladera noreste, sobre el cual se asienta parte en centro Poblado de Nunupata. Esta vertiente de deslizamiento tiene pendientes moderadas a escarpadas. Por su naturaleza es susceptible a presentar reactivaciones (fotografía 4).



Fotografía 3. Vertiente coluvial, formado a partir de la masa deslizada del deslizamiento reactivado de Nunupata, por efecto de la gravedad



Fotografía 4. Vista de Vertiente coluvio-deluvial, sobre el cual se encuentra asentado parte de las viviendas del centro poblado de Nunupata.

5. PELIGROS GEOLÓGICOS

Los peligros geológicos identificados en el centro poblado de Nunupata, corresponden a movimientos en masa de tipo derrumbes y deslizamientos (Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas, 2007). Estos peligros son resultado del proceso de modelamiento del terreno, coadyuvado por la presencia de anticlinales y sinclinales, lo cual inestabilizó las laderas rocosas y depósitos de eventos antiguos; así como, a la intervención antrópica (mano del hombre), que conllevó a la reactivación de diversos movimientos en masa, debido al riego en exceso de terrenos de cultivo de alfalfa. (Anexo 1: Mapa 3).

5.1. Análisis multitemporal del deslizamiento

Las viviendas del centro poblado de Nunupata se asientan sobre depósitos de deslizamientos antiguos (vertiente con depósitos de deslizamientos) provenientes de la ladera sureste, formando coronas de formas semicirculares – elongados, de 150 m de longitud y una distancia de 1.2 km entre la corona y pie del deslizamiento, en la cota 3339 m. El material compuesto por detritos y rocas se desplazó en dirección norte, depositándose parte del material en el río Huachecsa.

El Análisis multitemporal, a través de imágenes del Google Earth, desde el año 2005 a la actualidad, del deslizamiento antiguo de Nunupata, permitió tipificar y cuantificar los procesos por movimientos en masa reactivados en el cuerpo y pie del evento (figura 6 y cuadro 6).

En la imagen del año 2005, se observa la reactivación al pie del evento antiguo, inicio con un derrumbe, cubriendo un área de 15.89 Ha. Sin embargo, para el año 2011, el derrumbe incrementó en 1.66 ha, formando zonas de arranque continuas con una distancia de 120 m desde la zona de arranque al pie del derrumbe principal.

Un segundo evento o reactivación del deslizamiento principal, con una corona semicircular, se produjo los años 2013 y 2016, afectando 18.30 Ha y 24.17 Ha respectivamente. La escarpa del último evento se encuentra a 90 m aproximadamente de la vivienda más próxima de Nunupata. De acuerdo a sus características, es de tipo rotacional, con un ancho total de 140m, una distancia entre la corona y pie de 150 m.

El análisis realizado para el año 2019, muestra un incremento del afectada (27.79 Ha), distinguiendo 3 coronas de formas semicirculares, ubicadas a 80 m de la vivienda más próxima al evento, ello nos muestra que en dos años aproximadamente la corona del evento avanzó de forma retrogresiva, en 10 m.

En la actualidad, los procesos por movimientos en masa (deslizamientos, derrumbes, flujos y erosión de ladera) identificados, abarcan un área de 103.69 Ha, los cuales han afectado terrenos de cultivo.

Cuadro 6. Áreas de los procesos por movimientos en masa de Nunupata, entre el 2005 a la actualidad.

Peligros geológicos por movimientos en masa	Año	Área (Ha)
	2005	15.89
	2011	17.55
	2013	18.3
	2016	24.17
	2019	27.79
	2022	103.69

Análisis multitemporal del deslizamiento reactivado de Nunupata

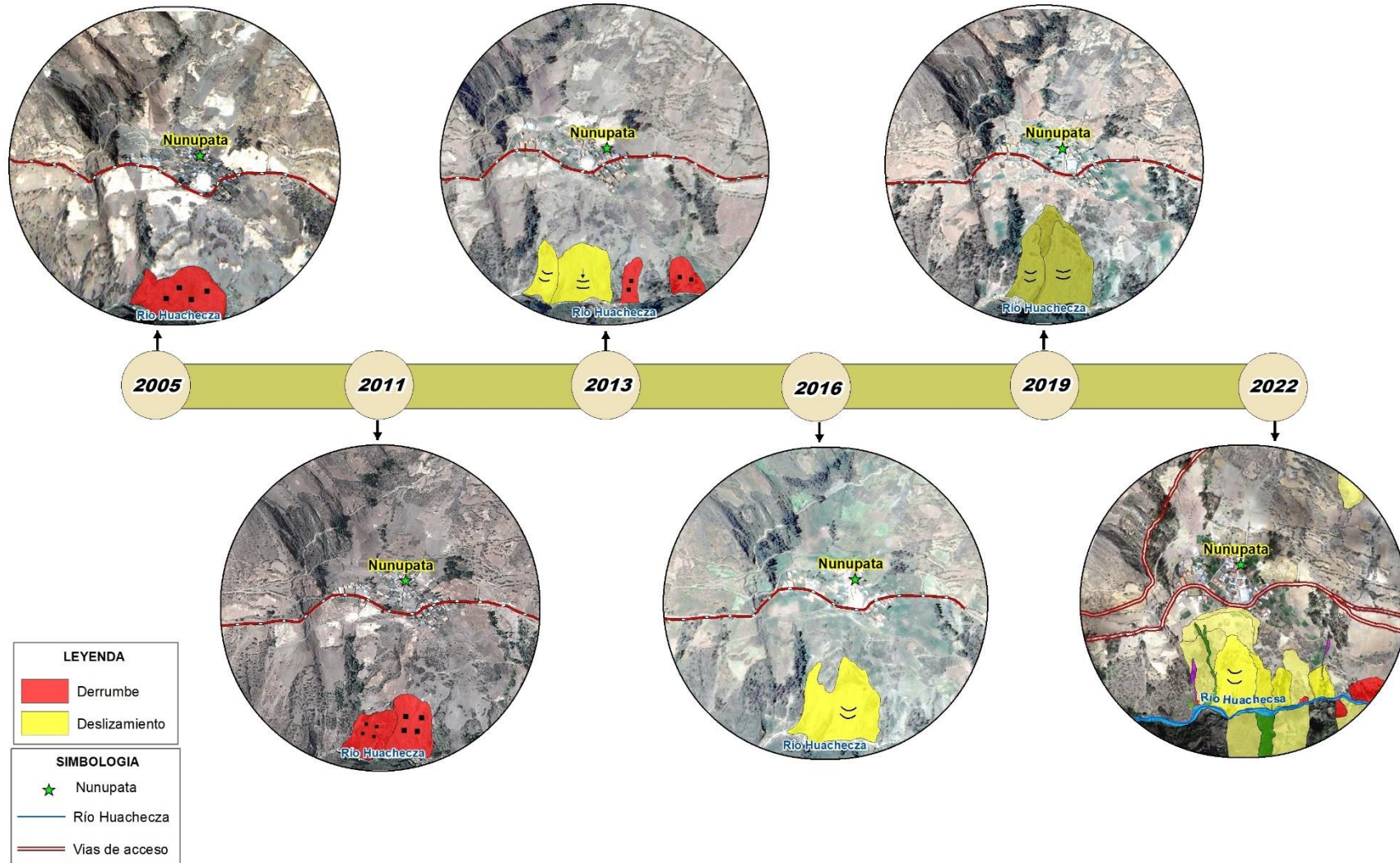


Figura 6. El Análisis multitemporal, a través de imágenes del Google Earth, desde el año 2005 a la actualidad, del deslizamiento antiguo de Nunupata.

5.2. Peligros geológicos por movimientos en masa

5.2.1. Deslizamiento de Nunupata

El deslizamiento de Nunupata (D-1), de tipo rotacional y reactivado, posee un área aproximada de 1.5 Ha y un sato principal de 5 m. Presenta una corona de forma semicircular - elongada de 145 m de longitud, un ancho promedio de 100 m en la zona media y una distancia entre la corona y pie del deslizamiento de 186 m (figura 7).

El evento continua activo y latente, muestra de ello son los múltiples agrietamientos longitudinales producidos en la zona posterior a la corona, con aperturas centimétricas (20 cm en promedio) en una longitud continua de 70 cm aproximadamente (figura 8).

El material detrítico se movilizó, en dirección al río Huachecsa, transportando bloques (5%), cantos (10%), grava y gravilla (30%), arenas (28%), limo (22%) y contenido de arcilla (5%), de compacidad medio denso y medianamente saturado (fotografía 5). La principal causa de la inestabilidad se atribuye a la infiltración de agua que genera el riego de los terrenos cultivo, disminuyeron la resistencia al corte del suelo; acelerando de esa manera la reactivación del deslizamiento y la inestabilidad de ladera.

La escapa del deslizamiento presenta una pendiente escarpada ($>45^\circ$), mientras que el cuerpo muestra una inclinación de 35° , lo que facilita que el material detrítico, poco consolidados se erosione y remueva fácilmente pendiente abajo por efecto de la gravedad, y ante la presencia de agua de escorrentía pluvial.

Al pie del deslizamiento, posiblemente tengamos la presencia de material más compacto (por su textura se infiere la presencia de afloramiento rocoso), lo cual estaría sirviendo como contención de la masa deslizada. Así mismo, funciona como barrera del curso natural del río Huachecsa, formando en esa zona una morfología del río serpenteante (figura 9).

Por otro lado, el deslizamiento D-2, representa el evento con mayor peligro ante la posible reactivación, puesto que, involucra mayor área y volumen de material deslizado (figura 10), con altas probabilidades de activarse. Evento que podría represar el cauce del río Huachecsa y cuyo desembalse podría afectar al Centro Arqueológico de Chavín de Huántar y a las viviendas de la localidad de Chavín de Huántar, localizados aproximadamente a 2.5 km aguas abajo del deslizamiento de Nunupata. En el año 1945, del flanco oriental de la Cordillera Blanca, en el nevado Huantsán, se produjeron avalanchas, que cayeron a las lagunas Ayhuinyaraju y Carhuacocha, generando la ruptura de la morrena en la primera y desborde en la segunda laguna; dando origen al aluvión que se desplazó a lo largo del río Huachecsa, para finalmente llegar a la desembocadura del río Mosna, para luego recorrer por el río Puchca hasta el río Marañón. El evento sepulto el centro arqueológico y parte de la ciudad de Chavín.

El D-2, se caracteriza por su corona semicircular, con un salto principal de 7.6 m, donde se evidencia surgencias de agua (figura 11), en contacto con el suelo forma zonas húmedas (coadyuvadas por él riego), incrementando la saturación del terreno (fotografía 6). Al límite con el flanco derecho del deslizamiento, las aguas de escorrentía, disectan el cuerpo del deslizamiento formando carcavamiento. Se deduce que la sugerencia se agua en la pared escarpada, proviene del riego de terreno de cultivo de alfalfa, ubicados en la zona posterior de la corona (fotografía 7).

La vivienda más próxima se encuentra a una distancia de 12 m (figura 12), mientras que la trocha carrozable que conduce a la localidad de Chavín de Huántar se encuentra aproximadamente a 18 m.



Figura 8. Vista de múltiples agrietamientos longitudinales producidos en la zona posterior a la corona, con aperturas de 20 cm en promedio, en una longitud continua de 70 cm.



Fotografía 5. Depósito del deslizamiento reactivado, compuesto de material detrítico (bloques, grava, arenas, limo y arcilla), el cual se movilizó, en dirección al río Huachecsa.



Figura 9. Vista de afloramiento rocoso al pie del evento, lo cual estaría sirviendo como contención de la masa deslizada. Así mismo, funciona como barrera del curso natural del río Huachecsa, formando en esa zona una morfología del río serpenteante

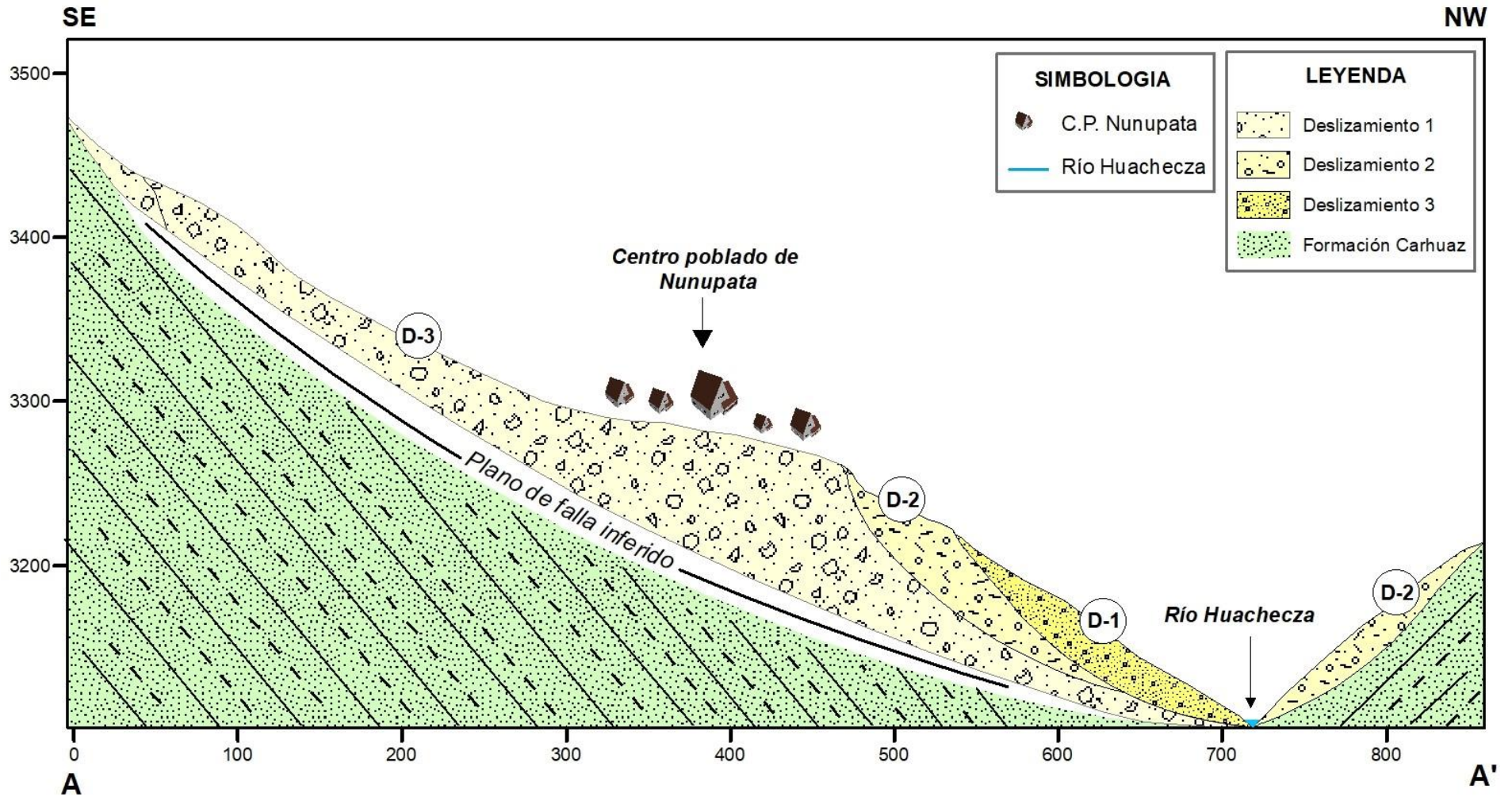


Figura 10. Perfil geológico de los deslizamientos suscitados en el centro poblado de Nunupata (D-1, D-2 Y D-3).



Figura 11. Surgencia de agua en la pared escarpada del deslizamiento D-2.



Fotografía 6. Vista de terreno húmedo debido a la infiltración de agua y por riego en exceso de los terrenos de alfalfa.



Fotografía 7. Terrenos de cultivo de alfalfa ubicados en la parte posterior de la escarpa.



Figura 12. La vivienda más próxima se encuentra a una distancia de 12 m de la corona del deslizamiento D-2.

Si bien es cierto en la zona posterior a la corona del deslizamiento D-2, no se evidenció agrietamientos, pero en la parte baja de la pared escarpada, se pudo observar agrietamientos longitudinales continuos, con apertura de 20 cm, y ligero desplazamiento en dirección norte, a lo largo de toda la zona escarpada (figura 13), lo cual nos muestra la reactivación y actividad del evento.

En el cuerpo del deslizamiento se tiene bloques de areniscas y calizas, de formas subangulosas a subredondeadas, con diámetros de hasta 1.7 m (fotografía 8). Así también se pudo observar árboles, con ligera inclinación en contra de la pendiente (figura 14), típico de movimientos en masa tipo rotacional.



Figura 13. Vista de agrietamientos longitudinales, con apertura de 20 cm y ligero desplazamiento en dirección norte, a lo largo de toda la zona escarpada.



Fotografía 8. Vista de un bloque con diámetro de hasta 2 m, dispuesto cerca de una vivienda.



Figura 14. Vista de árboles inclinados en contra de la pendiente.

Por otro lado, en el Sector B del Monumento Arqueológico Chavín, por el lado Norte, se ubica el muro perimetral de aproximadamente 500 m, en dirección este – oeste, muy próxima al corte o talud de 4 m de altura, donde recientemente se produjo un derrumbe de 3 m de ancho, producto de la reactivación de deslizamientos antiguos (figura 15).

En el corte de talud, se observa depósitos de flujos antiguos, conformado por bloques subangulosos a subredondeados, gravas, arenas y limos, material fácilmente erosionable y removible por agua de escorrentía (figura 16).

La pérdida de material (depósito de flujos antiguos) que conforman el talud, ha dejado expuesto los rellenos constructivos y parte de muros de piedra de origen prehispánico (figura 17). De incrementar en área y volumen, este evento afectaría directamente el muro perimetral de tapia, así como la evidencia arqueológica.

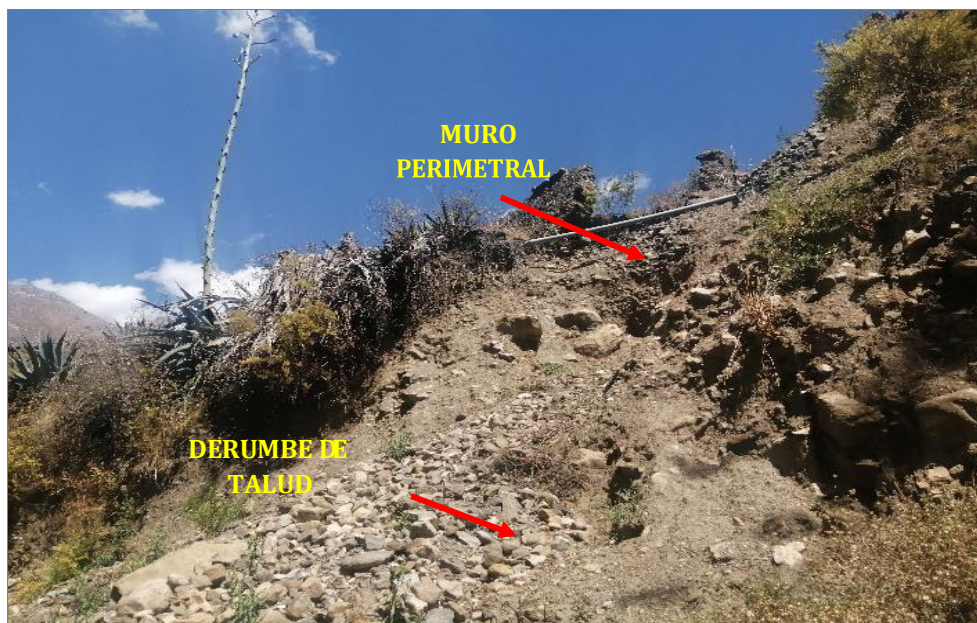


Figura 15. Vista del derrumbe, en la esquina noroeste del Muro Perimetral de tapia, afectado a consecuencia de las continuas precipitaciones. Fuente: Dirección Desconcentrada de Cultura Áncash.

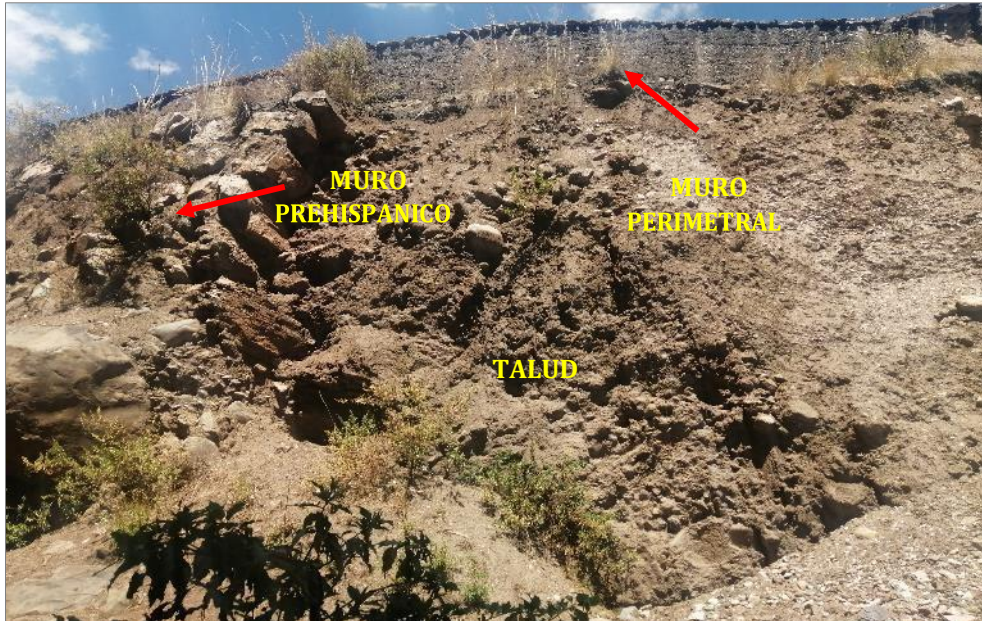


Figura 16. Vista de muro prehispánico y el muro perimetral en la parte superior. Fuente: Dirección Desconcentrada de Cultura Áncash.



Figura. 17. Vista panorámica donde se registró el muro de piedra y el relleno constructivo de origen prehispánico (fotografía este a oeste). Fuente: Dirección Desconcentrada de Cultura Áncash.

6. MECANISMOS ASOCIADOS A LA INESTABILIDAD DEL DESLIZAMIENTO

6.1. Factores condicionantes

Factor litológico-estructural

La unidad geológica donde se produjo inicialmente el deslizamiento antiguo de Nunupata, está controlado por la gran deformación tectónica – estructural, formando un sinclinal en las areniscas cuarzosas, intercaladas con lutitas y limoarcillitas, en dirección N-S; infiriendo la formación del deslizamiento en la zona de mayor estrés o deformación.

El substrato rocoso se encuentra de moderado (F3) a muy fracturados (F4) produciendo fragmentos de roca comprendidos entre diámetros de 0.10 m a 1.7 m, que por gravedad se desplazan cuesta abajo, formando depósitos coluviales.

Es importante mencionar que, las lutitas y limoarcillitas son rocas de baja calidad geomecánica competentes, que al meteorizarse originan suelos arcillosos con propiedades poco resistentes, varían con el grado de humedad y la rapidez con la que se aplican los esfuerzos, siendo en estos materiales donde posiblemente se produjo el plano de ruptura.

Por otro lado, el depósito donde se encuentran asentadas las viviendas de Nunupata, están compuestas por bloques (3%), cantos (7%), grava y gravilla (25%), arenas (25%), limo (20%) y contenido de arcilla (10%), medianamente consolidadas y medianamente saturadas, debido a la infiltración que genera el riego de los terrenos cultivo y las precipitaciones intensas y/o prolongadas. Estas disminuyen la resistencia al corte del suelo y acelerando la reactivación del deslizamiento. Son suelos poco resistentes, fácilmente removibles y erosionables ante la presencia de agua pluvial y riego en exceso.

Factor geomorfológico

El centro poblado de Nunupata, se asienta sobre el cuerpo de un deslizamiento antiguo, circunscrita a una topografía accidentada, definido por relieves modelados en rocas sedimentarias estructurales, con laderas de pendientes que varían entre 25° a 65°, consideradas de fuerte a muy fuerte o escarpadas; lo que contribuye que, el material suelto disponible en las laderas se erosione y se remueva fácilmente pendiente abajo, por efecto de la gravedad.

Las geoformas de vertiente de deslizamiento tienen pendientes moderadas (15°) a escarpadas (35°). Por su naturaleza son susceptible a presentar reactivaciones.

6.2. Actividad antrópica

Uno de los principales factores que aceleran la reactivación de los deslizamientos de Nunupata, es el uso de riego “tecnificado” de los terrenos de cultivo de alfalfa (riego por aspersión las 24 horas del día y una semana continua (mención de un poblador)), principalmente en el cuerpo de los deslizamientos D-2 y D-3, el cual está generando mayor saturación del terreno, originando la reactivación del evento. Cabe mencionar que, según AZUD (soluciones agricultura), las necesidades hídricas de esta plantación, el total del ciclo varía de 700 a 900 mm de agua.

7. CONCLUSIONES

1. El deslizamiento de Nunupata está compuesto por bloques (3%), cantos (7%), grava y gravilla (25%), arenas (25%), limo (30%) y arcilla (10%); medianamente consolidadas y medianamente saturadas, debido a la infiltración que genera el agua de riego de los terrenos cultivo. Son suelos poco resistentes, fácilmente removibles y erosionables ante la presencia de agua pluvial y riego en exceso.
2. El substrato rocoso está conformado por areniscas cuarzosas, intercaladas con lutitas y limo - arcillitas de la Formación Carhuaz. Esta unidad está controlada por la gran deformación tectónica – estructural, formando un sinclinal, que conlleva al intenso fracturamiento del macizo rocoso, produciendo bloques de roca con diámetros entre 0.10 m a 1.7 m, que por gravedad se desplazan cuesta abajo, formando depósitos coluviales.
3. En el contexto morfológico, Nunupata está circunscrita por una topografía accidentada, definido por relieves modelados en rocas sedimentarias estructurales, con laderas de pendientes que varían entre 25° a 65°, consideradas de fuerte a muy escarpadas, lo que contribuye que, el material suelto disponible en las laderas se erosione y se remueva fácilmente pendiente abajo, por efecto de la gravedad y escorrentía pluvial.
4. El análisis multitemporal, a través de imágenes del Google Earth disponible desde el año 2005 a la actualidad, del deslizamiento antiguo de Nunupata, permitió analizar el avance retrogresivo del evento: se inicia en forma de derrumbes, con un área aproximada de 15.89 Ha; a lo largo del tiempo va incrementando en área y volumen, obteniendo un área mayor en el año 2013, donde empezó a formar planos de falla de deslizamiento. En la actualidad el área afectada conforma un área aproximada de 103.69 Ha.
5. El deslizamiento D-1, posee un área aproximada de 1.5 Ha y un salto principal de 5 m. Presenta una corona de forma semicircular – elongada, con una longitud de 145 m, un ancho promedio de 100 m en la zona media y una distancia entre la corona y pie del deslizamiento de 186 m. El evento, continua activo, muestra de ello son los múltiples agrietamientos longitudinales producidos en la zona posterior a la corona, con aperturas centimétricas (20 cm en promedio) en una longitud continua de 70 cm aproximadamente.
6. El deslizamiento D-2, ubicado a 12 m de la vivienda más próxima de Nunupata, representa el evento con mayor peligro ante la posible reactivación, puesto que, involucra mayor área y volumen de material deslizado, con altas probabilidades de generar plano de falla, que obturarían por completo el cauce del río Huachecsa, cuyo desembalse podría afectar al Centro Arqueológico de Chavín de Huántar y la ciudad de Chavín localizadas a aproximadamente a 2.5 km aguas abajo del deslizamiento.
7. La práctica inadecuada de riego de terrenos de cultivo de alfalfa (riego por aspersión las 24 horas del día y una semana continua) en el cuerpo y áreas adyacentes del deslizamiento de Nunupata, es considerado como uno de los principales factores que aceleran la reactivación del mismo. Así como las precipitaciones intensas y/o prolongadas y sismos.

8. Debido a las condiciones geológicas, geomorfológicas y de geodinámica externa que presenta el centro poblado de Nunupata, se les considera como **Zona crítica** y de **Peligro Muy Alto**

8. RECOMENDACIONES

NO ESTRUCTURALES

1. Realizar un estudio detallado del deslizamiento de Nunupata, para de esta manera tener a la mano los datos que posibiliten la intervención ingenieril para la reducción del riesgo, el monitoreo continuo (alerta temprana) y los planes de contingencia necesarios.
2. Debido a la presencia de múltiples agrietamientos, es necesario tomar algunas medidas de emergencia, como la implementación del monitoreo del deslizamiento. Puede ser mediante imágenes satelitales, topográfico, u otros métodos a determinar.
3. Realizar estudios para reemplazar el cultivo de alfalfa en la zona, ya que esta al requerir mucha agua para su cultivo, tiende a producir la inestabilidad de los taludes (genera saturación de los terrenos). Este es considerado uno de los principales factores que está acelerando la reactivación del deslizamiento de Nunupata.
4. Es importante iniciar con la implementación de planes de forestación en las laderas que circunscriben, por el lado sur, al centro poblado de Nunupata, con plantaciones nativas, los cuales servirán para reducir o atenuar la y erosión del suelo. Así mismo coadyuvara en la reducción de infiltración de agua pluvial.
5. Restringir el vertimiento de aguas de uso doméstico, siendo necesario la construcción de sistemas adecuados de desagüe.
6. De continuar la actividad retrogresiva del evento, considerar reubicar a las viviendas asentadas en el cuerpo del deslizamiento del centro poblado de Nunupata. Previo a ello, realizar un EVAR, que contempla el análisis de vulnerabilidad y el riesgo del área de estudio. Así mismo, tomar en consideración el mismo estudio para el Sector B del Monumento Arqueológico Chavín.
7. A las autoridades locales se recomienda, realizar trabajos de sensibilización con los pobladores de la zona en temas de peligros geológicos y gestión del riesgo de desastres, con el fin de que, la intervención antrópica no acelere los procesos activación y/o reactivación de movimientos en masa. Así mismo, para que estén preparados y sepan cómo actuar ante la ocurrencia de nuevos eventos.

ESTRUCTURALES

1. El estudio de detalle permitirá determinar el tipo de medidas estructurales a realizar, entre ellos la construcción de zanjas de coronación impermeabilizados por encima de la corona del deslizamiento D-2 de Nunupata, con el propósito de captar las aguas de escorrentía que se formen en la ladera superior de los deslizamientos, derivándolas hacia quebradas próximas por medio de canales revestidos. Así mismo, implementar sistemas subdrenaje, tipo espina de pez en la ladera sur que circunda el centro poblado el cual reducirá las presiones intersticiales, como los indicados en el Anexo 2. Estas medidas deben ser diseñadas por un especialista.

9. BIBLIOGRAFÍA

Cobbing, & Sanchez, A. (1996) - En la "Memoria descriptiva del cuadrángulo de Recuay (20-i).

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.

Fidel, B & Valenzuela, G. (1998) – Movimientos en masa en la cuenca del río Huachecsa. Primer reporte. Lima: INGEMMET, 42 p.

González, L.; Ferrer, M.; Ortuño, L. & Oteo, C., eds. (2002) - Ingeniería Geológica. Madrid: Pearson Educación, 732 p.

Köppen, W. (2010). Klassifikation der Klimate nach Temperatur, Niederschlag und Jahresablauf (Clasificación de climas según temperatura, precipitación y ciclo estacional). Petermanns Geogr. Mitt., 64, 193-203, 243-248.

Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas (2007) - Movimientos en masa en la región andina: una guía para la evaluación de amenazas. Santiago: Servicio Nacional de Geología y Minería, 432 p., Publicación Geológica Multinacional, 4.

Suárez, J. (1998) - Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales. Bucaramanga: Instituto de Investigaciones sobre Erosión y Deslizamientos, Universidad Industrial de Santander, 548 p.

Zavala, B. (2011) - Boletín N° 44, serie C, "Riesgos geológicos en la región Ancash.

Zavala, B. (2007) - Zonas críticas por peligro geológico y geohidrológico en la región Ancash".

Ing. Guisela Choquenaira Garate

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

ANEXO 1: MAPAS



SIMBOLOGIA

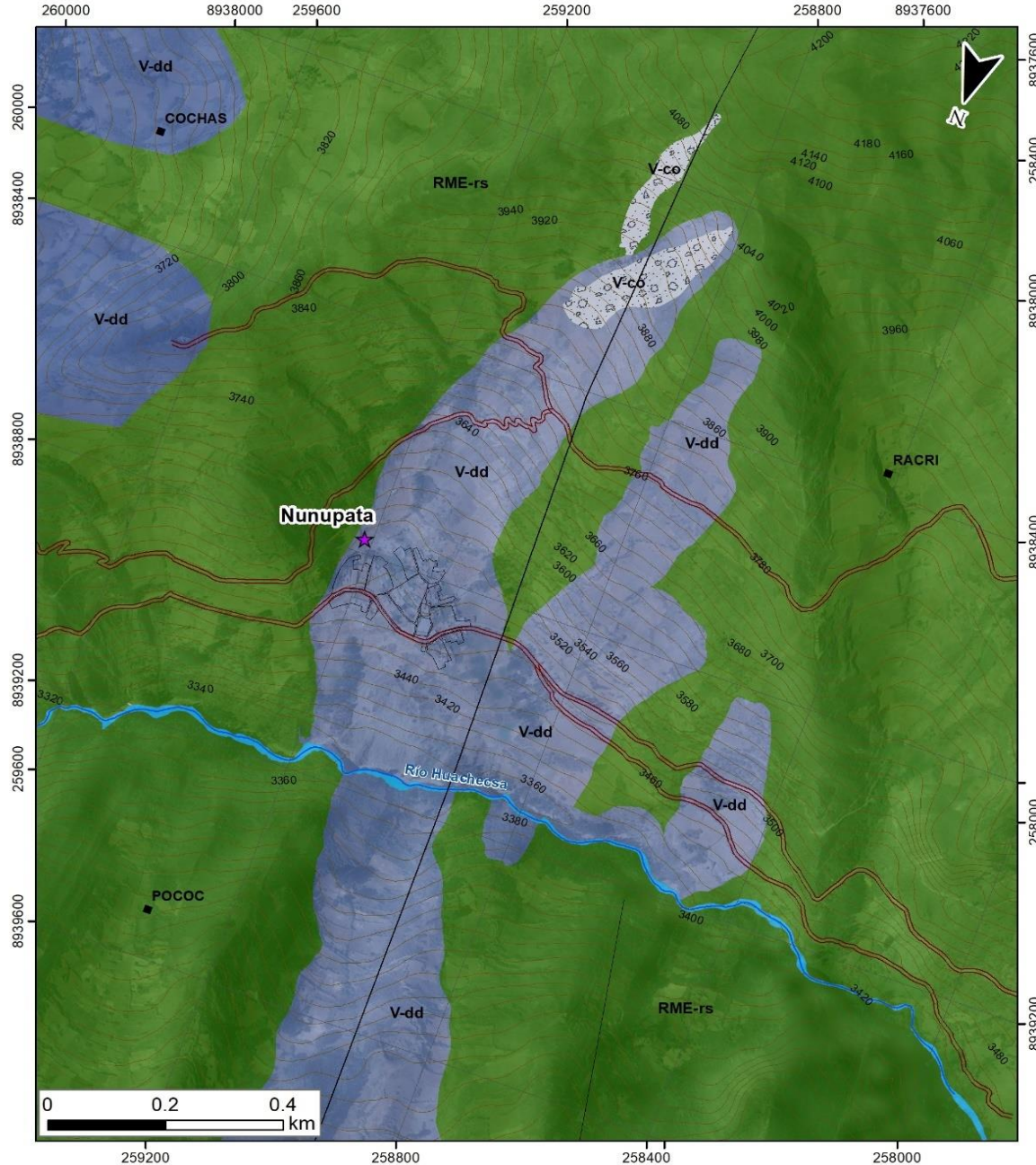
- ★ Sector Nunupata
- Rumbo y buzamiento de estratos
- Eje de sinclinal
- Río Huachecsa
- Vías de acceso
- Curvas de nivel
- Catastro urbano

ERATEMA	SISTEMA	SERIE	EDAD (Ma)	UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS
CENOZOICO	CUATERNARIO	HOLOCENO	0.01	Dep. Coluvial Qh-ca Bloques, gravas, arenas y limos, de forma angulosas
				Dep. Coluvio -deluvial Qh-cd Bloques, gravas, en matriz arena limosa
		PLEISTOCENO	0.01	Dep. Proluvial Qh-pr Bloques, cantos, gravas, en matriz arena limosa
MESOZOICO	CRETÁCICO	SUPERIOR	00.5	
		INFERIOR		Grupo Goyllarisquizga Fm. Carhuaz Ki-ca Areniscas intercaladas con lutitas y limolitas Fm. Santa Ki-s Calizas gris oscuras, intercaladas con lutitas Fm. Chimú Ki-chi Areniscas cuarzosas blancas masivas

SECTOR ENERGÍA Y MINAS
INGEMMET
 INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO

ACT. 11: EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS A NIVEL NACIONAL

MAPA GEOLÓGICO	MAPA
Escala 1:7 000 Datum UTM WGS 84 Zona 18s Versión digital: año 2022 Impreso: Agosto 20212	1



SIMBOLOGIA

- ★ Sector Nunupata
- Rumbo y buzamiento de estratos
- Eje de sinclinal
- Río Huachecsa
- Vías de acceso
- Curvas de nivel
- Catastro urbano

LEYENDA

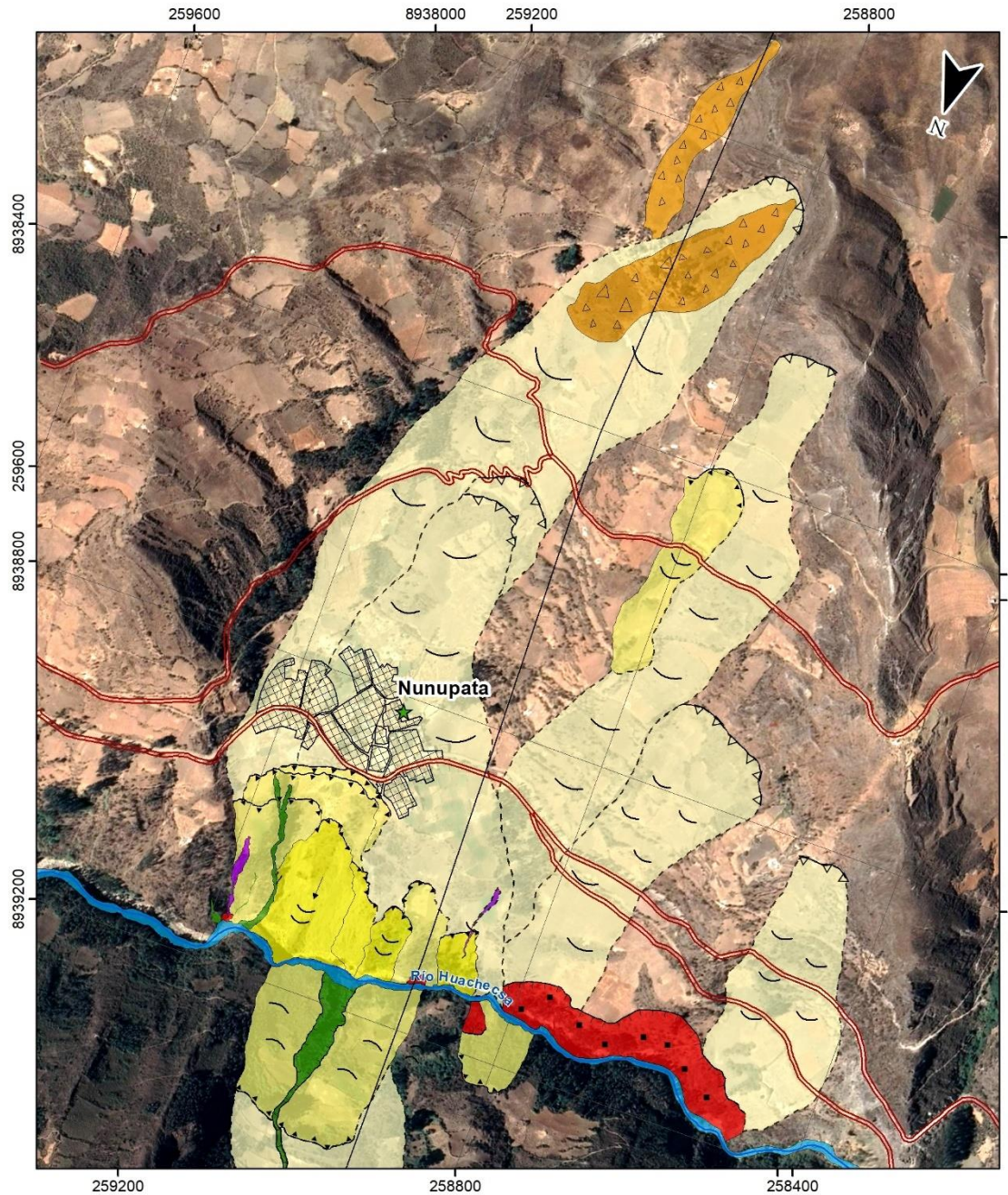
Unidades geomorfológicas

- P-at** Piedemonte aluvio proluvial
- V-co** Vertiente coluvial
- V-dd** Vertiente con depósito de deslizamiento
- RME-rs** Montaña estructural en roca s edimentaria

SECTOR ENERGÍA Y MINAS
INGEMMET
 INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO

ACT. 11: EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS A NIVEL NACIONAL

MAPA GEOMORFOLÓGICO	MAPA
Escala 1:7 000 Datum UTM WGS 84 Zona 18s Versión digital: año 2022 Impreso: Agosto 20212	2

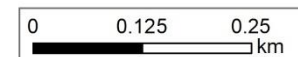


SIMBOLOGIA

- ★ Sector Nunupata
- + Eje de sinclinal
- Río Huachecsa
- Vías de acceso
- ▨ Catastro urbano

LEYENDA
Peligros geológicos y otros peligros

- Erosión de ladera
- Derrumbes activos
- Deslizamiento reciente
- Deslizamiento activo
- Deslizamientos antiguos
- Flujos antiguos
- Avalancha de rocas y detritos



SECTOR ENERGÍA Y MINAS
INGEMMET
 INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO

ACT. 11: EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS A NIVEL NACIONAL

MAPA DE PELIGROS GEOLÓGICOS	MAPA
Escala 1:6 500 Datum UTM WGS 84 Zona 18s Versión digital: año 2022 Impreso: Agosto 20212	3

ANEXO 2: DESCRIPCIÓN DE LOS DEPÓSITOS

DESCRIPCIÓN DE FORMACIONES SUPERFICIALES

TIPO DE FORMACIÓN SUPERFICIAL		<input type="checkbox"/> Eluvial	<input type="checkbox"/> Lacustre
		<input checked="" type="checkbox"/> Deluvial	<input type="checkbox"/> Marino
		<input checked="" type="checkbox"/> Coluvial	<input type="checkbox"/> Eólico
		<input type="checkbox"/> Aluvial	<input type="checkbox"/> Orgánico
		<input type="checkbox"/> Fluvial	<input type="checkbox"/> Artificial
		<input type="checkbox"/> Proluvial	<input type="checkbox"/> Litoral
		<input type="checkbox"/> Glaciar	<input type="checkbox"/> Fluvio glaciar

GRANULOMETRÍA	FORMA	REDONDES	PLASTICIDAD
%			
<input type="checkbox"/> 3 Bolos	<input type="checkbox"/> Esférica	<input type="checkbox"/> Redondeado	<input type="checkbox"/> Alta plasticidad
<input type="checkbox"/> 7 Cantos	<input checked="" type="checkbox"/> Discoidal	<input checked="" type="checkbox"/> Subredondeado	<input type="checkbox"/> Med. Plástico
<input type="checkbox"/> 15 Gravas	<input type="checkbox"/> Laminar	<input type="checkbox"/> Anguloso	<input checked="" type="checkbox"/> Baja Plasticidad
<input type="checkbox"/> 10 Gránulos	<input type="checkbox"/> Cilíndrica	<input checked="" type="checkbox"/> Subanguloso	<input type="checkbox"/> No plástico
<input type="checkbox"/> 25 Arenas			
<input type="checkbox"/> 30 Limos			
<input type="checkbox"/> 10 Arcillas			

ESTRUCTURA	TEXTURA	CONTENIDO DE	%	LITOLOGÍA
<input checked="" type="checkbox"/> Masiva	<input type="checkbox"/> Harinoso	<input type="checkbox"/> Materia Orgánica	<input type="checkbox"/> Intrusivos	
<input type="checkbox"/> Estractificada	<input checked="" type="checkbox"/> Arenoso	<input type="checkbox"/> Carbonatos	<input type="checkbox"/> Volcánicos	
<input type="checkbox"/> Lenticular	<input type="checkbox"/> Aspero	<input type="checkbox"/> Sulfatos	<input type="checkbox"/> Matamórficos	
			<input checked="" type="checkbox"/> Sedimentarios	

COMPACIDAD			
SUELOS FINOS	SUELOS GRUESOS		
Limos y Arcillas	Arenas	Gravas	
<input type="checkbox"/> Blanda	<input type="checkbox"/> Suelta	<input type="checkbox"/> Suelta	
<input type="checkbox"/> Compacta	<input checked="" type="checkbox"/> Densa	<input checked="" type="checkbox"/> Med. Consolidada	
<input type="checkbox"/> Dura	<input type="checkbox"/> Muy Densa	<input type="checkbox"/> Consolidada	
		<input type="checkbox"/> Muy Consolidada	

CLASIFICACIÓN TENTATIVA S.U.C.S.			
SUELOS GRUESOS		SUELOS FINOS	
<input type="checkbox"/> GW	<input type="checkbox"/> GC	<input type="checkbox"/> ML	<input type="checkbox"/> CH
<input type="checkbox"/> GP	<input type="checkbox"/> SW	<input type="checkbox"/> CL	<input type="checkbox"/> OH
<input type="checkbox"/> GM	<input checked="" type="checkbox"/> SP	<input type="checkbox"/> OL	<input type="checkbox"/> PT
<input type="checkbox"/> SM	<input type="checkbox"/> SC	<input type="checkbox"/> MH	

Coordenadas UTM (WGS 84): 259130, 8938929

DESCRIPCIÓN DE FORMACIONES SUPERFICIALES

TIPO DE FORMACIÓN SUPERFICIAL	<input type="checkbox"/> Eluvial	<input type="checkbox"/> Lacustre
	<input checked="" type="checkbox"/> Deluvial	<input type="checkbox"/> Marino
	<input checked="" type="checkbox"/> Coluvial	<input type="checkbox"/> Eólico
	<input type="checkbox"/> Aluvial	<input type="checkbox"/> Orgánico
	<input type="checkbox"/> Fluvial	<input type="checkbox"/> Artificial
	<input type="checkbox"/> Proluvial	<input type="checkbox"/> Litoral
	<input type="checkbox"/> Glaciar	<input type="checkbox"/> Fluvio glaciar

GRANULOMETRÍA	FORMA	REDONDES	PLASTICIDAD
%			
<input type="checkbox"/> 5 Bolos	<input type="checkbox"/> Esférica	<input type="checkbox"/> Redondeado	<input type="checkbox"/> Alta plasticidad
<input type="checkbox"/> 10 Cantos	<input checked="" type="checkbox"/> Discoidal	<input checked="" type="checkbox"/> Subredondeado	<input type="checkbox"/> Med. Plástico
<input type="checkbox"/> 15 Gravas	<input type="checkbox"/> Laminar	<input type="checkbox"/> Anguloso	<input checked="" type="checkbox"/> Baja Plasticidad
<input type="checkbox"/> 15 Gránulos	<input type="checkbox"/> Cilíndrica	<input checked="" type="checkbox"/> Subanguloso	<input type="checkbox"/> No plástico
<input type="checkbox"/> 28 Arenas			
<input type="checkbox"/> 22 Limos			
<input type="checkbox"/> 5 Arcillas			

ESTRUCTURA	TEXTURA	CONTENIDO DE	%	LITOLOGÍA
<input checked="" type="checkbox"/> Masiva	<input type="checkbox"/> Harinoso	<input type="checkbox"/> Materia Orgánica	<input type="checkbox"/> Intrusivos	
<input type="checkbox"/> Estractificada	<input checked="" type="checkbox"/> Arenoso	<input type="checkbox"/> Carbonatos	<input type="checkbox"/> Volcánicos	
<input type="checkbox"/> Lenticular	<input type="checkbox"/> Aspero	<input type="checkbox"/> Sulfatos	<input type="checkbox"/> Matamórficos	
			<input checked="" type="checkbox"/> Sedimentarios	

COMPACIDAD		
SUELOS FINOS	SUELOS GRUESOS	
Limos y Arcillas	Arenas	Gravas
<input type="checkbox"/> Blanda	<input type="checkbox"/> Suelta	<input type="checkbox"/> Suelta
<input type="checkbox"/> Compacta	<input checked="" type="checkbox"/> Densa	<input checked="" type="checkbox"/> Med. Consolidada
<input type="checkbox"/> Dura	<input type="checkbox"/> Muy Densa	<input type="checkbox"/> Consolidada
		<input type="checkbox"/> Muy Consolidada

CLASIFICACIÓN TENTATIVA S.U.C.S.			
SUELOS GRUESOS		SUELOS FINOS	
<input type="checkbox"/> GW	<input type="checkbox"/> GC	<input type="checkbox"/> ML	<input type="checkbox"/> CH
<input type="checkbox"/> GP	<input type="checkbox"/> SW	<input type="checkbox"/> CL	<input type="checkbox"/> OH
<input type="checkbox"/> GM	<input checked="" type="checkbox"/> SP	<input type="checkbox"/> OL	<input type="checkbox"/> PT
<input type="checkbox"/> SM	<input type="checkbox"/> SC	<input type="checkbox"/> MH	

Coordenadas UTM (WGS 84): 259083; 8938989

ANEXO 2: MEDIDAS DE PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN

A. CORRECCIÓN POR DRENAJE

Unas de las técnicas más efectivas para la estabilización de laderas y taludes es el control de las aguas superficiales y subterráneas (cuadro 7). Su objetivo es controlar el agua y sus efectos, disminuyendo las fuerzas que producen el movimiento y/o aumentando las fuerzas resistentes. El drenaje y el subdrenaje generalmente son poco costosos y muy efectivos como medidas de prevención de los movimientos.

Cuadro 7. Métodos de drenaje y subdrenaje

Método	Ventajas	Desventajas
Canales superficiales para el control de escorrentía	Se recomienda construirlos como obra complementaria en la mayoría de los casos. Generalmente, las zanjas se construyen arriba de la corona del talud	Se deben construir estructuras para la entrega de las aguas y la disipación de energía.
Subdrenes de zanja	Muy efectivos para estabilizar deslizamientos poco profundos, en suelos saturados sub superficialmente.	Poco efectivos para estabilizar los deslizamientos profundos o los deslizamientos con nivel freático profundo
Subdrenes horizontales de penetración	Muy efectivos para interceptar y controlar las aguas subterráneas relativamente profundas.	Se requieren equipos especiales de perforación y su costo puede ser alto.
Galerías o túneles de subdrenaje	Efectivos para estabilizar los deslizamientos profundos en las formaciones con permeabilidad significativa y aguas subterráneas.	Muy costosos y complejos de construir
Pozos profundos de subdrenaje	Útiles en los deslizamientos profundos con aguas subterráneas. Efectivos para las excavaciones no permanentes.	Su uso es limitado debido a la necesidad de operación y mantenimiento permanente.

Fuente: Suárez, 1996.

Los sistemas más comunes para el control del agua son: •

- Zanjas de coronación o canales colectores drenaje superficial).
- Subdrenes de zanja o subdrenes interceptores. •
- Subdrenes horizontales o de penetración

Drenaje superficial: El objetivo principal del drenaje superficial es mejorar la estabilidad del talud reduciendo la infiltración y evitando la erosión. El sistema de recolección de aguas superficiales debe captar la escorrentía, tanto del talud como de la cuenca de drenaje arriba del talud y llevar el agua a un sitio seguro, lejos del talud que se va a proteger.

Tipos de obra de drenaje superficial

- a. **Canales para redireccionar el agua de escorrentía:** Se debe impedir que el agua de escorrentía se dirija hacia la zona inestable.
- b. **Zanjas de corona.** Las zanjas en la corona o en la parte alta de un talud, son utilizadas para interceptar y conducir adecuadamente las aguas lluvias y evitar su paso por el talud. La zanja de la corona no debe construirse muy cerca del borde superior del talud para evitar que se convierta en activadora de un deslizamiento en cortes recientes; o en una nueva superficie de falla (movimiento regresivo) en deslizamientos activos; o se produzca la falla de la corona del talud o escarpe.
- c. **Diques en la corona del talud.** Son diques en relleno, colocados arriba de la corona, con el objeto de desviar hacia los lados las aguas de escorrentía.
- d. **Drenes Franceses.** Son zanjas rellenas de material granular grueso que tienen por objetivo captar y conducir las aguas de escorrentía.
- e. **Trinchos o Cortacorrientes.** Consisten en diques a través del talud para desviar lateralmente, las aguas de escorrentía.
- f. **Torrenteras.** Son estructuras que recogen las aguas de los canales, diques o cortacorrientes y las conducen hacia abajo del talud. Generalmente, incluyen elementos para disipar la energía del flujo del agua.
- g. **Sellado de grietas con arcilla o mortero.** El objeto es impedir la infiltración de agua hacia el deslizamiento.
- h. **Canales colectores en Espina de Pescado.** Para disminuir la infiltración de agua en las áreas grandes arriba del talud, se construyen canales colectores en Espina de Pescado, los cuales conducen las aguas colectadas fuera de las áreas vulnerables del talud, entregándolas generalmente a los canales en gradería o torrenteras. Estos canales deben impermeabilizarse adecuadamente para evitar la nuevamente la infiltración del agua

No se recomienda en problemas de taludes, la utilización de conducciones en tubería por la alta susceptibilidad a agrietarse o a taponarse, con lo cual se generan problemas de infiltración masiva concentrada.

Subdrenaje: Las técnicas de drenaje subterráneo o subdrenaje son uno de los métodos más efectivos para la estabilización de los deslizamientos. El drenaje subterráneo tiene por objeto disminuir las presiones de poros o impedir que éstas aumenten (figuras 18 y 19). A menor presión de poros la resistencia del suelo es mayor. El diseño de los sistemas de subdrenaje es complejo debido a que la mayoría de los taludes no son homogéneos desde el punto de vista del drenaje subterráneo y es muy difícil aplicar principios sencillos en el diseño de obras de subdrenaje. El movimiento de las aguas en los taludes por lo general, es irregular y complejo.

Elementos para tener en cuenta en el análisis de los sistemas de subdrenaje:

- Falta de continuidad de los mantos o sectores permeables.
- Cantidad de agua recolectada.
- Poco efecto del subdrenaje en el factor de seguridad.
- Poco efecto del subdrenaje cuando el nivel freático se encuentra muy cercano a la superficie de falla.
- Asentamientos en las áreas circunvecinas como efecto del subdrenaje.
- La rata de flujo para el diseño del sistema debe calcularse teniendo en cuenta la permeabilidad del suelo o la roca que se va a drenar.

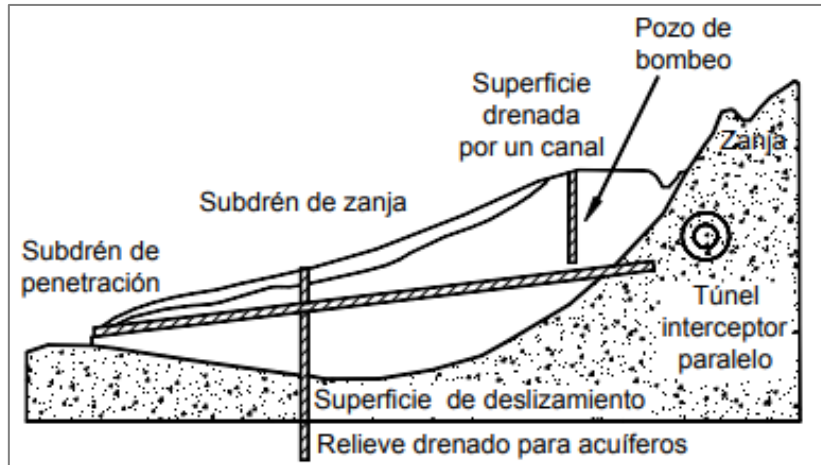


Figura 18. Sistemas de subdrenaje (Suárez, 1998).

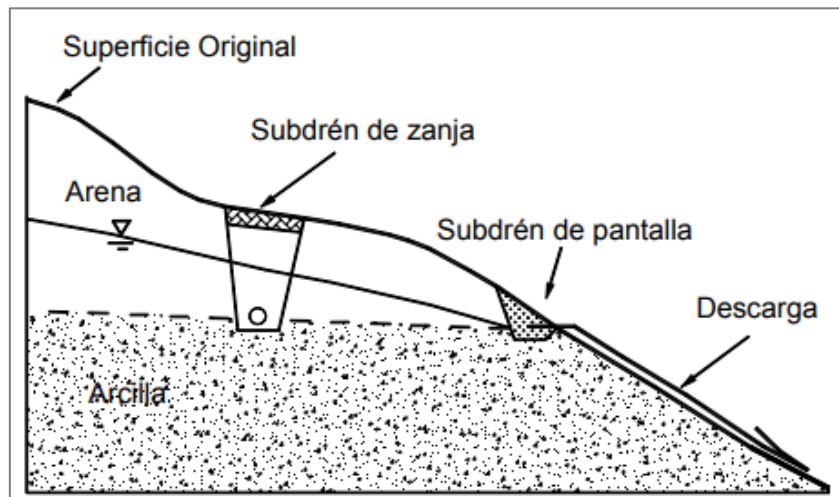


Figura 19. Esquema de un subdrenaje interceptor y un dren en el afloramiento (Suárez, 1998).