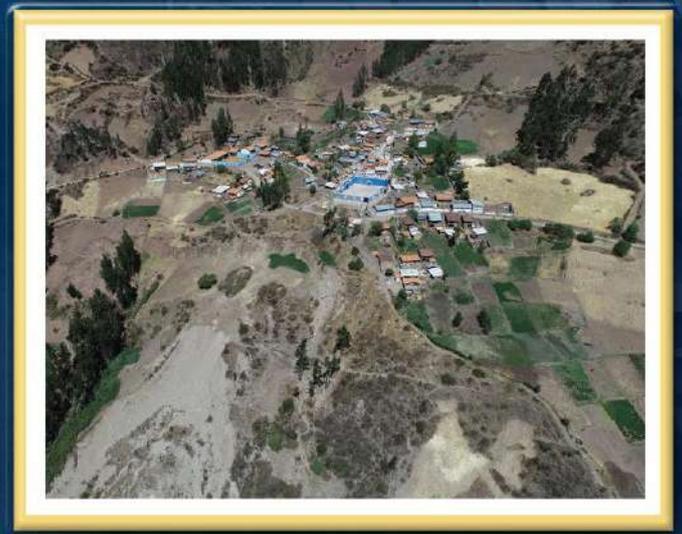


DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO

Informe Técnico N° A7423

EVALUACIÓN INGENIERO GEOLÓGICA EN EL CENTRO POBLADO DE NUNUPATA

**Departamento Áncash
Provincia Huari
Distrito Chavín de Huántar**



**SETIEMBRE
2023**

EVALUACIÓN INGENIERO GEOLÓGICA EN EL CENTRO POBLADO NUNUPATA

Distrito Chavín de Huántar, provincia Huari, departamento Áncash

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

Equipo de investigación:

Grupo de geología-geotecnia

Guisela Choquenaira Garate
Mauricio Núñez Peredo
Richard Huayta Pacco
Segundo Núñez Juarez
Gonzalo Luna Guillen
Ely Ccorimanya Chalco

Grupo de hidrogeología-geofísica

Josemanuel Carpio Romero
Baclimer Quispe Yanapa
Fredy Estrada Pérez

Revisor:

Lionel Fidel Smoll

Referencia bibliográfica

Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico (2023). *Evaluación ingeniero geológico en el centro poblado Nunupata. Distrito Chavín de Huántar, provincia Huari, departamento Áncash*. Lima: Ingemmet, Informe Técnico A7423, 106 p.

ÍNDICE

RESUMEN	1
1. INTRODUCCIÓN	2
1.1. Objetivos del estudio	2
1.2. Alcances	2
1.2.1. Investigaciones básicas	2
1.3. Antecedentes y trabajos anteriores	3
1.4. Aspectos generales	4
1.4.1. Ubicación	4
1.4.2. Accesibilidad	4
1.4.3. Población	4
1.4.4. Clima	4
2. DEFINICIONES	7
3. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS	9
3.1. Geoformas de carácter tectónico degradacional y erosional	9
3.2. Geoformas de carácter tectónico depositacional y agradacional	9
3.3. Índice Topográfico de Humedad (TWI)	10
4. ASPECTOS GEOLÓGICOS	11
4.1. Sustrato rocoso	12
4.2. Depósitos superficiales	15
3.1.1. Depósito coluvio – deluvial	15
3.1.2. Depósito coluvial	15
5. PELIGROS GEOLÓGICOS	17
5.1. Movimientos en masa antiguo	17
5.1.1. Deslizamiento activo de Nunupata	17
5.2. Factores condicionantes	20
5.3. Factores desencadenantes	21
6. ASPECTOS HIDROGEOLÓGICOS	22
6.1. Evidencias de fuentes de agua (subterráneas y superficiales)	23
6.1.1. Manantiales	26
6.1.2. Puntos de control	27
6.2. Parámetros hidráulicos (ensayos de permeabilidad)	28
6.2.1. Ensayos de infiltración	28
6.3. Caracterización Hidrogeológica	33
6.3.1. Unidades hidrogeológicas	35
6.3.2. Mapa hidrogeológico	40
6.3.3. Modelo hidrogeológico conceptual	40
6.4. Hidroquímica	43
6.4.1. Metodología	43
6.4.2. Parámetros Físicoquímicas	43
6.4.3. Clasificación de las aguas subterráneas	45
7. INVESTIGACIONES GEOFÍSICAS	50
7.1. Prospección geofísica	50

7.1.1.	Métodos geofísicos.....	50
7.2.	Adquisición de datos.....	50
7.2.1.	Procesamiento de datos.....	52
7.3.	Resultados e interpretación	53
7.3.1.	Tomografía eléctrica.....	53
7.3.2.	Refracción Sísmica.....	57
8.	EVALUACIÓN DE LAS CONDICIONES DE ESTABILIDAD.....	58
8.1.	Identificación de los modos de falla.....	58
8.2.	Condiciones de análisis	59
8.3.	Análisis de estabilidad.....	59
8.4.	Evaluación de los factores de influencia	72
8.5.	Evaluación de resultados	74
9.	MODELAMIENTO DE FLUJO DE DETRITOS CON RAMMS: DEBRIS FLOW	75
9.1.	Introducción	75
9.2.	Metodología	75
9.3.	Resultados.....	77
10.	CONCLUSIONES.....	80
11.	RECOMENDACIONES.....	82
12.	BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA	85
	ANEXO 1: MAPAS	86
	ANEXO 2: INVESTIGACIONES GEOMECÁNICAS BÁSICAS.....	92
	ANEXO 3: RESULTADOS DE LABORATORIO.....	95

RESUMEN

El presente informe es el resultado de la evaluación ingeniero geológica realizado 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.

En el contexto litológico, el centro poblado de Nunupata se encuentra asentado sobre depósitos coluvio deluviales (antiguos deslizamientos), de estructura masiva, heterogeneidad en su composición, medianamente consolidados, porosos, y de baja plasticidad. Además, se presentan medianamente saturadas debido a la infiltración de aguas que provienen del riego de los terrenos de cultivo de alfalfa y las filtraciones ubicadas en las cabeceras del poblado, por lo que, se le considera como suelos inestables, susceptibles a la ocurrencia de derrumbes y deslizamientos.

Estos depósitos cubren secuencias sedimentarias, dispuestas en dirección suroeste, de areniscas intercaladas con limolitas y lutitas abirragadas, se presentan de mediana a muy fracturadas formando tres familias de discontinuidades y moderadamente meteorizadas en las caras expuestas. De acuerdo a sus características ingeniero geológicas, estos afloramientos presenta mediana resistencia, en conjunto se considera como rocas de mala a regular calidad.

Al pie del centro poblado de Nunupata se presentan deslizamientos y derrumbes activos que abarcan un área ~ 20 ha y con un volumen movilizado de ~812 000 m³ en el primer evento. La reactivación de este deslizamiento podría represar el cauce del río Huachecsa con volúmenes de materiales que dependerán del grado de saturación del suelo. El desembalse violento de este, podría ocasionar un flujo de detritos (aluvión o huaico) que afectaría 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. Se considera que, 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. Por las razones expuestas el poblado de Nunupata presenta peligro alto a movimientos en masa y el deslizamiento de Nunupata, se considera de muy alto peligro; por su vulnerabilidad, en conjunto, se le considera como zona crítica.

Los modelos y simulaciones realizadas, muestran las zonas que posiblemente serian afectadas por el evento. El flujo ingresaría al pueblo de Chavín de Huántar, afectando principalmente la calle 17 de enero y las viviendas próximas al cauce del río Huachecsa. Así mismo, parte del flujo ingresaría a la zona más baja del centro arqueológico de Chavín de Huántar, hasta la confluencia con el río Mosna; en su recorrido aguas abajo, teniendo en cuenta la inestabilidad de ambas márgenes del río Mosna, podría generar deslizamientos y derrumbes. El área total de afectación sería de aproximadamente 24 ha.

Se recomienda realizar el monitoreo permanente y en tiempo real del deslizamiento, para de esta manera implementar un Sistema de Alerta Temprana (SAT); así como medidas estructurales como drenajes por encima de la corona del deslizamiento y en la ladera superior de Nunupata, construir muros o diques en las áreas cercanas al centro arqueológico y a las calles para evitar que el flujo de detritos llegue a estas zonas. Así mismo, cambiar las técnicas de riego de los cultivos de alfalfa o en todo caso cambiar el tipo de cultivo, por alguno que no necesite mucha agua.

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.

Dentro del convenio de Cooperación Interinstitucional entre **La Compañía Minera Antamina S.A.** e **INGEMMET**, con la finalidad de fortalecer la cultura de prevención, así como la cooperación técnica y proyectos de investigación o asesoría especializada compatible con las funciones y competencias de ambas partes, se realizó la evaluación ingeniero geológico en el centro poblado de Nunupata, del 10 al 21 de marzo del presente año.

El trabajo involucra el análisis ingeniero geológico y geotécnico, con miras a las recomendaciones de intervención en los problemas de estabilización del deslizamiento de Nunupata que compromete la seguridad física de las viviendas asentadas en dicho centro poblado.

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

Realizar la evaluación ingeniero geológica en el centro poblado de Nunupata, incluyendo la identificación de rasgos estructurales y mecanismos de movimiento del sitio; así como la caracterización geomecánica de los depósitos cuaternarios comprometidos en el deslizamiento.

Analizar el comportamiento hidrogeológico de la zona a fin de recomendar y/o afianzar las medidas adecuadas para su estabilización.

1.2. Alcances

El estudio permitirá conocer las características geomecánicas del macizo rocoso y depósitos cuaternarios, con miras a presentar las recomendaciones de intervención para su estabilización.

1.2.1. Investigaciones básicas

- Caracterización litológica y estructural de la masa rocosa y depósitos cuaternarios involucrados, en base a un mapeo detallado.
- Evaluación de las propiedades físico - mecánicas de la roca y suelo, mediante ensayos in-situ, toma de muestras para los respectivos análisis de laboratorio y técnicas alternativas disponibles.
- Determinar la calidad del suelo involucrado en el talud del área de estudio.
- Evaluación de los factores detonantes que influyen sobre la estabilidad (precipitaciones pluviales, sismos, actividad antrópica, entre otros)
- Reconocimiento hidrogeológico con el fin de evaluar el comportamiento de las aguas subterráneas en el área evaluada.

- Realizar líneas de tomografía eléctrica.
- Realizar levantamiento de columnas y estaciones geomecánicas.
- Realizar cartografiado hidrogeológico.
- Realizar el inventario de fuentes de agua superficial y subterránea
- Realizar ensayos de infiltración.

1.3. Antecedentes y trabajos anteriores

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

- A. Informe técnico N° A7312 “Evaluación de peligros geológicos por deslizamiento en el centro poblado de Nunupata” (Choquenaira, *et al*, 2022). Describe y tipifica los deslizamientos reactivados, que podrían represar el cauce del río Huachecsa, cuyo desembalse podría afectar al Centro Arqueológico de Chavín de Huántar y viviendas de la localidad de Chavín de Huántar, que se encuentran localizados a 2.5 km aguas abajo del deslizamiento de Nunupata.
- B. Informe técnico N° A7361 “Peligros geológicos y zonas críticas entre Chavín de Huántar y Pomachaca” (Choquenaira, *et al.*, 2023). Describe la cartografía realizada entre Chavín de Huántar y Pomachaca, a escala 1/25 000, donde el centro poblado de Nunupata es considerado como zona crítica y peligro muy alto a deslizamientos.
- C. Informe técnico. Movimientos en masa en la cuenca del río Huachecsa, Chavín de Huántar (Fidel, S., *et al* 2007). Describe la cartografía de peligros geológicos a escala 1:25 000, donde identificaron deslizamientos, derrumbes en la ladera noreste del cerro Cruz de Shallapa (figura 1), Así mismo, identificaron flujos de detritos que afectaron la localidad de Chavín de Huántar y el centro Arqueológico del mismo nombre, presentando hasta tres eventos de gran magnitud.
- D. 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. 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.

- E. Informe técnico. Primer reporte “Zonas críticas por peligro geológico y geohidrológico en la región Áncash” (Zavala, 2007), determinó que el valle del río Mosna hasta la localidad de Puchca como **Zona Crítica (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.

1.4. Aspectos generales

1.4.1. Ubicación

El área evaluada se encuentra en la margen derecha del río Huachecsa, 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 Áncash (figura 1); en las siguientes coordenadas UTM (WGS84 – Zona 18 s) (tabla 1):

Tabla 1. Coordenadas del área evaluada

N°	UTM - WGS84 - Zona 18L		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"
<i>COORDENADA CENTRAL DE LA ZONA EVALUADA O EVENTO PRINCIPAL</i>				
C	259096	8938837	9°35'34.15"	77°11'41.75"

1.4.2. Accesibilidad

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

Tabla 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

1.4.3. 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 los trabajos de campo se evidencia que las viviendas de Nunupata están construidas en su mayoría de material rústico (adobes), además cuenta con una Institución educativa y cancha deportiva, ubicadas sobre el cuerpo del deslizamiento antiguo en proceso de reactivación.

1.4.4. Clima

Según la clasificación climática de Thornthwaite (SENAMHI, 2020), el centro poblado de Nunupata y alrededores presenta un clima semiseco, frío, con deficiencias de lluvias en invierno, con humedad relativa calificada como húmeda.

En cuanto a la cantidad de lluvia, según datos meteorológicos y pronóstico del tiempo del servicio de aWhere (que analiza datos de 2 millones de estaciones meteorológicas virtuales en todo el mundo, combinándolos con datos ráster y de satélite), la precipitación máxima registrada en el periodo 2019-2022 fue de 35.8 mm, (figura 2). Cabe recalcar que las lluvias son de carácter estacional, es decir, se distribuyen muy irregularmente a lo largo del año, produciéndose generalmente de diciembre a abril.

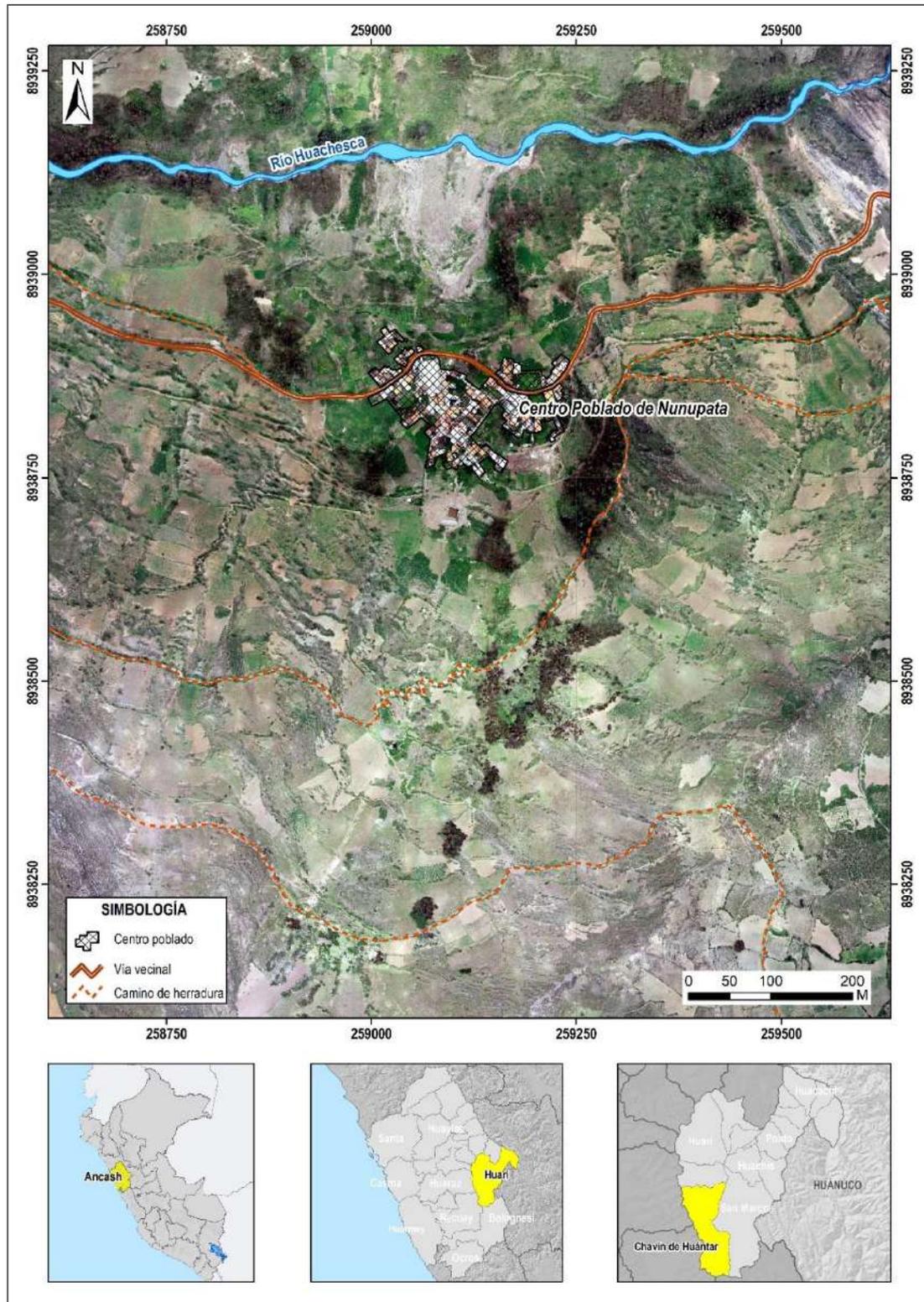


Figura 1. Mapa de ubicación del área evaluada.

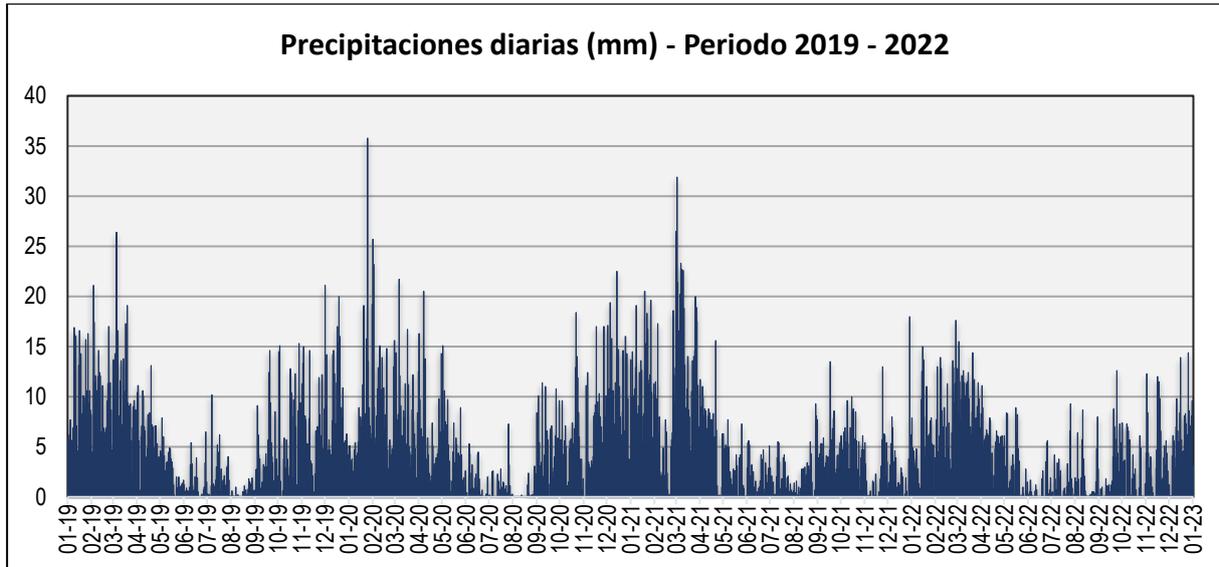


Figura 2. Precipitaciones máximas diarias en mm, distribuidas a lo largo del periodo 2019-2022. La figura permite analizar la frecuencia de las anomalías en las precipitaciones pluviales que inducen al desarrollo de la erosión del suelo. Fuente: Landviewer, disponible en: <https://crop-monitoring.eos.com/weather-history/field/9082407>.

La temperatura anual oscila entre un máximo de 19.0°C en verano y un mínimo de 2.0°C en invierno (figura 3). Así mismo, presenta una humedad promedio de 60% durante casi todo el año, (Servicio aWhere).

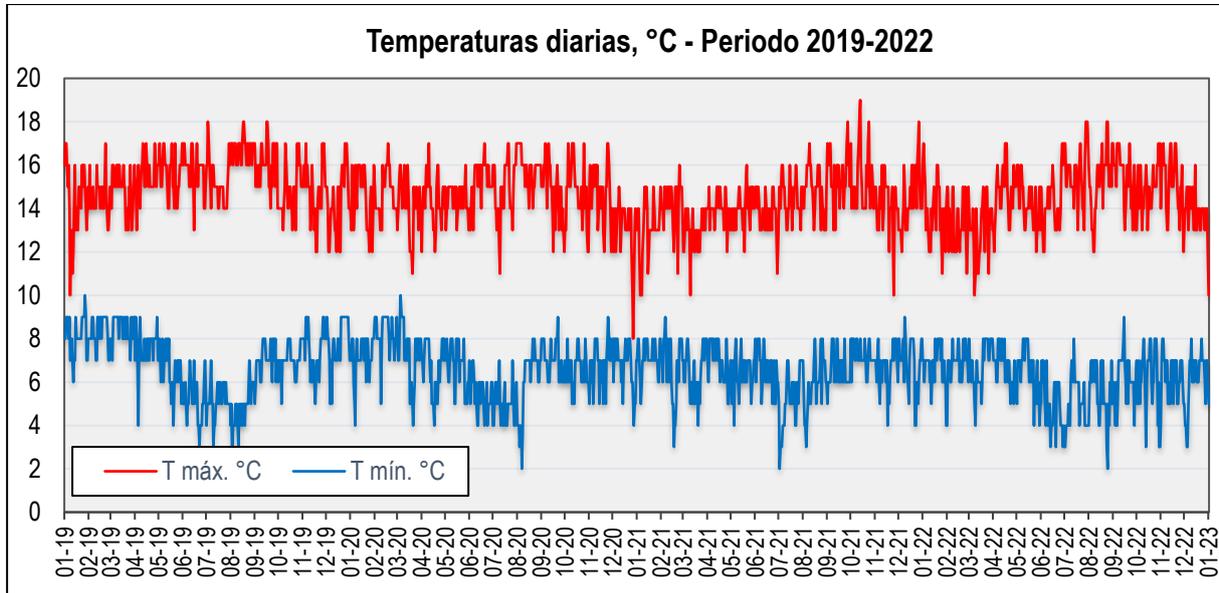


Figura 3. Temperaturas máximas y mínimas diarias, distribuidas a lo largo del periodo 2019-2022. La figura permite analizar la variedad, saltos extremos de temperatura, duración y regularidad. Fuente: Landviewer, disponible en: <https://crop-monitoring.eos.com/weather-history/field/9082407>.

2. DEFINICIONES

El presente informe técnico está dirigido a entidades gubernamentales en los tres niveles de gobierno, así como personal no especializado, no necesariamente geólogos. En el informe se desarrollan terminologías y definiciones vinculadas a la identificación, tipificación y caracterización de peligros geológicos, para la elaboración de informes y documentos técnicos en el marco de la gestión de riesgos de desastres. La terminología técnica utilizada, tiene como base el libro: “Movimientos en masa en la región andina: una guía para la evaluación de amenazas” desarrollado en el Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas (2007), donde participó la Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico del Ingemmet. Los términos y definiciones se detallan a continuación:

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 Zona adyacente arriba del escarpe principal de un deslizamiento que prácticamente no ha sufrido desplazamiento ladero 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).

ESCARPE 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.

FLUJO DE DETRITOS (HUAICO): Flujo con predominancia mayor de 50% de material grueso (bloques, gravas), sobre los finos, que transcurre principalmente confinado a lo largo de un canal o cauce con pendiente pronunciada.

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: 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 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 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 ladero abajo de una masa de roca, de detritos o de tierras (Cruden, 1991).

REPRESAMIENTO Este aspecto se refiere a represamientos de cursos de agua. Para este tipo de efecto se requieren cuatro tipos de información: (1) El tipo de represamiento, según la clasificación de Costa y Schuster (1988) (2) La morfometría o forma de la presa puede ser bastante irregular como se observa en los distintos tipos de la figura anterior y por lo tanto las dimensiones se deben adaptar con el mejor criterio, siguiendo las siguientes definiciones: Longitud (m). Distancia horizontal entre el pie del talud aguas arriba y el pie del talud aguas abajo de la presa. Altura (m). Distancia vertical en el centro de la corona de la presa, medida desde el nivel natural del cauce hasta la superficie de la corona. Ancho (m). Distancia horizontal transversal al curso de las aguas, medida a lo largo de la corona de la presa.

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 GEOMORFOLÓGICOS

Para la caracterización de las unidades geomorfológicas (Anexo 1: Mapa 1), 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 viviendas, infraestructuras y medios de vida, ubicados aguas abajo.

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

3.1. Geformas de carácter tectónico degradacional y erosional

La principal subunidad de montaña estructural en rocas sedimentarias (ME-rs) que circunda por el lado sur al centro poblado de Nunupata tiene una altura de más de 300 m respecto al nivel de base local. Se dispone en dirección este-oeste modelando secuencias de las formaciones Chimú, Santa, Carhuaz, Pariahuanca y Chúlec, conformada por areniscas cuarzosas, calizas macizas, lutitas y limolitas de color negro.

Presentan cimas alargadas – puntiagudas y laderas de pendientes que varían de 25° a 85°. Además, de un claro control estructural que configuró una morfología accidentada, definido por la presencia de eventos antiguos (deslizamientos y derrumbes), que modelaron el actual relieve.

3.2. Geformas de carácter tectónico depositacional y agradacional

Están representadas por formas de terreno resultados de la acumulación de materiales provenientes de los procesos denudativos y erosionales. Entre ellas se tiene la subunidad de piedemonte con depósito de deslizamiento (V-dd) originadas por procesos de movimientos en masa antiguos y recientes provenientes de la ladera sur que delimita Nunupata, de pendientes que varían de fuerte a muy fuerte (15°-45°). Su composición litológica es homogénea; con materiales medianamente inconsolidados, están compuestos de bolos, cantos, gravas, arena, limos, de corto a mediano recorrido. Su morfología es usualmente convexa y su disposición es semicircular a elongada en relación con la zona de arranque o despegue del movimiento en masa.

Así también se tiene la subunidad de vertiente coluvial (V-c) o depósitos inconsolidados de origen coluvial producto de la reactivación del deslizamiento de Nunupata, se dispone acumulados al pie de laderas de montaña estructural, a la margen derecha del río Huachecsa. Por encontrarse cerca de su fuente de origen, presentan una naturaleza litológica homogénea; sin embargo, su granulometría es variable con fragmentos angulosos a subangulosos: Bolos, cantos, gravas, arenas, limos. Su grado de compacidad es bajo, no consolidado.

3.3. Índice Topográfico de Humedad (TWI)

El índice topográfico de humedad (TWI) permite identificar los lugares potenciales donde se concentra la humedad o las zonas de acumulación de aguas de escorrentía superficial. La obtención de este indicador fue realizada mediante una secuencia de análisis de modelos digitales de terreno (MDT) de alta resolución y precisión (obtenido de la fotogrametría del dron) y procesados en SAGA GIS.

En gran parte del área de estudio, se observa la mayor cantidad de acumulación de agua (señaladas en el mapa en colores azules), que discurren desde las zonas superficiales, preferentemente, en dirección al río Huachecsa; lo que sugiere que, en incrementos de precipitaciones pluviales, la posibilidad de un incremento de la inestabilidad de laderas y producirse movimientos en masa (como el caso del deslizamiento de Nunupata) es alta.

De la misma forma, las zonas superficiales, por encima del centro poblado, muestran una importante cantidad de drenajes, que discurren ladera abajo en temporada de lluvias intensas. Se debe realizar obras de drenajes para evitar que la infiltración genere la reactivación de nuevos deslizamientos en la zona (figura 4).

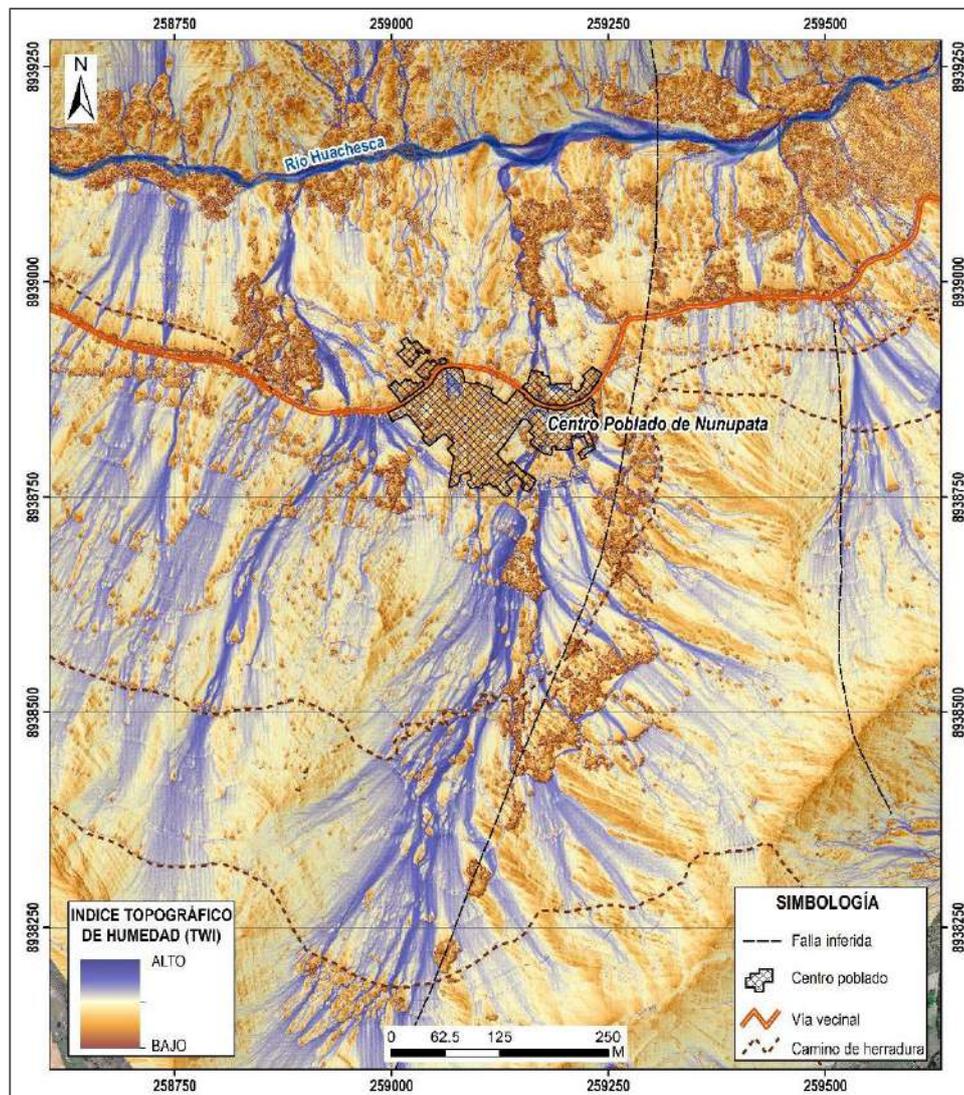


Figura 4. Mapa de la acumulación de agua (TWI) en el centro poblado de Nunupata y alrededores.

4. ASPECTOS GEOLÓGICOS

El análisis ingeniero - geológica realizado en el centro poblado de Nunupata, se desarrolló en base a la información obtenida en campo (figura 5) 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 del Cuaternario que cubren gran parte de los afloramientos. Estos materiales 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 3: Anexo 1.

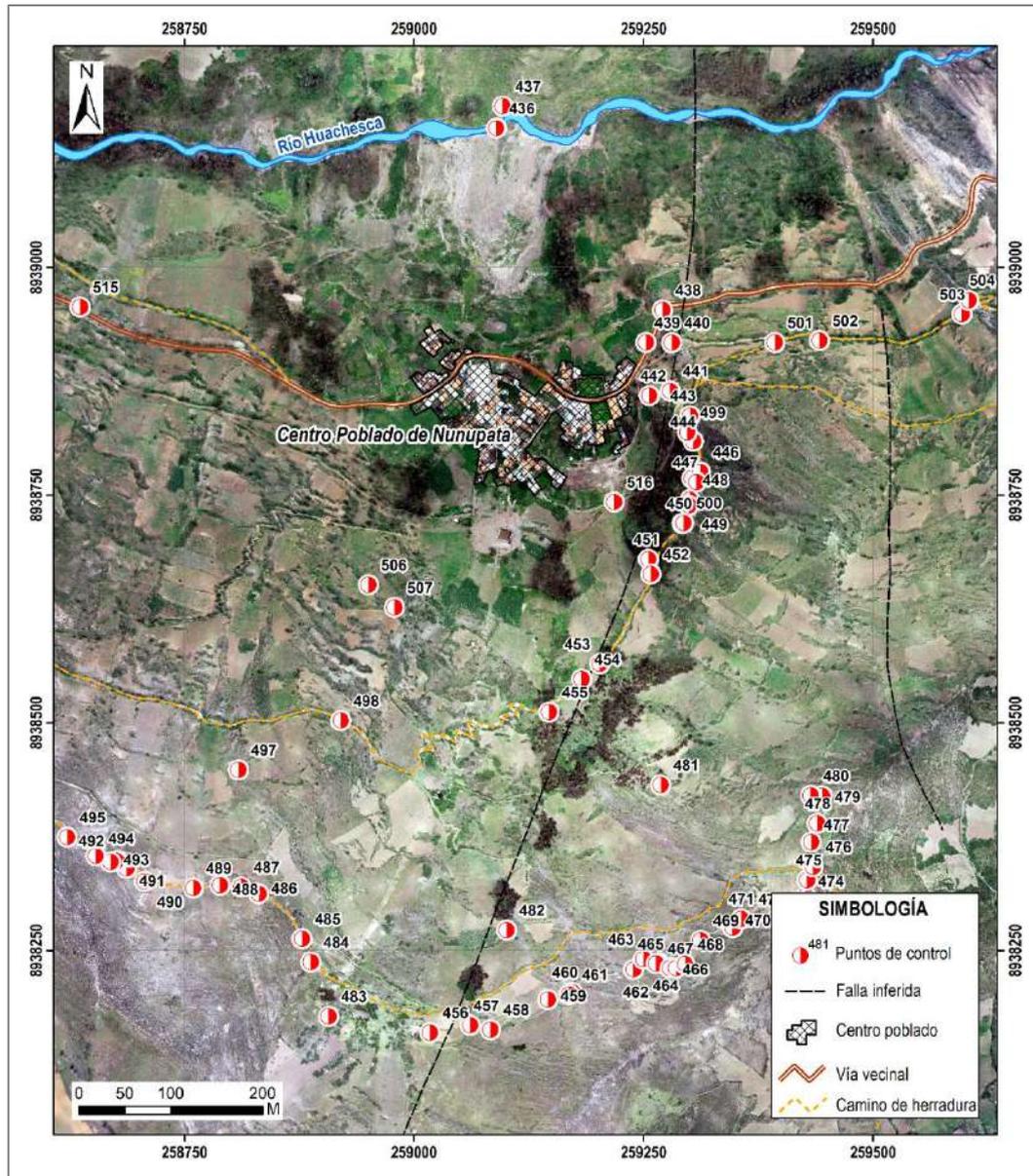


Figura 5. Mapa de puntos de control levantados en campo.

(*) Capa punto de control consistió en la toma de datos litológicos, levantamiento de columnas estratigráficas, datos de orientaciones de estratos, y estaciones geomecánicas expuestas en el talud.

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

Para una mejor representación de estas unidades geológicas, se levantó una columna estratigráfica en el flanco noreste de Nunupata (figura 6), el cual muestra de manera detallada, la litología, espesores y niveles de intercalación.

4.1. Sustrato rocoso

El deslizamiento de Nunupata involucra principalmente secuencias sedimentarias de la Formación Carhuaz, dispuesta en dirección suroeste, con una inclinación de 65° hacia flanco derecho y 35° en la parte alta; está conformada por areniscas de grano fino a medio, color gris blanquecinas y verdosas, intercaladas con lutitas y limolitas abirragadas (fotografía 1) en niveles que varían de 0.10 m a 1.2 m, con presencia de óxidos y surgencias de agua. Las areniscas se presentan medianamente fracturadas formando tres familias de discontinuidades (ver anexo 3) y moderadamente meteorizadas en las caras expuestas.

Así también, al pie del deslizamiento, en dirección al flanco derecho se observó la presencia de afloramiento rocoso de areniscas de grano fino, color verde grisáceo, con contenido de óxidos en las partes superficiales, intercaladas con limoarcillitas muy fracturadas y meteorizadas, lo cual estaría sirviendo como contención a la masa deslizada. Así mismo, funciona como barrera al estrechar el curso natural del río Huachecsa, formando en esa zona una morfología encañonada (~3 m de ancho).

En la parte alta de Nunupata aflora la Formación Pariahuanca que descansa concordantemente sobre la Formación Carhuaz debido a la ausencia de la Formación Farrat, e infrayacen concordantemente a las margas y calizas de la Formación Chúlec. En la base está conformada de areniscas cuarzosas intercaladas con niveles de calizas grises y ferruginosas, que pasan hacia la parte superior a bancos medianos de calizas grises y negras intercaladas con algunos niveles de limoarcillitas gris oscuras (figura 7).

Las calizas negras con venillas de calcita de la Formación Chulec, se proyecta por el flanco izquierdo del deslizamiento en dirección suroeste, con una inclinación de 72°. En zonas puntuales, este afloramiento presenta estructura de lapiaz¹ debido a la erosión que genera el agua de escorrentía pluvial. La presencia de fósiles es abundante.

De acuerdo a sus características ingeniero geológicas, estos afloramientos presentan 3 familias principales de discontinuidades, de baja a mediana resistencia, medianamente fracturadas y moderadamente meteorizada. Además, se considera como rocas de regular comportamiento geomecánico.

¹ Forma de erosión consistente en acanaladuras, separadas por estrías cortantes, producidas en las superficies de rocas calcáreas por la acción disolvente de aguas de lluvias.

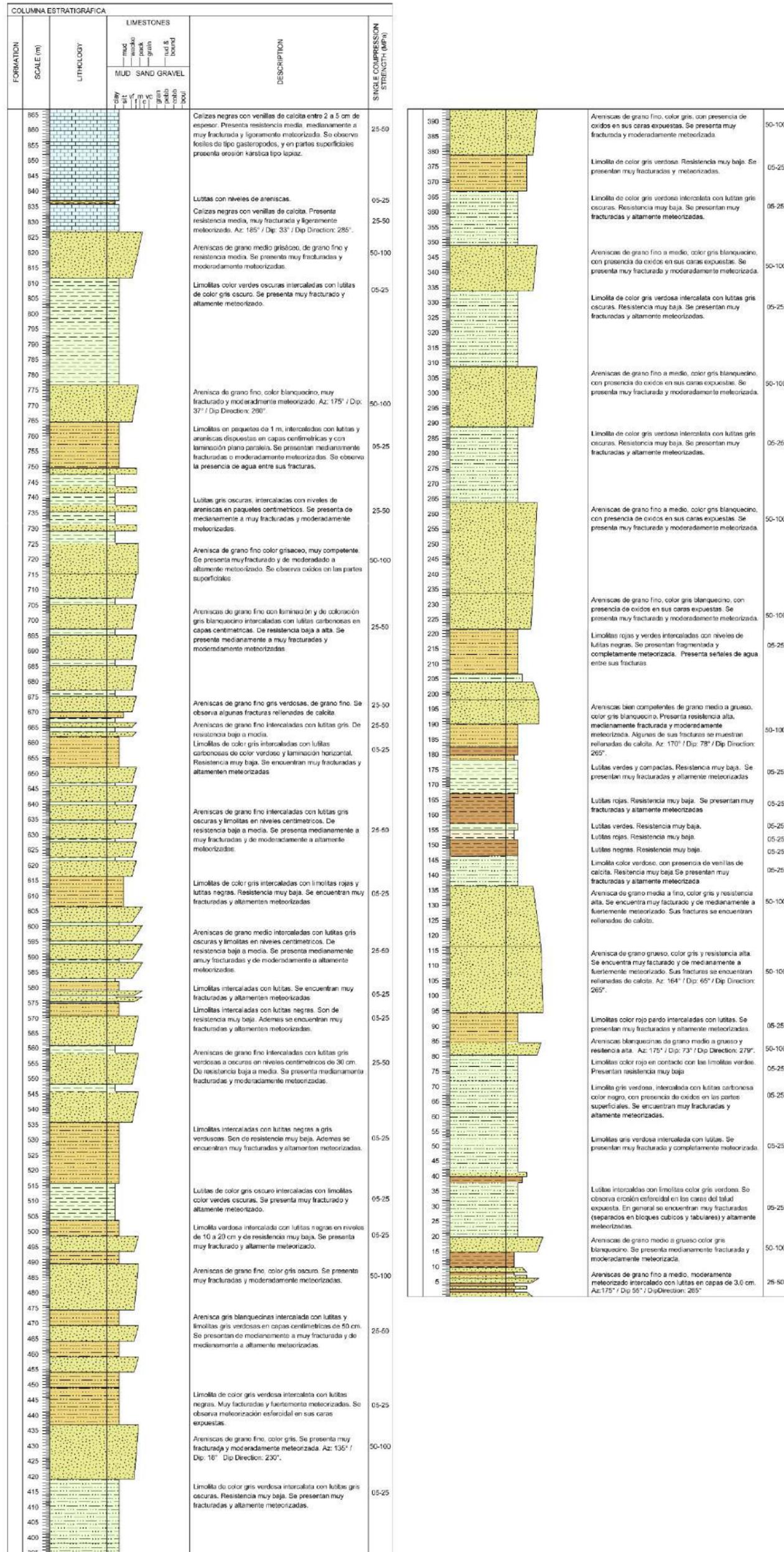


Figura 6. Columnas estratigráficas levantadas en ambos flancos del deslizamiento que delimita el centro poblado de Nunupata.



Fotografía 1. Areniscas gris blanquecinas de grano medio a fino, intercalados en estratos centimétricos de lutitas gris oscuras y limolitas gris verdes, característico de la Formación Carhuaz.

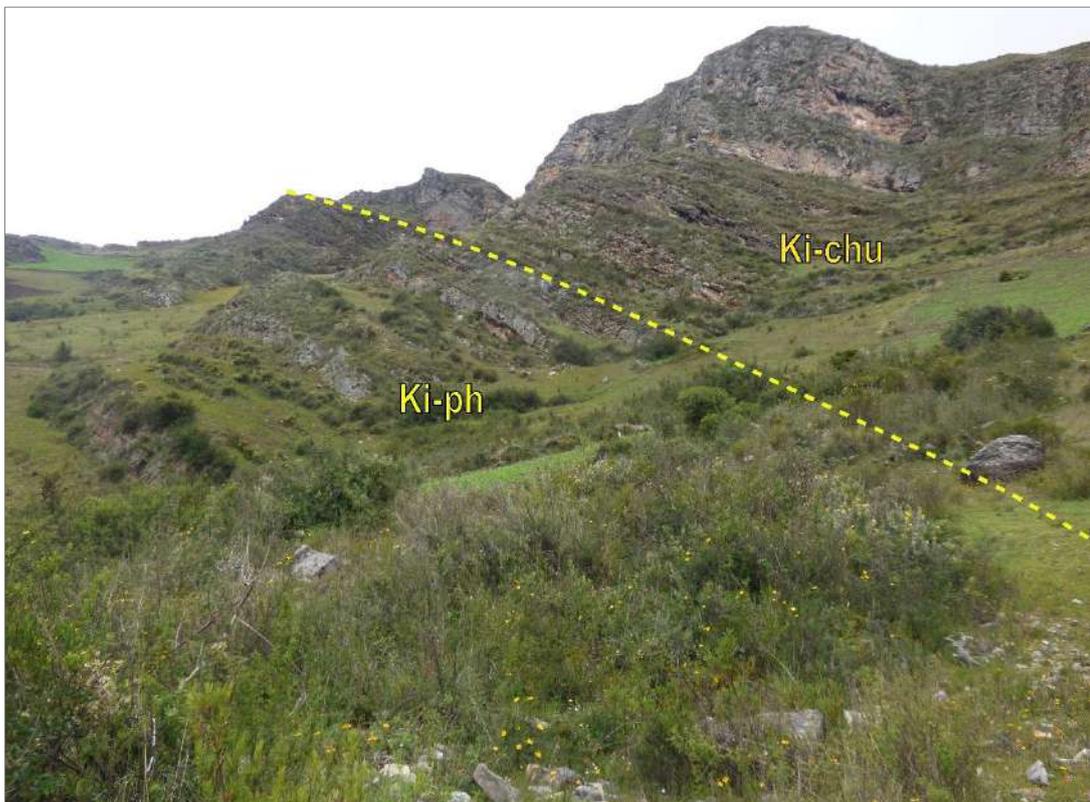


Figura 7. Zona de contacto de entre la Formación Parihuanca (Ki-ph), formadas por la intercalación de areniscas calcáreas y calizas y Formación Chulec (Ki-chu) conformadas por calizas macizas.

4.2. Depósitos superficiales

3.1.1. Depósito coluvio – deluvial

Clasificación del suelo: SM (SUSC)

Origen y descripción: Están compuestos por fragmentos líticos de origen sedimentario, angulosos a subangulosos con diámetros que varían de 0.02 a 0.17 m (15%) envueltos en una matriz de arenas medias a gruesas (35%) con contenidos de limos (45 %) y ligero contenido de arcillas (5%) (Ver anexo 4). Son producto de la meteorización de las rocas sedimentarias y removidos por procesos de movimientos en masa. Estos depósitos se han originado por meteorización y destrucción mecánica de las rocas preexistentes, así como por depositación gravitacional y acción de las aguas de escorrentía superficial.

Características ingeniero geológicas: Estructura masiva, heterogeneidad en su composición, variabilidad de sus propiedades mecánicas y espesores. Depósitos mediamente consolidados por acomodo de sus constituyentes, porosos, y de baja plasticidad.

Estabilidad de taludes: Muy variable, dependiendo de la compacidad y granulometría del depósito. Se recomienda taludes entre 1:1 a 3:1 (H: V).

Permeabilidad: Se estima de alta a media.

Excavabilidad: Se puede excavar fácilmente con medios mecánicos.

Distribución, espesor y relaciones estratigráficas: Estos materiales se sitúan en las laderas y pie de los cerros existentes en el área. Actualmente, el centro poblado de Nunupata se encuentra asentado sobre este depósito. Según los ensayos geofísicos, los espesores varían desde 1 m hasta ~ 35 m de espesor en la parte central de la ladera (figura 8).

3.1.2. Depósito coluvial

Clasificación del suelo: SM (SUSC)

Origen y descripción: Están compuestos por fragmentos líticos de origen sedimentario, angulosos a subangulosos con diámetros de hasta 1.5 m, gravas, arenas medias a gruesas con contenidos de limos y arcillas. Son producto de la meteorización de las rocas sedimentarias y removidos por procesos de movimientos en masa. Estos depósitos se han originado por meteorización y destrucción mecánica de las rocas preexistentes, así como por depositación gravitacional, produciéndose acumulaciones en la base de las laderas.

Características ingeniero geológicas: Estructura masiva, heterogeneidad en su composición, variabilidad de sus propiedades mecánicas y espesores. Depósito suelto, porosos, y de baja plasticidad.

Estabilidad de taludes: Muy variable, dependiendo de la compacidad y granulometría del depósito. Se recomienda taludes entre 1:1 a 1:3 (H: V).

Permeabilidad: Se estima de alta.

Excavabilidad: Se puede excavar fácilmente con medios mecánicos.

Distribución, espesor y relaciones estratigráficas: Según los ensayos geofísicos se estima un espesor de 35 m.

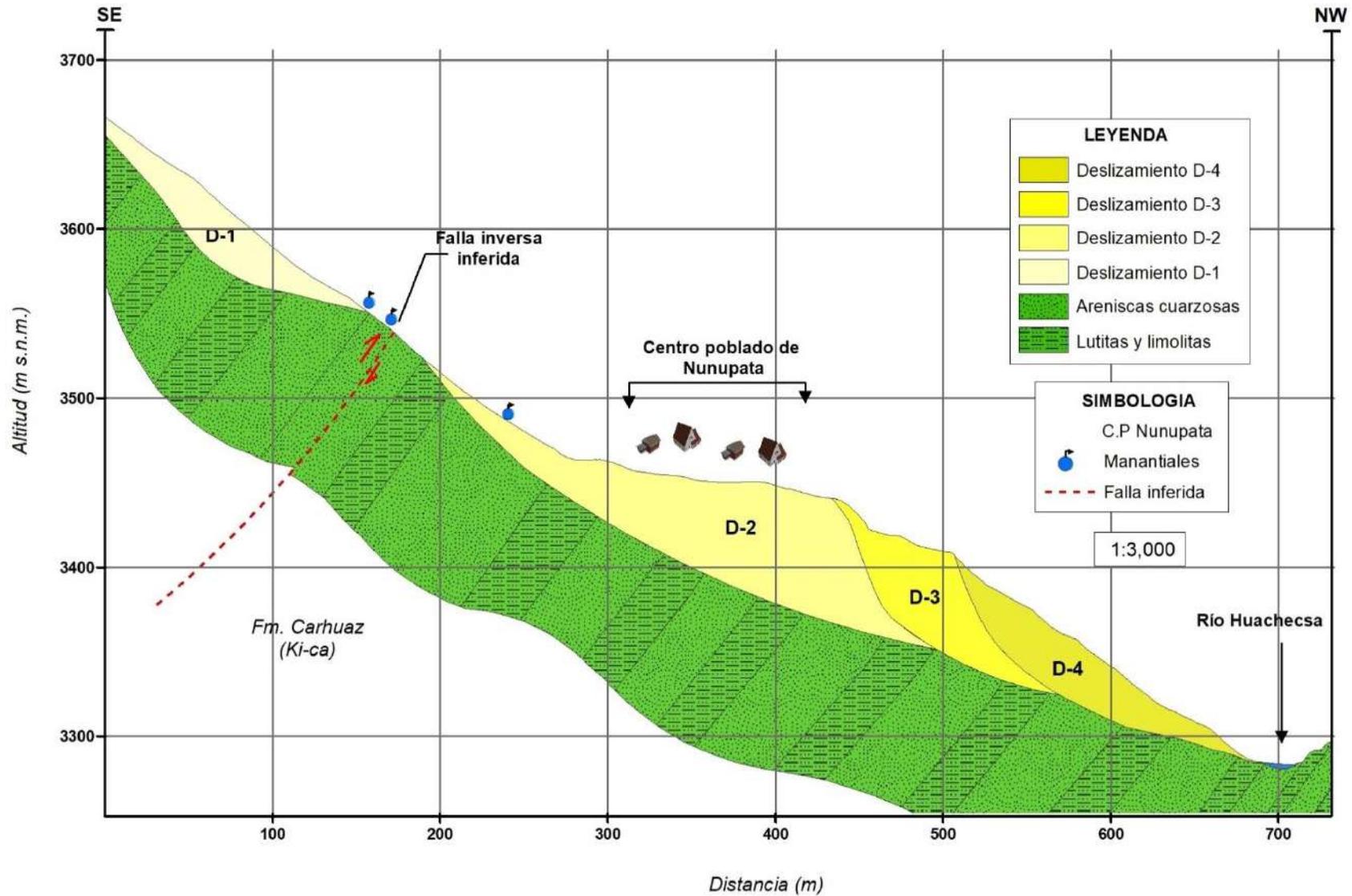


Figura 8. Perfil geológico, muestra los espesores de los depósitos originados por las reactivaciones de la ladera.

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 fallas regionales, 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. Movimientos en masa antiguo

Las viviendas del centro poblado de Nunupata se asientan sobre depósitos de deslizamientos antiguos (vertiente con depósitos de deslizamientos) provenientes de la ladera norte, formando coronas semicirculares – elongados, de 150 m de longitud y una distancia de 1.2 km entre la corona y pie del deslizamiento, este último finaliza en la cota 3339 m (figura 9).

El material compuesto por detritos y rocas se desplazó en dirección norte, depositándose parte del material en el río Huachecsa, sin generar represamiento alguno. 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

5.1.1. Deslizamiento activo de Nunupata

El deslizamiento de Nunupata (D-3), de tipo rotacional y reactivado por sectores, posee un área de aproximadamente 2.0 Ha. Presenta una corona de forma semicircular - elongada de 145 m de longitud, un sato principal de 5 m, con un ancho promedio de 100 m en la zona media y una distancia entre la corona y pie del deslizamiento de 186 m (figura 9A).

En la actualidad el evento está activo y latente por sectores, muestra de ello son los múltiples agrietamientos longitudinales que se observan en la zona posterior a la corona, con aperturas de 20 cm en promedio y longitudes continuas de hasta 70 cm.

El material detrítico se movilizó, en dirección al río Huachecsa, transportando materiales (del antiguo deslizamiento) compuestos por bloques, cantos, grava y gravilla, arenas, limo y contenido de arcilla, de compacidad medio denso y medianamente saturado. La principal causa de la inestabilidad se atribuye a la infiltración de agua que genera el riego de los terrenos de cultivo, el cual satura y humedece el suelo con mayor rapidez.

La escapa del deslizamiento presenta una pendiente $>45^\circ$, 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 por acción 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 encañonada del río.

Por otro lado, el deslizamiento D-2 con un volumen aproximado de 811,913 m³, representa el evento con mayor peligro ante una posible reactivación, puesto que, involucra mayor área y volumen (figura 9B) y con altas probabilidades de activarse. Evento que podría represar el cauce del río Huachecsa, cuyo desembalse podría afectar al Centro Arqueológico de Chavín de Huántar y la población de Chavín de Huántar, localizados aproximadamente a 2.5 km aguas abajo del deslizamiento de Nunupata. Se conoce que, 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 a un flujo (aluvión) de gran magnitud, que se desplazó a lo largo del río Huachecsa hasta la desembocadura en el río Mosna, afectando la ciudad de Chavín de Huántar y el monumento arqueológico del mismo nombre. (figura 9C). Finalmente, recorrió en dirección noreste, por el río Puchca, hasta el río Marañón.

Este deslizamiento, se caracteriza por su corona semicircular, con un salto principal de 7.6 m, donde se evidencia surgencias o filtraciones de agua formando zonas húmedas, coadyuvadas por el riego que incrementan la saturación del terreno. Al límite con el flanco derecho del deslizamiento, las aguas de escorrentía, disectan el cuerpo del deslizamiento formando zonas de carcavamiento. Se deduce que la surgencia de agua, en la pared escarpada, proviene del riego de terreno de cultivo de alfalfa, ubicados en la zona posterior de la corona.

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

Si bien es cierto, que en la zona posterior a la corona del deslizamiento D-2 no hay evidencias de agrietamientos, estas pueden aparecer si se continúa desestabilizando la ladera con el riego indiscriminado. Es así que, en la parte baja de la pared escarpada, se pudo observar agrietamientos longitudinales continuos, con apertura de 20 cm, y un ligero desplazamiento en dirección norte, a lo largo de toda la zona escarpada (figura 13), lo cual evidencia la reactivación y actividad del evento; así como la inestabilidad de la ladera.

Es importante mencionar, que en el cuerpo del deslizamiento se observan bloques de areniscas y calizas, de formas subangulosas a subredondeadas, con diámetros de hasta 1.7 m producto de caída de rocas de la ladera norte de Nunupata, algunos de ellos llegaron muy próximas a las viviendas del centro poblado referido, sin generar afectación. Así también se pudo observar árboles con ligera inclinación y en contra de la pendiente, típico de movimientos de laderas inestables.

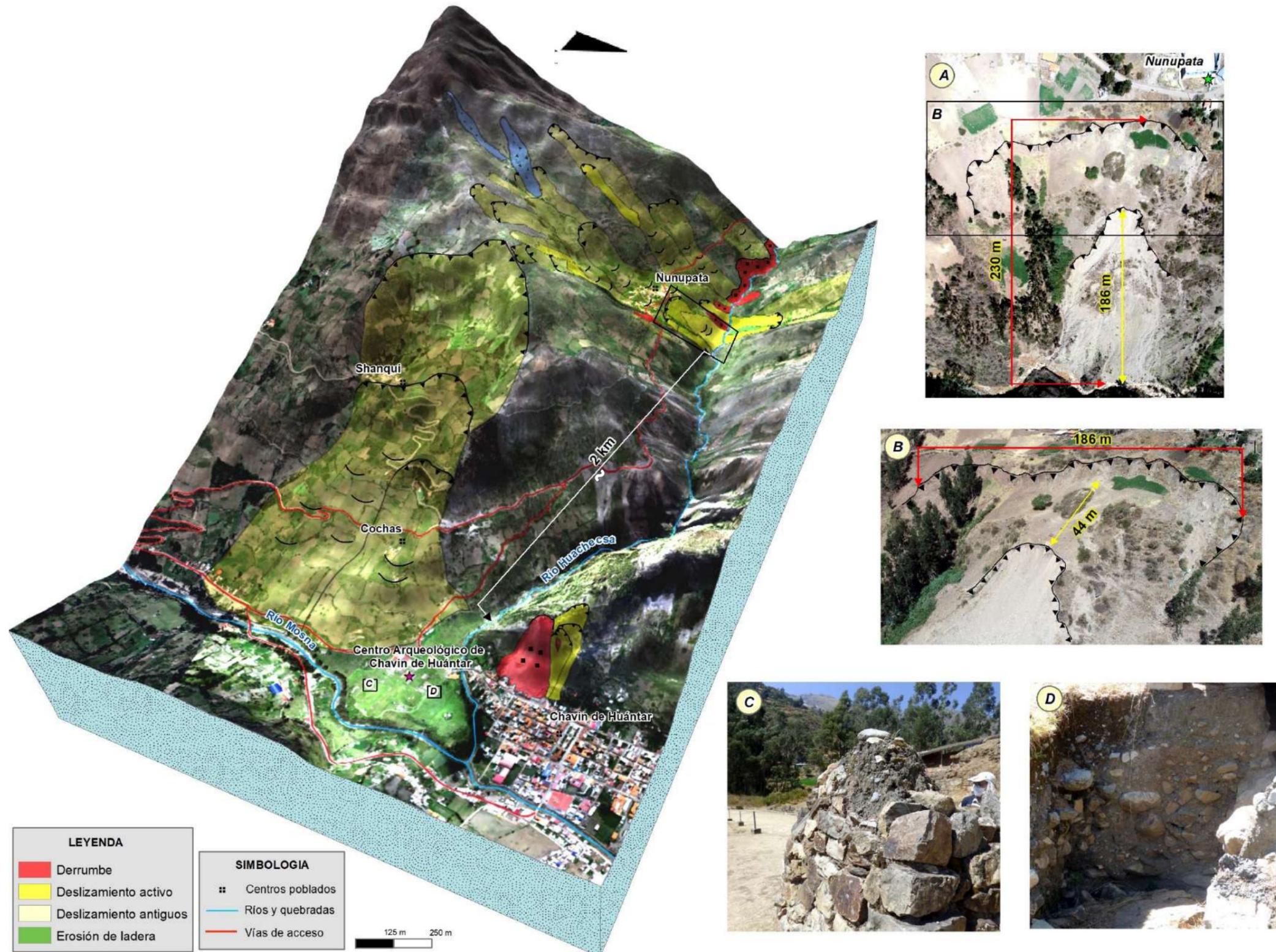


Figura 9. Imagen del deslizamiento reactivado de Nunupata, el cual muestra una corona de forma semicircular – elongada, con longitud de 145 m, un ancho promedio de 100 m en la zona media y una distancia entre la corona y pie del deslizamiento de 186 m.

5.2. Factores condicionantes

En el cuadro 1, se detalla los principales factores que condicionan el estado del deslizamiento de Nunupata:

Cuadro 1. Factores condicionantes de los procesos por movimientos en masa.

Procesos o causas naturales	Características	Peligros geológicos inducidos
Factores geológicos - geotécnicos inherentes (factores de sitio)		
Litología del substrato-estructural	La intercalación de areniscas de grano fino a medio, color gris blanquecinas y verdosas, con lutitas abirragadas, en niveles que varían de 0.10 m a 1.2 m, con presencia de óxidos y surgencias de agua de la Formación Carhuaz, en conjunto, hacen al macizo rocoso incompetente, muy susceptible a la ocurrencia de nuevos eventos. Así mismo, las areniscas presentan moderada meteorización en las caras expuestas y medianamente fracturadas, condicionadas en un contexto regional por la gran deformación tectónica-estructural (pliegues y fallas) y de forma muy local la presencia de una falla geológica que atraviesa el centro poblado de Nunupata.	Procesos de deslizamientos, erosión de laderas, caída (derrumbes).
Tipo de suelo (naturaleza del suelo)	Depósito inestable, compuesto por fragmentos líticos de origen sedimentario, de formas angulosas a subangulosas envueltos en una matriz de arenas medias a gruesas con contenidos de limos y arcillas producto de la meteorización de las rocas sedimentarias y removidos por procesos de movimientos en masa. Presenta estructura masiva, medianamente consolidada por acomodo de sus constituyentes, poroso, y de baja plasticidad; material de fácil remoción ante la presencia de lluvias intensas y/o prolongadas y saturación por riego excesivo de terrenos de alfalfa.	Erosión de laderas en cárcavas, deslizamientos y caídas (derrumbes).
Material de remoción antiguos	Montañas y laderas con presencia de deslizamientos antiguos.	Deslizamientos, derrumbes y caída de rocas
Características geotécnicas	Macizo rocoso dispuesto en dirección SW, con tres familias de discontinuidades y una resistencia a la compresión simple de las areniscas que varía de 50 – 100 MPa. Presentan una persistencia baja, abertura cerrada y paredes rugosas.	Caída de rocas, deslizamientos planares y en cuñas.

Morfología	El centro poblado de Nunupata, se encuentra sobre el cuerpo de un deslizamiento antiguo, circunscrita por una topografía accidentada, definido por relieves modelados en rocas sedimentarias estructurales, con cimas alargadas – puntiagudas y laderas escarpadas y escalonadas.	Deslizamientos, derrumbes y caída de rocas.
Pendiente del terreno	Grado de pendiente favorable a la ocurrencia de procesos de remoción en masa (25° a 85°).	Deslizamientos, caídas de rocas

5.3. Factores desencadenantes

En el cuadro 2, se detalla los principales factores desencadenantes del deslizamiento de Nunupata:

Cuadro 2. Factores desencadenantes de los procesos por movimientos en masa.

Factores naturales del entorno geográfico		
Climáticos e Hidrológicos		
Precipitaciones pluviales	Índices altos de pluviosidad (estacional) o regímenes excepcionales (El Niño). Saturan los suelos y/o rocas, aumentan las presiones del terreno al infiltrarse por discontinuidades, grietas y la sobrecarga debido a su propio peso. Absorción de agua por minerales arcillosos en suelos adhesivos, produciendo saturación de los mismos.	Deslizamientos, derrumbes y caídas de rocas, erosión de laderas en cárcavas.
Dinámica fluvial	Socavamiento constante del río Huachecsa al pie del deslizamiento de Nunupata y laderas adyacentes.	Erosión fluvial, derrumbes y deslizamientos.
Aguas subterráneas	A los alrededores del centro poblado de Nunupata se encontró variedad de fuentes de agua superficial como subterránea, las aguas subterráneas se evidencian en forma de manantiales, las cuales no han sido captadas para consumo humano. Estos manantiales carecen de agua en temporada de estío. Se ha inventariado 10 fuentes de agua, 8 manantiales, 2 puntos de control para sus interpretaciones hidroquímicas de aniones, cationes mayoritarios, metales totales y metales disueltos.	Deslizamientos y caídas (derrumbes).
Sismicidad y fallas Activas		
Sismos	Es importante mencionar la presencia de la falla activa de la Cordillera Blanca, localizada a 18 km, aproximadamente al oeste de Nunupata, en el flanco Occidental de la Cordillera Blanca; como desencadenante ante la posible reactivación, generando sismos de gran magnitud que pueda afectar al poblado referido.	Deslizamientos, caída de rocas, derrumbes y avalancha de rocas.

Actividad biológica y presencia de vegetación	
Presencia o ausencia de vegetación o cubierta vegetal, para mantener la estabilidad de taludes y laderas; contribuyen al drenaje absorbiendo parte del agua contenida en el suelo, evitan la erosión pluvial. Sin embargo, la presencia de vegetación (terrenos de cultivo), que requieren bastante cantidad de agua para su adecuado crecimiento, es perjudicial para la estabilidad de la ladera.	Erosión de laderas, deslizamientos y derrumbe.

Factores Antrópicos (humanos)		
Excavaciones	La modificación de laderas naturales, influye en su estabilidad y variación de su estado de equilibrio, producto de los cortes artificiales, como ejemplo se observa el trazo de la trocha carrozable que une Nunupata con Chavín de Huántar y pueblos aledaños. Esta actividad antrópica, en algunos sectores reactiva la ladera en forma de derrumbes y caída de rocas.	Caídas de rocas y derrumbes, desprendimientos en taludes de redes viales.
Sobrecarga	Incremento del peso debido a diferentes tipos de construcciones sobre el depósito inestable del deslizamiento de Nunupata.	Deslizamientos y derrumbes.
Ocupación inadecuada del suelo por el hombre	Asentamiento en zonas susceptibles a movimientos en masa, alteran el estado natural del suelo.	Deslizamientos y derrumbes.
Aprovechamientos de recursos hídricos	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.	Deslizamientos, caída de rocas y derrumbes.
	Explotación de aguas subterráneas	
Deforestación o sobrepastoreo de laderas	En las laderas descubiertas de vegetación, existe mayor infiltración de agua de lluvia al terreno, son terrenos propensos a generar procesos de remoción en masa.	Deslizamientos, derrumbes.
Uso inadecuado de agua de escorrentía	Los canales sin revestir empleados en la parte alta del deslizamiento de Nunupata, realizados con el fin de captar las aguas de escorrentía y precipitación pluvial, podrían coadyuvar a que infiltre mayor cantidad de agua al terreno.	Deslizamientos, derrumbes, caída de rocas.

6. ASPECTOS HIDROGEOLÓGICOS

Hidrogeológicamente, el área de estudio refleja un comportamiento normal de zonas de precipitación regular, con estaciones marcadas, época de avenida (abundantes lluvias) y época de estiaje (pocas lluvias).

Como parte del cartografiado hidrogeológico se realizó el recorrido completo del área de estudio, donde se observó las diferentes unidades geológicas y se desarrolló la columna estratigráfica, con el objetivo de clasificarlas según su litología, para esto también se realizaron ensayos de infiltración, además se realizó el inventario y muestreo de evidencias de agua, así mismo se realizaron líneas de tomografía eléctrica para identificar las zonas saturadas.



Fotografía 2. Vista panorámica del centro poblado de Nunupata.

6.1. Evidencias de fuentes de agua (subterráneas y superficiales)

En la presente evaluación se identificaron 10 puntos o evidencias de fuentes de agua, de los cuales se realizaron monitoreo (cuadro 3).

La información tomada in situ se levantó con un multiparámetro portátil, se realizó la toma de parámetros físicos y químicos (CE, TDS, temperatura, pH, oxígeno disuelto, resistividad, ORP y salinidad), el inventario de fuentes se realizó en aguas subterráneas y superficiales, estas últimas servirán para comparar parámetros fisicoquímicos aguas abajo ya que en su mayoría procede de manantiales.

Cuadro 3. Resumen de tipos de fuentes de agua.

Tipo de fuente	Total
Manantial	8
Punto de Control	2
Total, general	10

De este inventario (cuadro 4 y figura 10) y monitoreo se realizó el muestreo de las 20 estaciones, para su respectivo análisis químico de aniones, metales disueltos, metales totales y elementos traza por el método ICP Masa óptico (cuadro 5) lo que nos permitirá conocer las características hidroquímicas del agua. Este análisis se realizó en el laboratorio de INGEMMET.

Cuadro 4. Inventario de fuentes de agua.

	Código	Este	Norte	Cota	Tip. fuente	Fecha
1	49899-001	258599	8938388	3909	Punto de Control	12/03/2023
2	49899-002	259034	8939041	3411	Manantial	13/03/2023
3	49899-003	259076	8939150	3323	Punto de control	13/03/2023
4	49899-004	259209	8938572	3631	Manantial	13/03/2023
5	49899-005	259241	8938643	3629	Manantial	13/03/2023
6	49899-006	259262	8938680	3649	Manantial	14/03/2023
7	49899-007	259278	8938718	3633	Manantial	14/03/2023
8	49899-008	259286	8938822	3559	Manantial	14/03/2023
9	49899-009	259053	8938188	3885	Manantial	16/03/2023
10	49899-010	259096	8938287	3840	Manantial	16/03/2023
11	49899-002	259034	8939041	3411	Manantial	19/03/2023
12	49899-003	259076	8939150	3323	Punto de Control	19/03/2023
13	49899-007	259278	8938718	3633	Manantial	19/03/2023
14	49899-008	259886	8938822	3559	Manantial	19/03/2023
15	49899-001	258599	8938388	3909	Punto de Control	20/03/2023
16	49899-004	259209	8938572	3631	Manantial	20/03/2023
17	49899-005	259241	8938643	3629	Manantial	20/03/2023
18	49899-006	259262	8938680	3649	Manantial	20/03/2023
19	49899-009	259053	8938188	3885	Manantial	20/03/2023
20	49899-010	259096	8938287	3840	Manantial	20/03/2023

Cuadro 5. Parámetros físico químicos.

Código	Tip. fuente	Fecha	(Q)	T°	T° Amb	pH	CE	TDS
--------	-------------	-------	-----	----	--------	----	----	-----

49899-001	Punto de Control	20/03/23	16	16	17.9	8.44	71.92	35.9
49899-002	Manantial	19/03/23	0.1	18.4	18.9	8.18	460.9	226.1
49899-003	Punto de Control	19/03/23		13.7	15.2	7.99	128.5	62.96
49899-004	Manantial	20/03/23	0.3	14.3	16.5	7.69	710.7	348.7
49899-005	Manantial	20/03/23	0.2	14.6	18	8.08	259.2	127.5
49899-006	Manantial	20/03/23	0.3	14.7	17.2	7.67	383.1	188.2
49899-007	Manantial	19/03/23	0.1	13.4	17	7.42	101.3	50.15
49899-008	Manantial	19/03/23	1.2	15.2	15.9	7.39	168.8	83.24
49899-009	Manantial	20/03/23	0.5	14.4	17	7.32	217.9	107.2
49899-010	Manantial	20/03/23	0.4	14.3	16.5	7.7	290.2	142.7
49899-001	Punto de Control	12/03/23	16	15	16.5	8.06	163	82
49899-002	Manantial	13/03/23	0.2	20.4	20	8.37	510.9	250.5
49899-003	Punto control	13/03/23		12.3	20.1	8.18	84.38	41.9
49899-004	Manantial	13/03/23	0.3	14.08	16	7.8	634.3	311.3
49899-005	Manantial	13/03/23	0.2	14	14.5	7.98	729.2	357.8
49899-006	Manantial	14/03/23	0.3	13.7	13	7.21	311.3	153.6
49899-007	Manantial	14/03/23	0.1	15.9	16.5	7.46	92.15	45.13
49899-008	Manantial	14/03/23	1.2	16.7	18	7.15	112.4	55.65
49899-009	Manantial	16/03/23	0.3	14.2	14.7	7.13	221.4	110.4
49899-010	Manantial	16/03/23	0.2	14.7	16	7.74	266	130.9

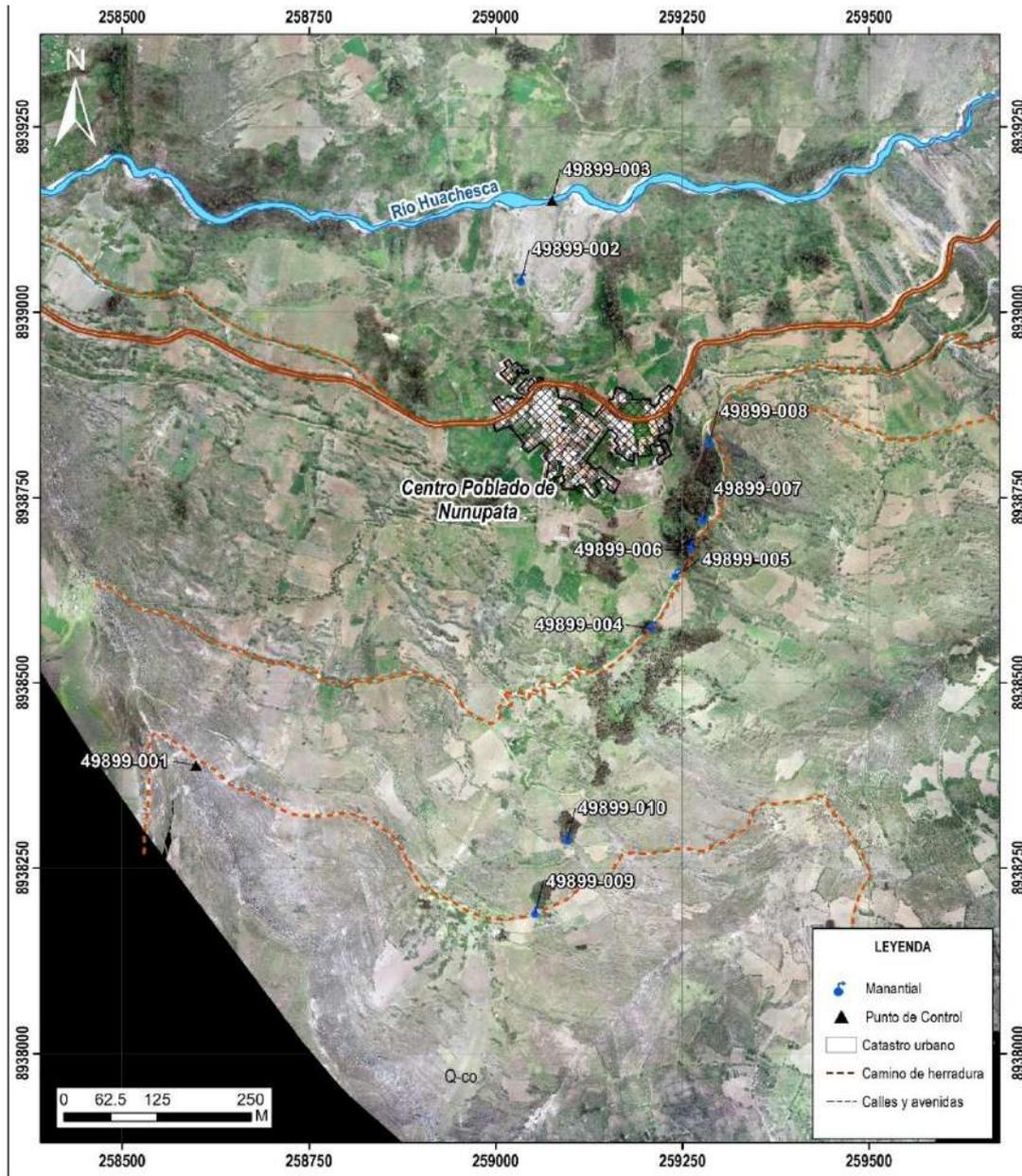


Figura 10. Mapa de inventario de fuentes de agua.

6.1.1. Manantiales

De los 8 manantiales inventariados, en la fotografía 3 se muestra el manantial 49899-009, el cual tiene un caudal de 0.5 l/s, Ph de 7.32 y C.E. de 217.9, este manantial como se visualiza en la fotografía se evidencia por fisura y contacto entre areniscas y lutitas intercaladas con limolitas, de similar manera se presentan los manantiales 49899-002, 49899-004, 49899-005, 49899-006, 49899-007, 49899-008 y 49899-010.



Fotografía 3. Manantial 49899-009.

6.1.2. Puntos de control

Para complementar el inventario de fuentes se levantó información de dos (02) puntos control, estos servirán para el control de parámetros fisicoquímicos de las fuentes de agua, ya que en su mayoría proceden de manantiales.



Fotografía 4. Punto de control 49899-003.

La fotografía 4, muestra el punto de control 49899-003 del río Huachecsa, con caudal de más de 200 l/s, pH de 7.99 y CE de 128.5, esto evidencia que el agua que se vierte en el río es de buena calidad, en comparación con los manantiales, que presentan turbidez; tal como muestra en el inventario con punto de control 49899-001 del canal de Nunupata, el cual está proyectado para uso de riego por aspersión.

Muestreo y envío de muestras: Se han muestreado las 10 fuentes inventariadas para su respectivo análisis químico de aniones, metales disueltos, metales totales y elementos traza por el método ICP Masa óptico, lo que nos permitirá conocer las características hidroquímicas del agua, este análisis se realizó en el laboratorio de INGEMMET. Luego de algunos días, se realizó el monitoreo de muestras de agua para ver la dinámica de estas con respecto al tiempo.

En la fotografía 5 se muestra el manantial con caudal de 0.5 l/s, aflora entre rocas sedimentarias, de areniscas de grano medio a fino. Este manantial presenta turbidez, y por ello es posible que la población no llega a captarla para consumo.



Fotografía 5. se muestra un manantial polisurgente con caudal de 0.5 l/s.

6.2. Parámetros hidráulicos (ensayos de permeabilidad)

6.2.1. Ensayos de infiltración

De los parámetros hidráulicos de las rocas que rodea Nunupata, se realizó la medida de caudal para cada fuente de agua y ensayos de infiltración en diferentes tipos de litología para medida de permeabilidad.

La variación del caudal en los manantiales del área de Nunupata son mínimos, ya que la mayoría es ligeramente superior a 0 l/s, con excepción de los puntos de control, los cuales representan el canal de Nunupata 49899-001 y el río Huachecsa 49899-003.

Para el cálculo de permeabilidad se realizó 41 ensayos de infiltración los cuales se presenta en la figura 11, estos ensayos servirán para calcular la conductividad hidráulica en cada una de las diferentes litologías que rodean al área de Nunupata.

En el área de estudio la configuración espacial muestra un 60% de afloramientos de rocas entre arenisca cuarzosas, limolitas, lutitas y calizas; todos estos cubiertos por suelo o material Cuaternario, donde se han realizado 41 ensayos de infiltración con el método de Lefranc de carga constante.

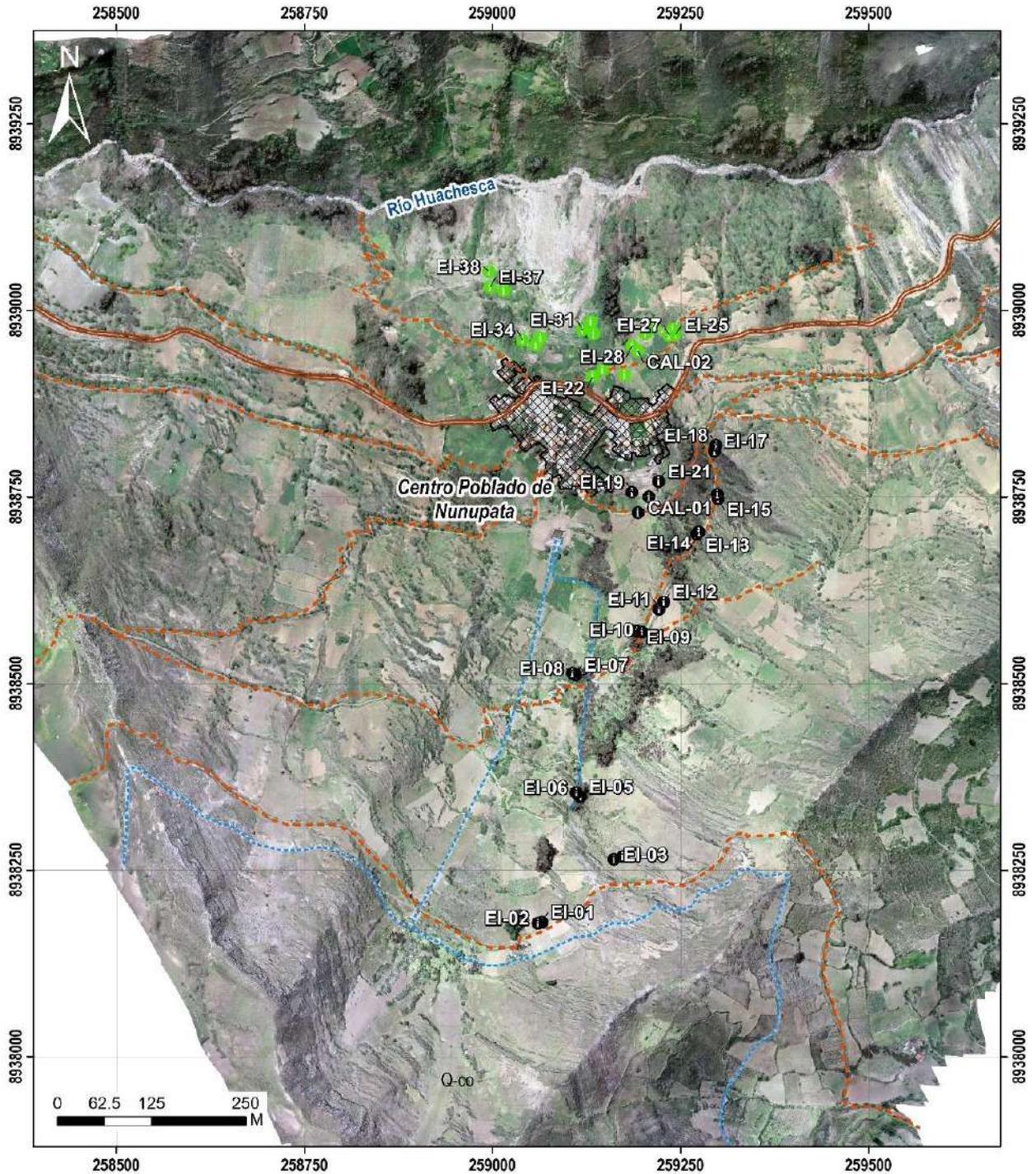


Figura 11. Distribución de los ensayos de infiltración.

La base de datos de ensayos de infiltración, se asociaron en un análisis estadístico y espacial, esto permitió conocer el coeficiente de permeabilidad vertical y superficial de las fracturas de las rocas, se inicia con el análisis y comparación de descensos y la dinámica de estas se representa en gráficos de doble entrada, en ella se puede apreciar algunos descensos anómalos de los ensayos de infiltración (figura 12).

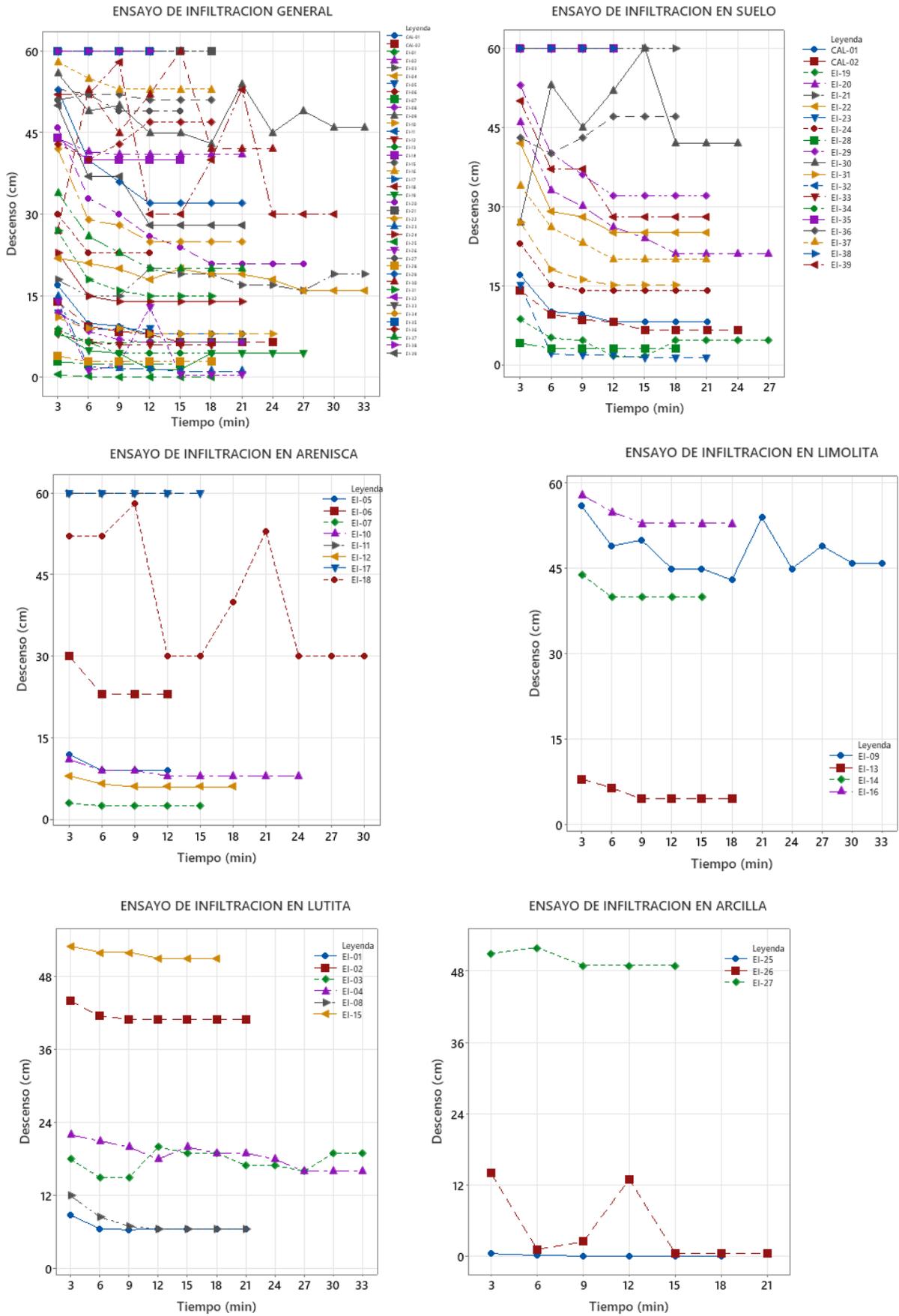


Figura 12. Análisis de descenso con respecto al tiempo de ensayos de infiltración realizadas en el sector de Nunupata.

En Nunupata, el movimiento del agua sucede a través de las rocas, este comportamiento se da por dos factores:

Por medio de los intersticios que se presentan en medios porosos (permeabilidad primaria), común en rocas detríticas, característico de los depósitos no consolidados (figura 13a).

Por los medios fracturados, facilitando el movimiento del agua subterránea, controladas por fallas o estructuras generadas por el sobre escurrimiento existente el mismo que generando una permeabilidad adquirida o secundaria, propia de rocas sedimentarias afectadas por el tectonismo (figura 13b).



Figura 13. a) Ensayo de infiltración en suelo (CAL_01). b) Ensayo de infiltración en arenisca cuarzosa (EI-18).

Los cálculos realizados a los ensayos de infiltración permitieron terminar que la porosidad secundaria es la que da lugar al afloramiento de manantiales en la ladera sur de Nunupata.

En el gráfico 1 se muestra los descensos muestran comportamientos y dinámicas variadas (ENSAYO DE INFILTRACION GENERAL), por ello que se desglosa y se genera 5 gráficos (suelo, arena, limolita, lutita y arcilla) donde cada una de estas litologías muestran anomalía en los descensos.

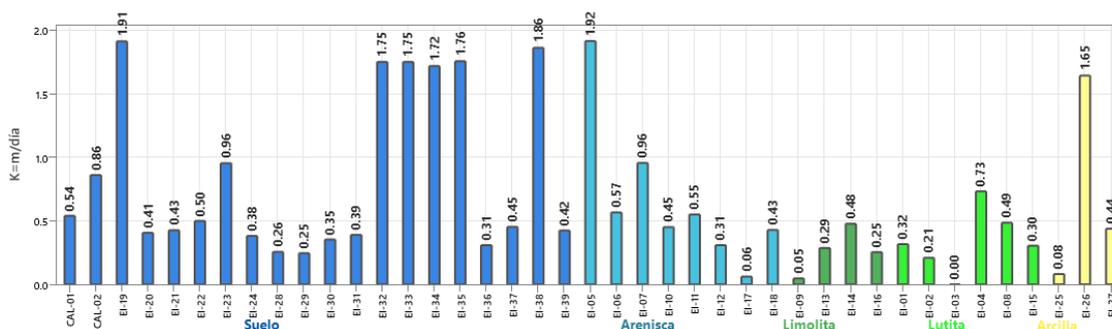


Gráfico 1. Barra de conductividad hidráulica clasificada por litologías.

El cálculo de la conductividad hidráulica se realizó utilizando el software Aqtsolv, resultado de estas se muestra en el (figura 14)

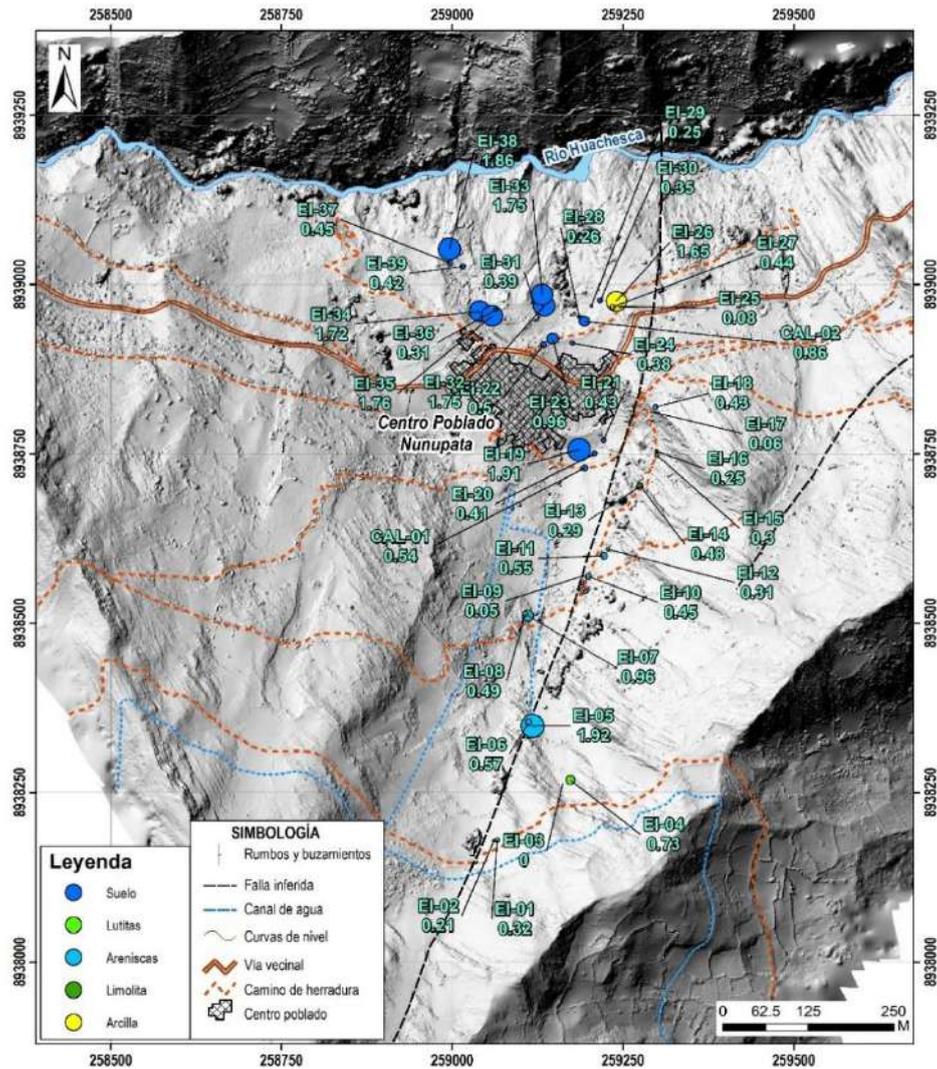


Figura 14. Mapa de conductividad hidráulica a los ensayos de infiltración.

Los resultados de ensayos de infiltración y la geología están muy ligados por sus propiedades de porosidad primaria y permeabilidad, los ensayos de infiltración se han realizado en la Formación Carhuaz y sus diferentes litologías, también en el depósito del deslizamiento y alrededores (figura 15).



Figura 15. Lineamiento de falla.

6.3. Caracterización Hidrogeológica

En este acápite se desarrolla la hidrogeología desde el punto de vista litológico, para ello es importante la identificación de las principales unidades litológicas aflorantes en la zona de estudio, los cuales se describen en el cuadro siguiente:

Cuadro 6. Descripción de las unidades litológicas.

<p>Formación Oyón</p>	<p>Consiste en secuencias de areniscas de grano fino a subgrawacas de coloración pardo amarillentas, grises y gris claras en estratos más gruesos intercalado con limolitas, lutitas gris oscuras en estratos delgados, en la parte superior se intercalan con niveles de carbón bastante irregulares. Los estratos de areniscas constan de una base erosiva de granos gruesos a microconglomeradicas seguido de laminaciones sesgadas, rizaduras de corriente, laminaciones onduladas; mientras que los niveles de limolitas constan de laminaciones horizontales y/o onduladas que en algunos sectores se intercalan con niveles de areniscas de base erosiva con clastos blandos y rizaduras de corriente mientras que los topes están constituidos por laminaciones horizontales en los niveles de carbón; lo descrito nos manifiesta a canales meándricos los que erosionan a los niveles superiores de secuencias anteriormente depositados y que en algunos niveles manifiestan facies de desborde.</p>
<p>Formación Chimú (Ki-chi)</p>	<p>Esta unidad sobreyace en contacto erosivo y/o discordante sobre la Formación Oyón, mientras que su tope infrayace concordante a la Formación Santa. Se observa en corte carretera entre Chavín y Nunupata, fácilmente distinguible por desarrollar potentes barras que resaltan, litológicamente consiste de areniscas de coloración gris blancas que se ordenan en estratos de 1 a 2 m de espesor conformando una base erosiva sobre el que viene areniscas con estratificación sesgada, se componen de areniscas de granos de cuarzo de una granulometría media a gruesa que responden a una sedimentación cruzada e intercalado con niveles de limolitas de coloración gris de laminación horizontal o laminación oblicua de bajo ángulo.</p>
<p>Formación Santa (Ki-sa)</p>	<p>Esta unidad litoestratigráfica yace concordantemente sobre la Formación Chimú y subyace en la misma relación de concordancia debajo de la Formación Carhuaz. Litológicamente, consiste de calizas de color azul grisáceo mayoritariamente wackstone a mudstone en estratos con grosores de 10 cm a 1 m pueden estos presentar concreciones de chert de color gris oscuro a blanco intercalado en diferentes niveles con lutitas de coloración gris, con laminación horizontal; correspondiendo todo este conjunto a la parte media a distal de una rampa carbonatada. Designado como la parte superior de las "lutitas pallares" por Stappenbeck (1929); fue definida por Benavides (1956) en el Callejón de Huaylas. La Formación Carhuaz en su localidad típica está compuesta principalmente de margas brunaceas deleznable, estratificadas en bancos delgados, y de margas areniscosas que alternan juntamente con areniscas claras y yeso de 5 m de espesor; hacia el norte pasan a una secuencia lutácea con intercalaciones de areniscas de matriz rojiza a violácea y lutitas</p>

	carbonosas que contienen restos de plantas fósiles, intercalados con bancos de areniscas en su parte superior.
Formación Carhuaz (Ki-ca)	Litológicamente consisten de limoarcillitas, que se intercalan con estratos de areniscas cuarcíferas en la parte central de la unidad. Las limolitas son principalmente de color gris a gris – verde, este conjunto sedimentario con sus intercalaciones de areniscas y limolitas areniscosas de diferentes colores (gris, rojo, crema, verde) presentan estructuras sedimentarias como base erosiva, estratificaciones cruzadas, rizaduras de corriente y laminaciones horizontales.
Formación Farrat (Ki-fa)	El nombre de esta unidad litoestratigráfica, fue dado por Stappenbeck (1924) para describir una secuencia de cuarcitas que sobreyacen a las limolitas de la Formación Carhuaz en los alrededores de la hacienda Farrat, ubicada sobre la margen izquierda del río San Jorge, en el ángulo noreste del cuadrángulo de Otuzco (Cossio, 1967). Litológicamente consiste de areniscas cuarzosas de coloración blanca, siendo de grano medio a grueso con estratificación oblicua curva, horizontal a rizaduras de corriente hacia la parte superior, se presentan conformando canales que forman bancos medianos. tienen su desarrollo esta unidad en un medio fluvial. Descansar concordantemente sobre la Formación Carhuaz e infrayace de la misma forma bajo la Formación Pariahuanca y su grosor en la zona no supera los 40 m. como lo expuesto en el sector de Chavín de Huántar.
Formación Pariahuanca (Ki-ph)	Esta unidad litoestratigráfica sobreyace concordante sobre la Formación Carhuaz e infrayace a la Formación Chúlec, tiene un espesor aproximado de 20 m. Litológicamente, son estratos medianos, homogéneos, está compuesta por areniscas con laminaciones onduladas y rizaduras de corriente intercalado con delgados intervalos de lutitas con laminación horizontal a laminación ondulada, flaser, ondulada y lenticular.
Formación Chúlec (Ki-chu)	El paso de las areniscas de laminación ondulada a las margas y calizas finamente estratificadas, marca el contacto gradacional entre las formaciones Pariahuanca y Chúlec, mientras que al tope de esta unidad se observa un contacto transicional de concordancia con la suprayacente Formación Pariatambo. Su espesor es regular con un promedio de 60 m. Litológicamente consiste en una sucesión de calizas y margas en estratos de 1 a 4 m de grosor que constituyen barras de calizas packstone a grainstone de coloración gris a gris claro con una variada fauna de cefalópodos gasterópodos, bivalvos, ostras, equinodermos, los que nos sitúan en una plataforma de rampa media distal. Los términos medio a superior de esta unidad litoestratigráfica es afectada por una tectónica sinsedimentaria que ha dado lugar a grandes slumps de dirección promedia al sur-este.

Respecto a estas unidades se desarrolló la cartografiada in situ, así como la perspectiva desde la localidad de al frente como se visualiza en la figura 16

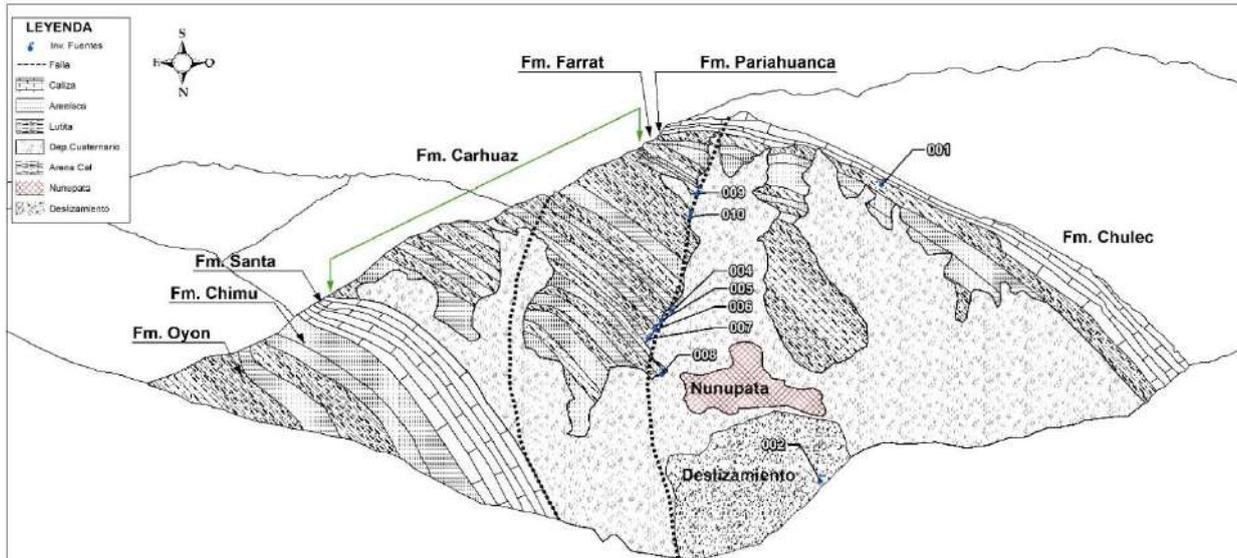


Figura 16. Distribución de los ensayos de infiltración en las unidades litológicas que afloran en Nunupata.

6.3.1. Unidades hidrogeológicas

Las unidades hidrogeológicas según la litología (figura 17) de cada una de las formaciones geológicas se desarrolló el siguiente cuadro de caracterización, tomando en cuenta los resultados de los ensayos de infiltración.

Cuadro 7. Caracterización Hidrogeológica según formaciones

Formación geológica	Litología	Unidad Hidrogeológica
Formación Chúlec (Ki-chu)	Calizas margas	Acuitardo sedimentario
Formación Pariahuanca (Ki-ph)	Areniscas y lutitas	Acuitardo sedimentario
Formación Farrat (Ki-fa)	Areniscas cuarzosas	Acuífero fisurado sedimentario Farrat
Formación Carhuaz (Ki-ca)	Limoarcillitas. Estratos de areniscas cuarcíferas. Areniscas y limolitas areniscosas	Acuitardo sedimentario
Formación Santa (Ki-sa)	Calizas de color azul grisáceo. Lutitas de coloración gris y de fina laminación horizontal	Acuitardo sedimentario
Formación Chimú (Ki-chi)	Consiste de areniscas de coloración gris blancas intercalado con niveles de limolitas	Acuífero fisurado sedimentario chimú
Formación Oyon	Consiste en secuencias de areniscas de grano fino a subgrawacas Intercalado con limolitas. Lutitas gris oscuras en estratos delgados. Niveles de carbón bastante irregulares.	Acuitardo sedimentario

Depósitos cuaternarios	Material coluvio-deluvial y coluvial	Acuífero poroso no consolidado
------------------------	--------------------------------------	--------------------------------

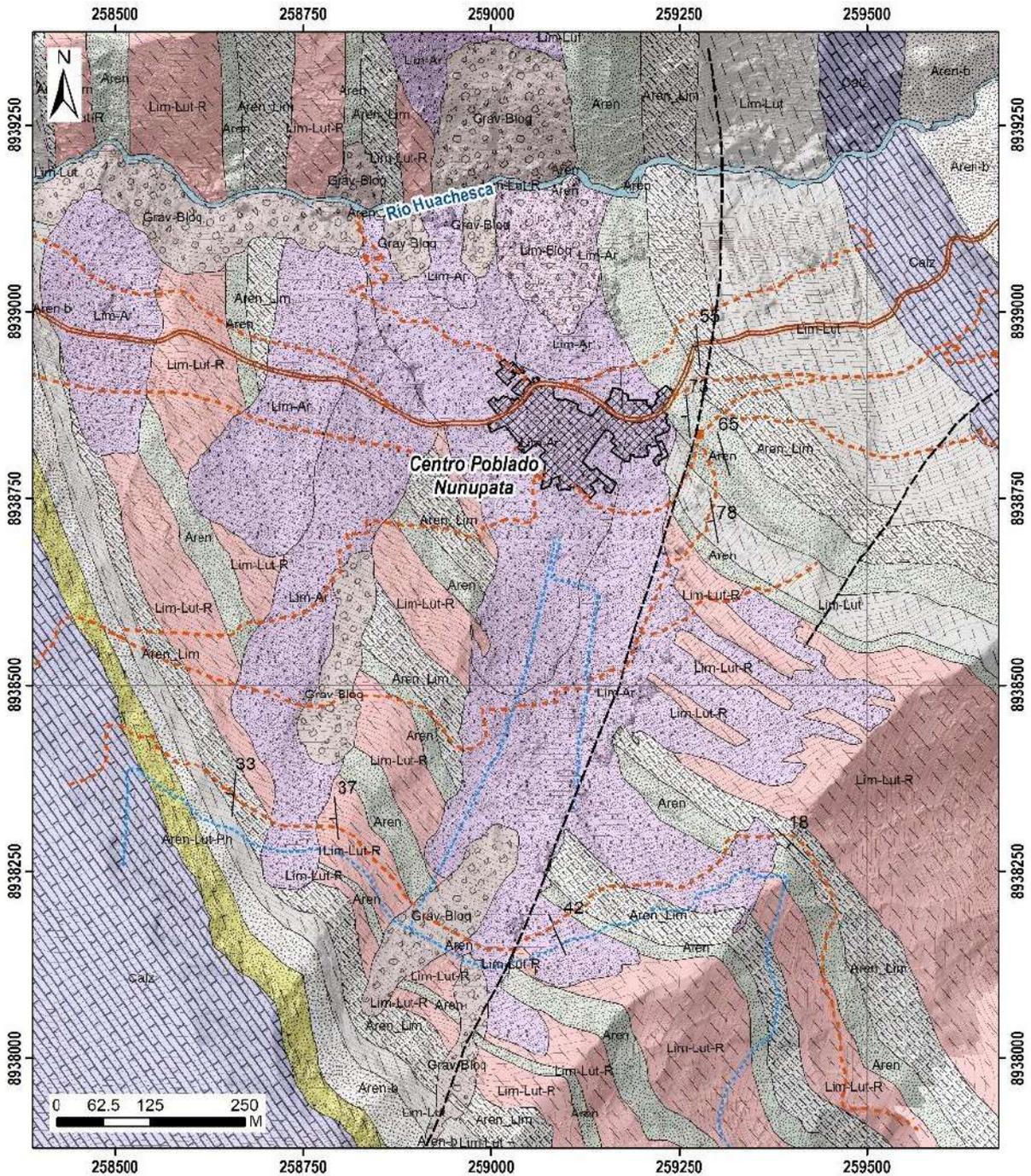


Figura 17. Mapa por litologías del área de estudio.

Es impórtate destacar que por la escala del área de estudio se pudo identificar a detalle los diferentes estratos que conforman las formaciones geológicas, la cual se muestra en el siguiente cuadro:

Cuadro 8. Caracterización Hidrogeológica según litología.

Código de Litología	Litología	Unidad Hidrogeológica
Aren	Areniscas grises de grano fino a medio, intercaladas con delgados estratos de lutitas y limolitas rojas y grises	APNC
Aren-b	Principalmente areniscas cuarzosas blanquecinas de grano fino a medio (fracturado)	AFS
Aren-Lut-Ph	Areniscas calcáreas intercaladas con lutitas grises	ATS
Aren_Lim	Lutitas y limolitas grises y rojas intercaladas con areniscas grises de grano fino	ATS
Calz	Calizas gris oscuras con intercalación de lutitas grises	ATS
Grav-Bloq	Gravas, bloques y arena	APNC
Lim-Ar	Limos arena y grava	APNC
Lim-Bloq	Limos, arcilla y gravas deslizadas	ATS
Lim-Lut	Limolitas y lutitas grises, con algunas intercalaciones de estratos delgados de areniscas grises de grano fino.	ATS
Lim-Lut-R	Limolitas y lutitas rojas con algunas intercalaciones de areniscas grises de grano fino	ATS

6.3.1.1. Acuíferos

En el área de estudio se identificaron dos tipos de acuíferos, el primero denominado acuífero porosos no consolidados y el segundo acuíferos fisurados sedimentarios.

Los acuíferos porosos no consolidados están representados por las unidades de depósitos cuaternarios correspondientes a los depósitos coluviales y coluvio-deluviales, formaciones geológicas que consiste en un conjunto de materiales no consolidados, como arena, grava, limo y arcilla, que permiten el flujo y almacenamiento de agua subterránea. Estos acuíferos se caracterizan por tener una estructura porosa y permeable, lo que significa que los espacios entre las partículas de sedimento actúan como canales para que el agua fluya y se almacene.

Las características clave de un acuífero poroso no consolidado incluyen:

- Porosidad: Los sedimentos no consolidados tienen espacios intersticiales o poros entre las partículas. Estos poros pueden variar en tamaño y forma, lo que influye en la cantidad de agua que puede almacenarse en el acuífero.
- Permeabilidad: La permeabilidad se refiere a la capacidad del acuífero para permitir que el agua fluya a través de él. En los acuíferos porosos no consolidados, la permeabilidad es relativamente alta debido a la presencia de poros interconectados.
- Capacidad de almacenamiento: Debido a la estructura porosa, estos acuíferos tienen una capacidad significativa para almacenar agua. El agua se acumula en los poros y espacios entre partículas, formando una reserva subterránea de agua dulce.

- Recarga y descarga: Los acuíferos porosos no consolidados pueden recibir agua de diferentes fuentes, como la infiltración de la lluvia o el escurrimiento de cuerpos de agua superficiales. El agua almacenada en el acuífero puede ser extraída a través de pozos o manantiales, lo que se conoce como descarga.
- Vulnerabilidad a la contaminación: Dado que el agua puede fluir relativamente rápido a través de estos acuíferos, son más susceptibles a la contaminación. Los contaminantes pueden infiltrarse y moverse rápidamente, afectando la calidad del agua subterránea.
- Variedad de materiales: Los acuíferos porosos no consolidados pueden estar compuestos por una mezcla de materiales, como arena, grava, limo y arcilla. La composición de estos materiales influye en la porosidad y permeabilidad del acuífero.
- Zona no saturada y zona saturada: Un acuífero poroso no consolidado tiene dos zonas: la zona no saturada, donde los poros no están completamente llenos de agua y pueden contener aire, y la zona saturada, donde los poros están llenos de agua.

En general, estos acuíferos son importantes fuentes de agua subterránea utilizadas para abastecer pozos, suministrar agua a la agricultura, la industria y el consumo humano, y también desempeñan un papel crucial en la recarga de ríos y lagos en tiempos de sequía.

En la zona de estudio el Acuífero poroso no consolidado alcanza un espesor aproximado de 35 m, esta unidad por su capacidad de almacenamiento (saturación), a pesar de no tener un gran espesor se encuentra ubicada en una zona de pendientes pronunciadas por lo que se vuelve más vulnerable para el desarrollo de movimiento de masas (figura 18).

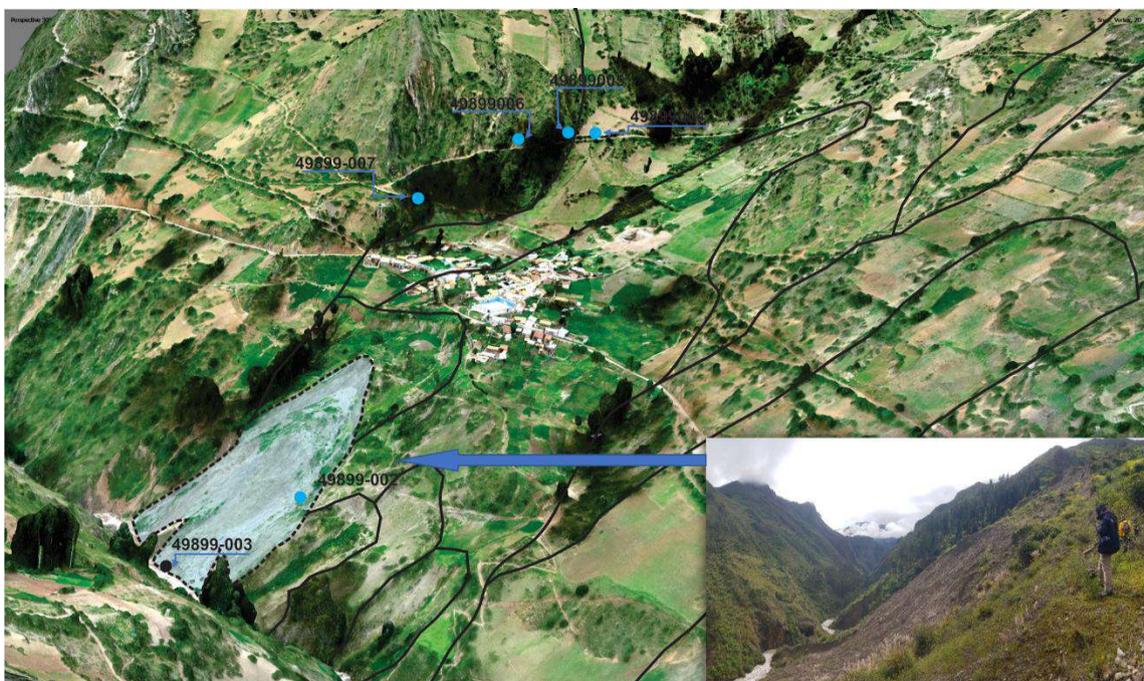


Figura 18. Vista del material removido por el deslizamiento.

Los acuíferos fisurados sedimentarios están representados por las unidades de Chimú y Farrat, presentan estructuras subterráneas que se componen de capas de rocas sedimentarias, como areniscas o calizas, que tienen grietas y fisuras en su interior. A

diferencia de los acuíferos porosos, en los cuales el agua fluye a través de los espacios entre partículas, en un acuífero fisurado el agua se desplaza principalmente a lo largo de las grietas y fisuras presentes en la roca. Estas fracturas actúan como conductos naturales que permiten que el agua subterránea se mueva y sea almacenada. Cuando llueve o hay flujo superficial, parte de esta agua puede infiltrarse en las capas de roca y llenar las fisuras, creando una especie de red subterránea de agua. En la zona de estudio los espesores de estos acuíferos no son predominantes y por el material (litología) de las unidades de su alrededor, en algunos casos debido a la naturaleza de las fisuras, estas pueden estar rellenas con material fino, por lo que estos acuíferos a menudo pueden tener una recarga más lenta y una respuesta más lenta a los cambios en las condiciones de agua que los acuíferos porosos.

6.3.1.2. Acuitardos

Los acuitardos sedimentarios en la zona de estudio están representados por las formaciones Chulec, Pariahuanca y Carhuaz (fotografía 6), cobrando mayor importancia esta última por su gran extensión; considerando que sobre esta unidad hidrogeológica se emplaza en centro poblado de Nunupata. Están compuestas por materiales sedimentarios, como arcillas y limos, de baja permeabilidad según los datos de los ensayos realizados. Esto significa que no permiten un flujo de agua significativo a través de ellos y desempeñan un papel crucial en los sistemas hidrogeológicos al actuar como barreras o confinamientos para el movimiento del agua subterránea.

En contraste con los acuíferos, que son capaces de almacenar y transmitir agua subterránea, los acuitardos tienen una permeabilidad mucho menor. Esto hace que el flujo de agua a través de ellos sea muy lento y generalmente se limita a procesos de difusión. Debido a su baja permeabilidad, los acuitardos tienden a acumular agua y crear presiones de poro, lo que puede afectar la capacidad de los acuíferos adyacentes para transmitir agua.

Los acuitardos sedimentarios pueden desempeñar varios roles importantes en la hidrogeología, como:

Confinamiento de acuíferos: Los acuitardos pueden actuar como capas confinantes sobre acuíferos, impidiendo que el agua fluya libremente entre las formaciones acuíferas.

Protección de la calidad del agua: Debido a su baja permeabilidad, los acuitardos pueden proteger los acuíferos de la infiltración de contaminantes, actuando como una barrera natural que evita la migración de sustancias contaminantes hacia los acuíferos.

Control de presiones de agua: La acumulación de agua en los poros de los acuitardos puede generar presiones intersticiales, lo que afecta la forma en que el agua fluye dentro del sistema hidrogeológico.

Almacenamiento de agua: Aunque no son tan permeables como los acuíferos, los acuitardos todavía pueden almacenar cierta cantidad de agua. En regiones áridas, esta capacidad de almacenamiento puede ser valiosa.

En resumen, los acuitardos sedimentarios son componentes esenciales de los sistemas hidrogeológicos, desempeñando un papel fundamental en la regulación del flujo de agua subterránea y la protección de la calidad del agua.



Fotografía 6. Material fino correspondiente al acuitardo sedimentario de la Formación Carhuaz.

6.3.2. Mapa hidrogeológico

En el mapa hidrogeológico se observa que el centro poblado de Nunupata se encuentra emplazada sobre la unidad hidrogeológica de acuífero poroso no consolidado, lo que nos infiere el peligro al que está expuesto, en ese sentido es necesario realizar un control de los flujos superficiales, tanto de la precipitación, de los manantiales y del agua que se utiliza en la agricultura la cual satura al APNC (mapa 4: anexo 1).

6.3.3. Modelo hidrogeológico conceptual

Para la construcción del modelo hidrogeológico se ha utilizado como base la cartografía del mapa hidrogeológico, en el Software ArcGis10.8.

Para Nunupata se han creado 3 secciones hidrogeológicas (A – A', B – B' y C – C') y están emplazados en modelos hidrogeológicos conceptuales (figura 19, 20 y 21), con el propósito de entender la dinámica del agua subterránea y superficial frente al deslizamiento que se analiza.

La unidad hidrogeológica APNC-cd es donde se emplaza el centro poblado de Nunupata, encima del ATS-ca, esta unidad se caracteriza por presentar una secuencia de lutitas, areniscas y limolitas, en ese orden con cambios litológicos de 10 cm; mientras la unidad APNC-cd se caracteriza litológicamente por contener grava, arena, limo, arcilla, producto de la erosión de las unidades hidrogeológicas suprayacentes, el deslizamiento está compuesta de la mezcla de estas litologías, la cual la denominan como APNC-cl.

Los espesores de las unidades hidrogeológicas han sido calculados desde la columna estratigráfica.

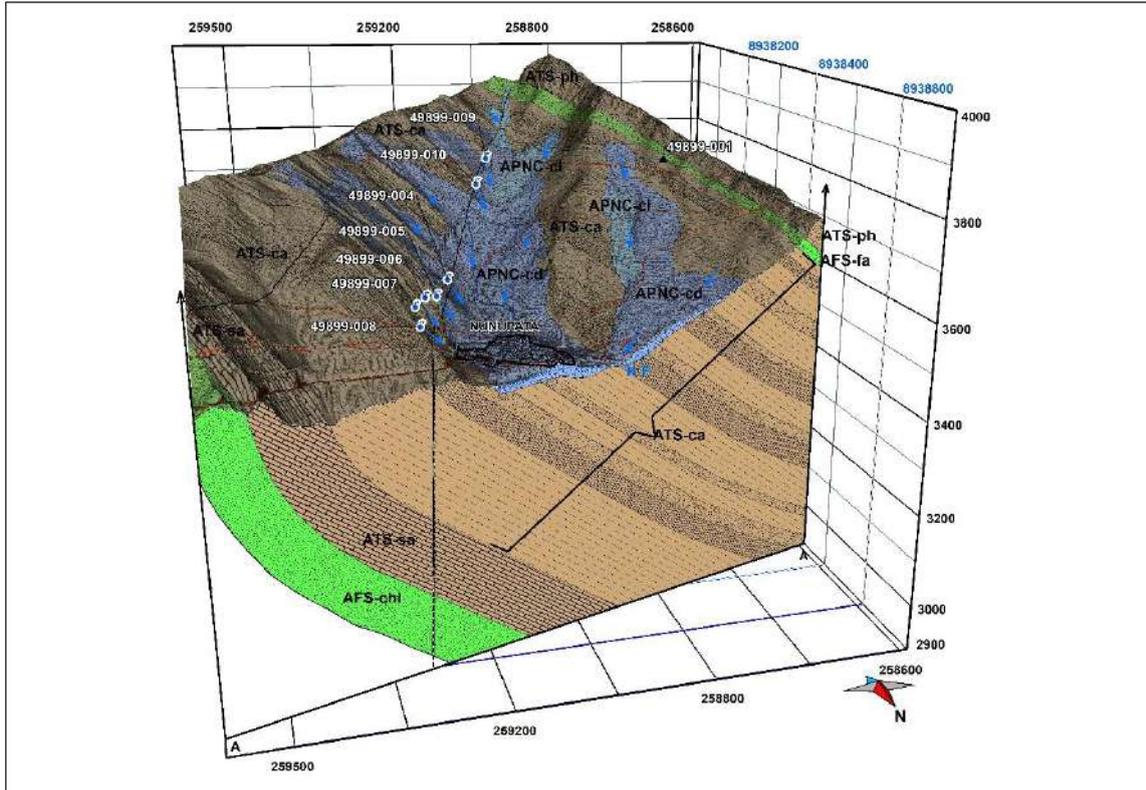


Figura 19. Modelo hidrogeológico conceptual de la sección A – A'.

Cuando el APNC-cd entra en contacto con el agua, esta se sobresatura en los materiales de las arcillas que conforman esta unidad. Estos materiales son los responsables de atrapar y retener el agua. Las limolitas, de manera similar, aunque en menor medida, también contribuyen a esta retención, mientras que las arenas actúan como los conductos por donde circula el agua.

El agua se carga principalmente debido a la precipitación. Cuando entra en contacto con el APNC-cd, este se sobresatura, lo que provoca pequeños movimientos y grietas por donde el agua logra circular (49899-005, 49899-006 y 49899-007). Estos manantiales presentan un caudal considerable durante las épocas de avenida, mientras que durante la temporada de estiaje no presentan flujo de agua.

Los manantiales (49899-008, 49899-009 y 490899-010) son los que aportan con mayor caudal de agua cerca de los APNC-cd, con dirección hacia el deslizamiento principal.

Aguas abajo del deslizamiento, se han identificado indicios de la presencia de flujos de agua. Estos indicios son observados en las cercanías del manantial 498899-002. Los rastros de flujo evidencian un patrón que sigue la dirección de la pendiente y corresponde a flujos que ocurrieron en el pasado.

El flujo de agua superficial está condicionado por la pendiente del terreno, lo cual se muestra en la Figura 21. Las líneas que representan el flujo están indicadas con flechas de color azul. La escorrentía tiene lugar principalmente en el área del APNC-cd, especialmente desde las proximidades del AFS-fa hasta el río Huachecsa. En esta zona, los manantiales (49899-009, 49899-010 y 49899-008) emergen muy cerca de la falla identificada en el campo (Mapa hidrogeológico).

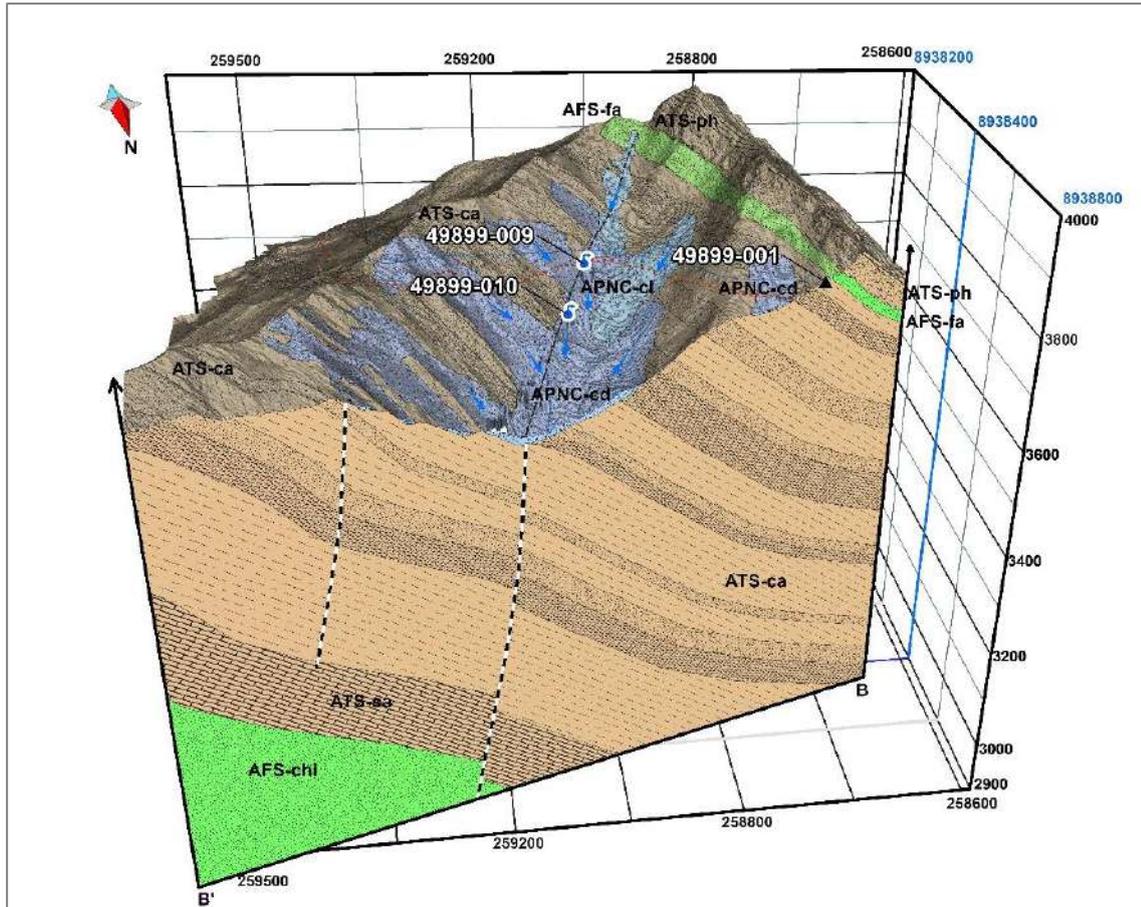


Figura 20. Modelo hidrogeológico conceptual de la sección B – B'.

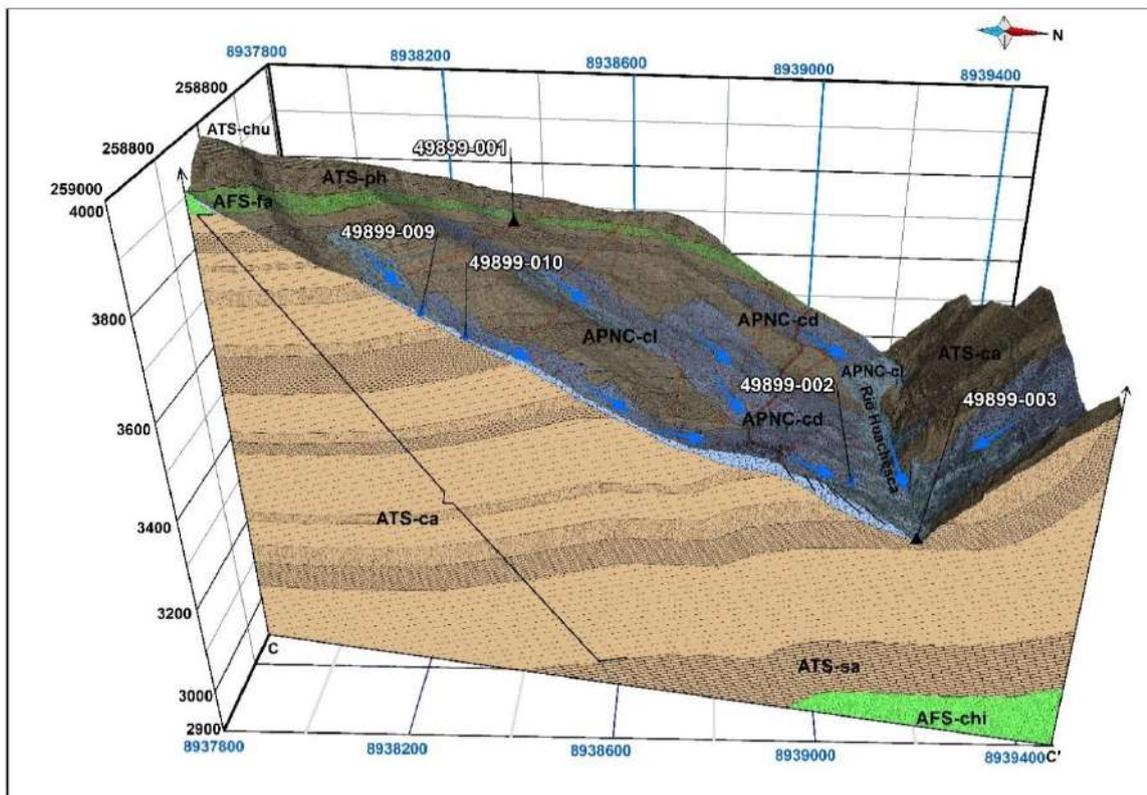


Figura 21. Modelo hidrogeológico conceptual de la sección C - C'.

6.4. Hidroquímica

6.4.1. Metodología

En las 10 fuentes de agua situadas en el sector de Nunupata, dentro de los parámetros fisicoquímicos que se consideró para las medidas in situ fueron: el potencial de hidrogeniones (pH), Conductividad Eléctrica (CE), Sólidos Disueltos Totales (TDS), temperatura (°C), Oxígeno Disuelto (OD). Asimismo, se recolectó 20 muestras durante el verano de 2023 (época de avenida). Todas las muestras fueron filtradas en campo y acidificadas con ácido nítrico (1% v/v) para establecer los elementos trazas. Estos forman el conjunto de datos principales utilizados para derivar condiciones de referencia.

6.4.2. Parámetros Fisicoquímicas

6.4.2.1. Variación de Potencial de Hidrogeniones (pH)

Dicho parámetro se midió in situ en las 10 fuentes en dos tiempos distintos, como se puede observar en el gráfico 2. A partir del cual se podría mencionar que durante el inventario de las 10 fuentes de agua el valor de pH esta fluctuando entre 7.13 (NV 09) y 8.37 (NV 02). Asimismo, durante el monitoreo las 10 fuentes de agua presentaron valores de pH entre 7.32 (NV 09) y 8.44 (NV 01 Canal).

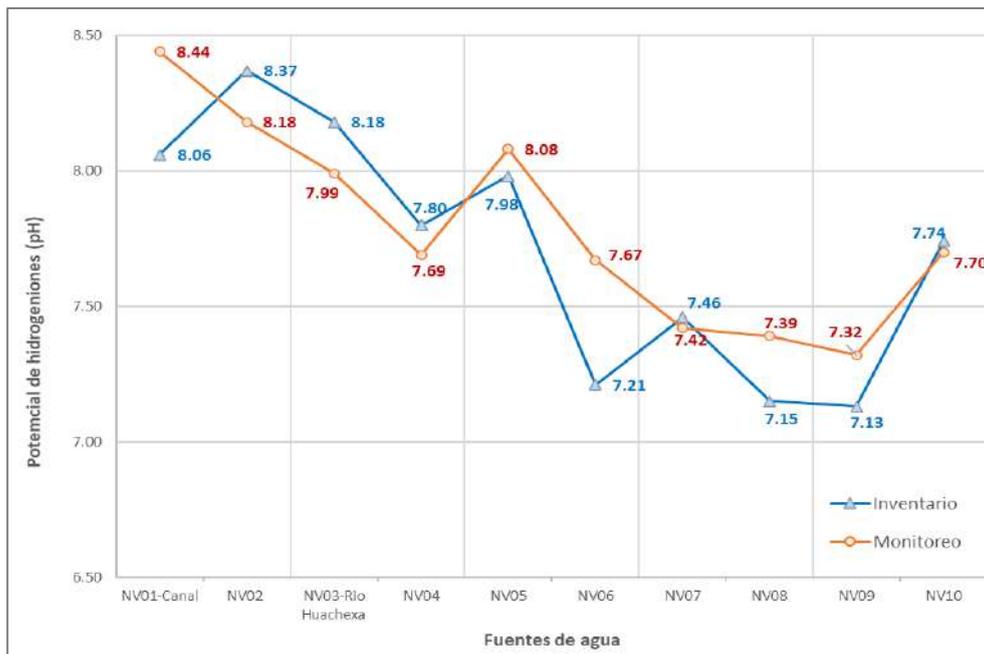


Gráfico 2. Variación de pH en dos tiempos diferentes.

6.4.2.2. Variación de Conductividad Eléctrica (CE)

La conductividad eléctrica se midió in situ en las 10 fuentes en dos tiempos distintos, como se puede observar en el Gráfico 3. A partir del cual se podría mencionar que durante el inventario de las 10 fuentes de agua el valor de Cnd esta fluctuando entre 84.38 (NV 03) hasta 729.20

(NV 05). Asimismo, durante el monitoreo las 10 fuentes de agua presentaron valores de Cnd entre 71.92 (NV 01-Canal) hasta 710.70 (NV 04).

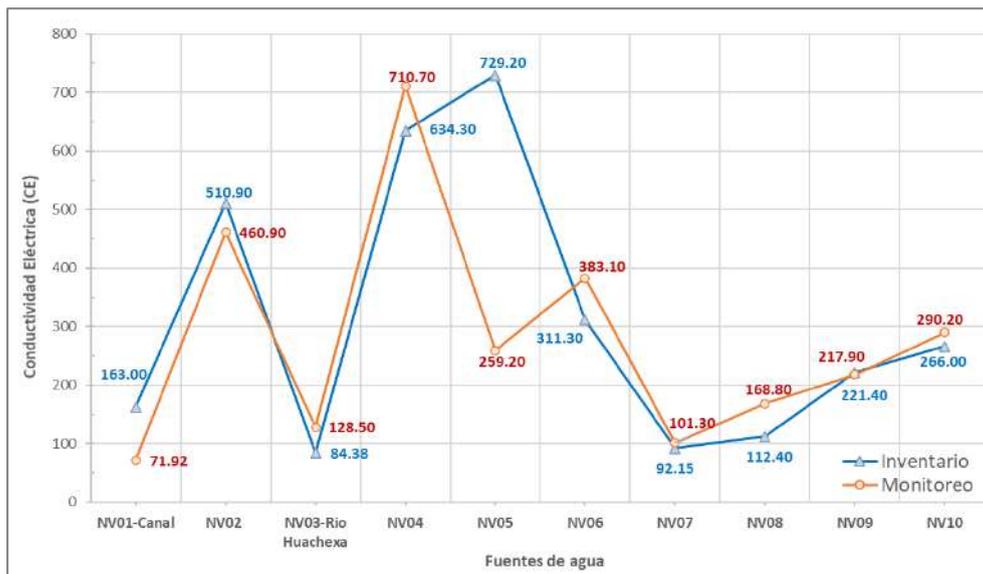


Gráfico 3. Variación de Cnd en dos tiempos diferentes.

6.4.2.3. Sólidos Disueltos Totales (TDS)

Los Sólidos Disueltos Totales se originan por la disolución o meteorización de las rocas y suelos, incluida la disolución de limos, yeso y otros minerales del suelo que se disuelven lentamente.

Los sólidos disueltos totales (TDS) observados para esta área en el primer registro presenta valores entre 41.9 mg/L (NV03) y 357.8 mg/L (NV05), y para el monitoreo las medidas presentaban un valor desde 35.9 mg/L (NV01) a 348.7 mg/L (NV04).

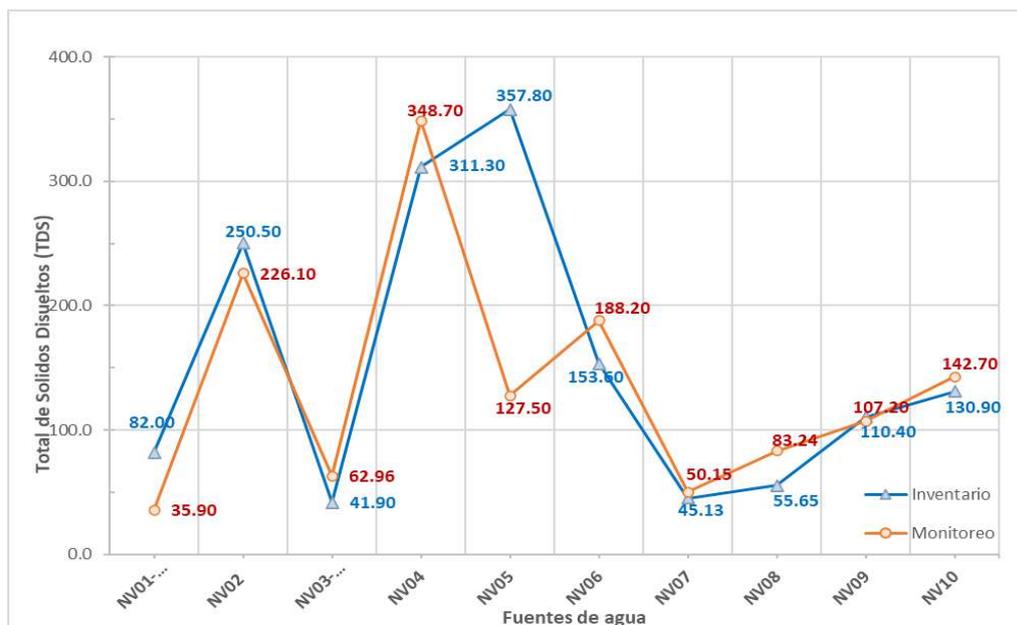


Gráfico 4. Variación de TDS en dos tiempos diferentes.

Generalmente, los valores altos de TDS causan irritación gastrointestinal a los seres humanos y la ingesta prolongada de agua con el TDS más alto también puede causar cálculos renales y enfermedades del corazón (Garg et al., 2009).

6.4.2.4. Temperatura

Respecto a este parámetro los valores registrados en los dos registros tanto inventario como monitoreo, presentan valores correspondientes a fuentes de agua fría los cuales no sobrepasan los valores de la temperatura ambiente.

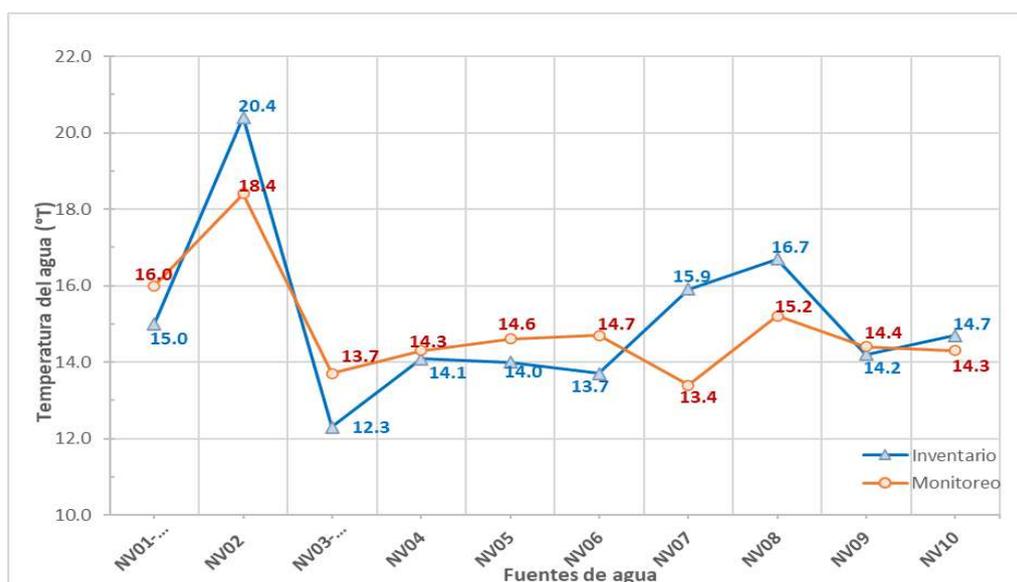


Gráfico 5. Variación de °T en dos tiempos diferentes.

6.4.3. Clasificación de las aguas subterráneas

6.4.3.1. Facies hidroquímicas

En la zona de estudio se desarrolló el muestreo de las fuentes inventariadas y en su monitoreo con un total de 20 muestras, de los cuales se obtuvo el resultado del análisis dando una evolución química siguiente:

Con el apoyo de las gráficas de Stiff y Pipes se distinguieron las aguas subterráneas del centro poblado Nunupata las que muestran aguas de tipo Bicarbonatada Cálcica Magnésica (HCO_3 SO_4 - Ca Mg) a Sulfatada Bicarbonatada Cálcica Magnésica (SO_4 HCO_3 - Ca Mg).

Como se muestra en el diagrama de Piper en la Gráfico 6, se identificaron tres grupos predominantes las Bicarbonatada Cálcica, Bicarbonatada Magnésica y Sulfatada Cálcica las mismas que son coherentes con los resultados de los diagramas de Stiff Gráfico 7 Diagramas de stiff.

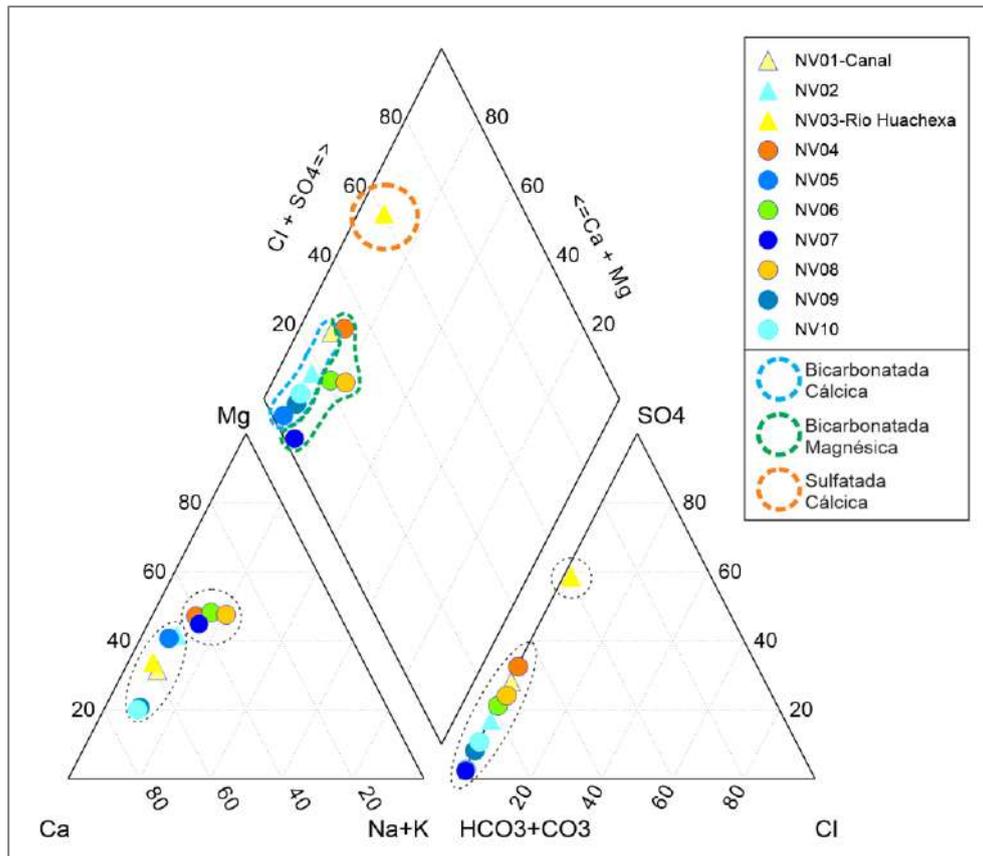
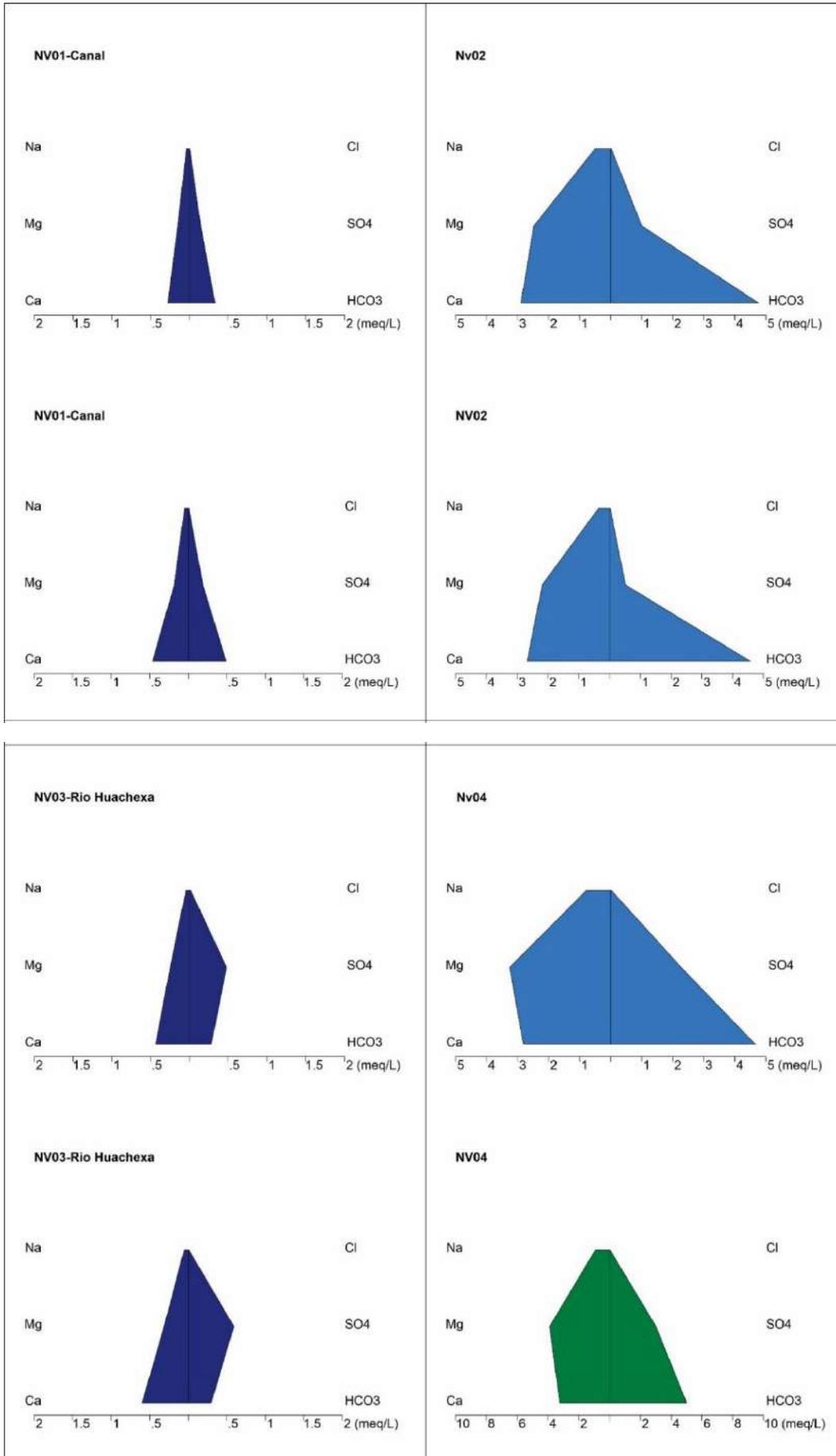
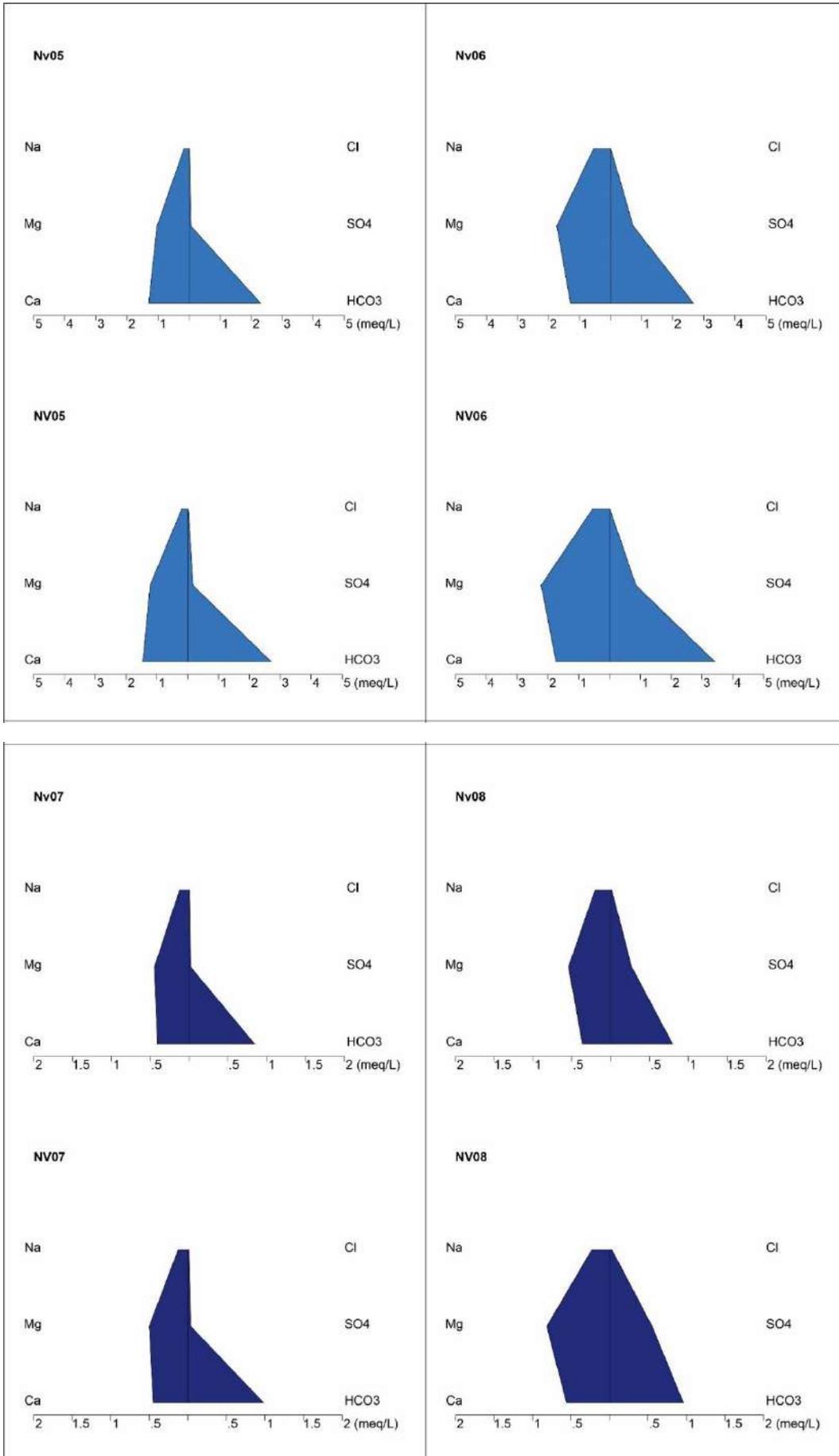


Gráfico 6. Diagrama de piper

Como se aprecia en el gráfico 6 la muestra NV03 correspondiente al río Huachecsa es la que pertenece a la familia de las sulfatadas cálcica ya que esta agua viene del agua arriba está presente diferente composición a las fuentes o manantiales que fueron tomados en la misma localidad.

También en los resultados químicos la fuente NV08 (49899-008) presenta concentraciones de Nitratos considerables, por lo que la fuente sería del tipo Bicarbonatada Nítrica Magnésica Cálctica ($\text{HCO}_3 \text{ NO}_3 - \text{Mg Ca}$), esto indicaría que sus aguas podrían tener en algún momento de su recorrido contacto con aguas de origen agrícola, tal vez por su cercanía a zonas agrícola del sector.





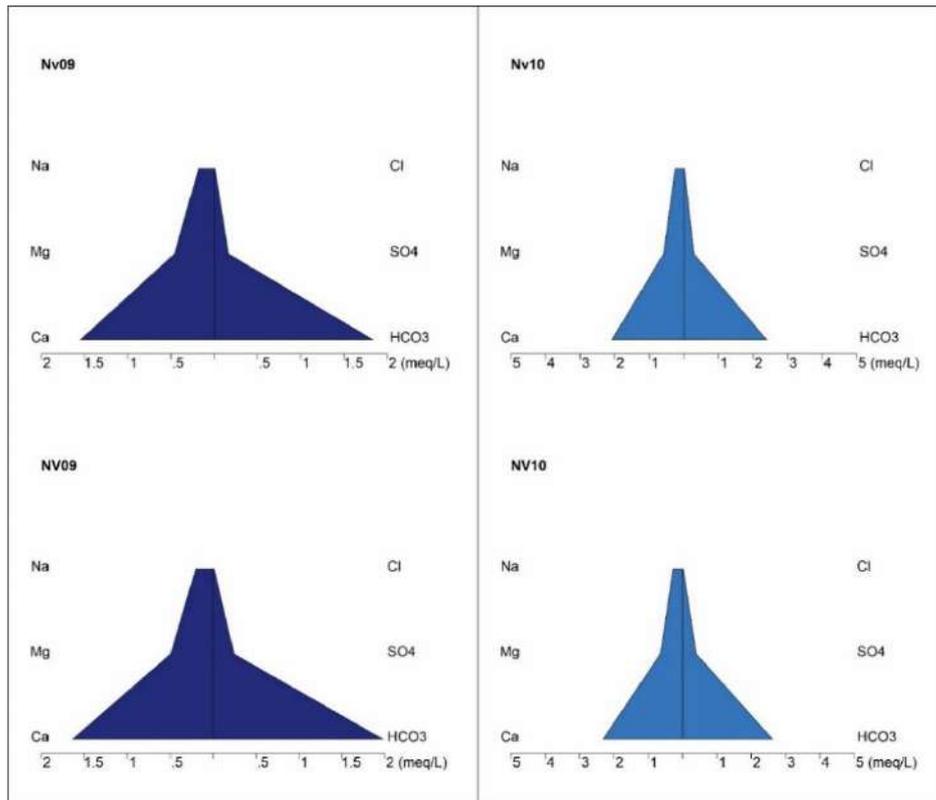


Gráfico 7. Diagrama de stiff.

La evolución del agua en el sector de Nunupata obtenido de las gráficas es:

Cuadro 9. Caracterización Hidro química de las aguas.

Código	Nombre	Este	Norte	Cota	
49899-001	NV01-Canal	258599	8938388	3909	Bicarbonatada Cálcica
49899-002	NV02	259034	8939041	3411	Bicarbonatada Cálcica
49899-003	NV03-Rio Huachecsa	259076	8939150	3323	Sulfatada Cálcica
49899-004	NV04	259209	8938572	3631	Bicarbonatada Magnésica
49899-005	NV05	259241	8938643	3629	Bicarbonatada Cálcica
49899-006	NV06	259262	8938680	3649	Bicarbonatada Magnésica
49899-007	NV07	259278	8938718	3633	Bicarbonatada Magnésica
49899-008	NV08	259286	8938822	3559	Bicarbonatada Magnésica
49899-009	NV09	259053	8938188	3885	Bicarbonatada Cálcica
49899-010	NV10	259096	8938287	3840	Bicarbonatada Cálcica
Monitoreo					
49899-001	NV01-Canal	258599	8938388	3909	Bicarbonatada Cálcica
49899-002	NV02	259034	8939041	3411	Bicarbonatada Cálcica
49899-003	NV03-Rio Huachecsa	259076	8939150	3323	Sulfatada Cálcica
49899-004	NV04	259209	8938572	3631	Bicarbonatada Magnésica
49899-005	NV05	259241	8938643	3629	Bicarbonatada Cálcica
49899-006	NV06	259262	8938680	3649	Bicarbonatada Magnésica
49899-007	NV07	259278	8938718	3633	Bicarbonatada Magnésica
49899-008	NV08	259886	8938822	3559	Bicarbonatada Magnésica
49899-009	NV09	259053	8938188	3885	Bicarbonatada Cálcica
49899-010	NV10	259096	8938287	3840	Bicarbonatada Cálcica

7. INVESTIGACIONES GEOFISICAS

7.1. Prospección geofísica

7.1.1. Métodos geofísicos

Estos métodos son considerados, métodos indirectos, por ser adquiridos desde la superficie, mediante fuentes externas (transmisión de corriente eléctrica y generar ondas superficiales mediante una comba), además son métodos no destructivos al paisaje ni al suelo.

7.1.1.1. Tomografía eléctrica

La tomografía eléctrica se caracteriza por determinar las variaciones de los parámetros físicos (Resistividad), de las rocas y el suelo; cuando las rocas son erosionadas, o agrietadas, presentan en medio de resistividades altas, una anomalía de resistividades bajas, en los suelos cuando son secos, se obtienen resistividades altas, pero cuando hay presencia de humedad, estas resistividades bajan (mayor conductividad).

Los arreglos Dipolo-Dipolo, Polo-Dipolo, son muy utilizados para tener buena información del subsuelo, muestra dos arreglos, y a su derecha, muestra la profundidad estimada de cada punto medido. Para este ensayo se utiliza el Resistímetro Syscal Pro (Iris)

7.1.1.2. Refracción sísmica

Dentro de los métodos sísmicos, la refracción sísmica se caracteriza por ser una técnica activa, la cual requiere una fuente activa que genere un tren de ondas, para este caso se utilizó una comba de 18 libras y 24 geófonos. Para este ensayo se utiliza el Sismógrafo GEODE 24 canales.

7.2. Adquisición de datos

Para los estudios de prospección geofísica en el centro poblado de Nunupata se realizaron 10 líneas de tomografía eléctrica, con dipolos de 40 m (cuadro 10); muestra las coordenadas de inicio y fin de las líneas de tomografía eléctrica (TE) y refracción sísmica (RS), en el sistema UTM 18S.

Cuadro 10. Coordenadas de líneas de tomografía eléctrica (TE) y refracción sísmica (RS), en el sistema UTM 18S, de las 3 área de estudio.

NUNUPATA					
Este	Norte	Cota	Progresiva	Líneas	Método
259354.498	8938966.309	3254.389	0	L01	TE
258914.346	8938850.865	3261.951	480	L01	TE
259319.968	8938887.976	3313.836	0	L02	TE
258978.401	8938707.881	3339.273	480	L02	TE
259259.940	8938555.223	3432.585	0	L03	TE
258838.208	8938651.000	3437.733	480	L03	TE
259249.562	8938477.928	3480.530	0	L04	TE
258836.612	8938557.164	3499.026	480	L04	TE
259287.247	8938233.980	3673.014	0	L05	TE
258857.737	8938327.384	3647.404	480	L05	TE

258872.000	8938168.000	3697.531	0	L06	TE
259057.000	8938537.000	3427.585	480	L06	TE
258814.987	8938298.454	3683.433	0	L07	TE
258879.836	8938683.684	3393.808	480	L07	TE
259210.611	8938232.385	3652.774	0	L08	TE
259139.171	8938569.056	3376.624	480	L08	TE
259044.043	8938711.620	3317.847	0	L09	TE
259430.404	8938893.106	3318.367	480	L09	TE
259367.774	8939071.283	3164.766	0	L10	TE
258988.780	8938853.664	3264.441	480	L10	TE
259240.230	8938955.000	3433.508	0	L11	TE
259092.570	8938901.900	3438.808	80	L11	TE
259235.362	8938810.097	3506.642	0	L12	TE
259145.042	8938784.515	3443.482	110	L12	TE
259211.763	8938774.098	3490.000	0	RS01	RS
259120.160	8938807.950	3488.000	115	RS01	RS
259376.810	8938974.500	3454.000	0	RS02	RS
259016.640	8938858.490	3475.000	450	RS02	RS

Las líneas L1 al L10, tuvieron un dipolo de 40 m, una longitud total de 480 m y una profundidad de investigación de 120 m. Además, se realizó 2 líneas de refracción sísmica, con separación de 5 m entre geófonos y 40 m de profundidad efectiva de investigación.

En la figura 22, se muestra la localización de las líneas geofísicas trazadas en el centro poblado de Nunupata, así mismo de color amarillo, se muestran los puntos de surgencias de agua.

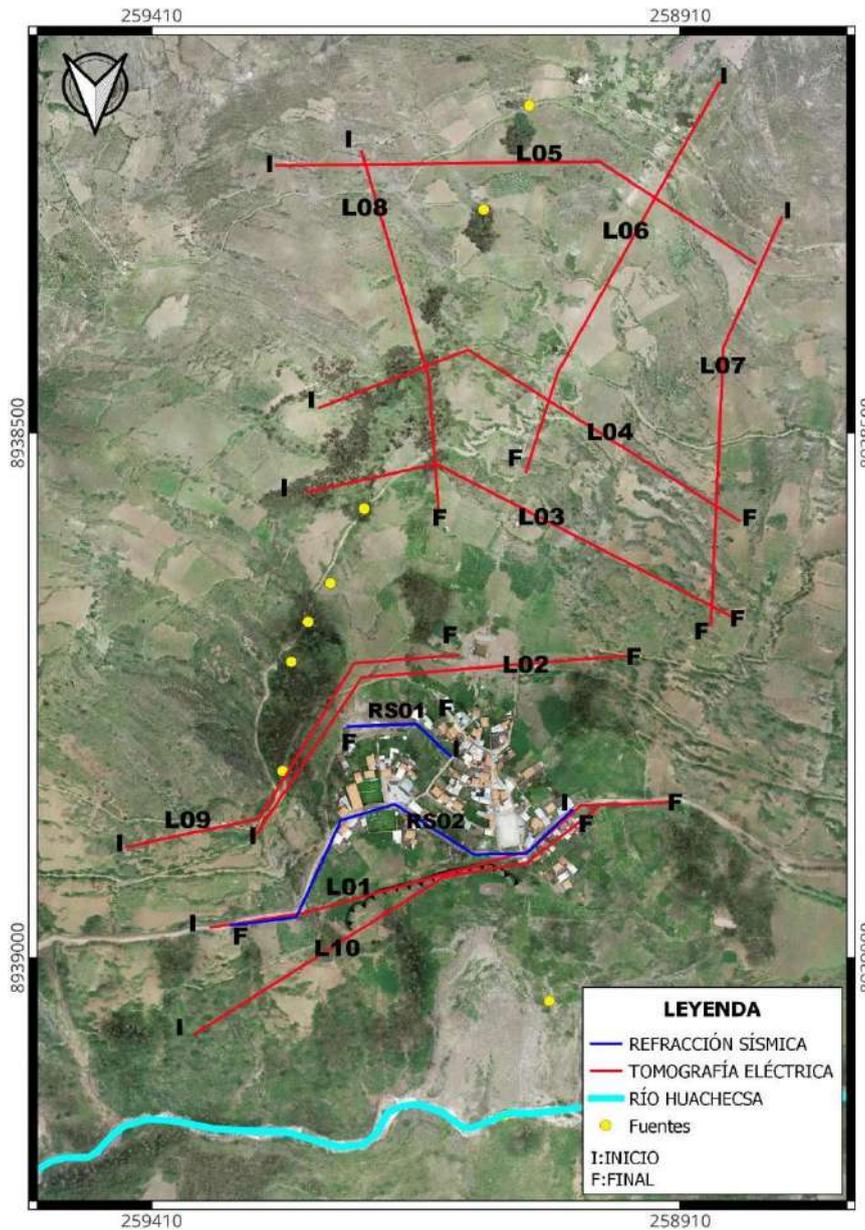


Figura 22. Localización de líneas geofísicas, de color rojo, las líneas de tomografía eléctrica y de color azul las líneas de refracción sísmica, de color amarillo fuentes de agua.

7.2.1. Procesamiento de datos

Los datos adquiridos en campo (Tomografía eléctrica y refracción Sísmica), fueron procesados siguiendo algunos puntos importantes, como: Control de calidad en campo, Control de calidad de gabinete, inversión de datos (Tomografía eléctrica y refracción sísmica) y presentación de secciones.

La información de tomografía eléctrica, fue invertida en el software, RES2DINV, con conocimientos de la geología local y valores resistivos del medio; como resultado de esta inversión de los valores de pseudo resistivos, se obtienen secciones con resistividades (Ohm*m) reales, donde se puede hacer la interpretación correspondiente.

La información de refracción sísmica, es picado (primero arribos) e invertido en el paquete de softwares SEISIMAGER (Pickwin, PlotRefa), donde se obtiene secciones con velocidades de la onda P (m/s).

7.3. Resultados e interpretación

7.3.1. Tomografía eléctrica

Las secciones invertidas de tomografía eléctrica, muestran resistividades que varían desde los 10 Ohm*m hasta mayores de los 8000 Ohm*m (figura 23), las resistividades próximas a los 10 Ohm*m, indican que es un material asociado al contenido de humedad, una zona intermedia entre los 100 y 400 Ohm*m, asociado a un material erosionado y con poco contenido de humedad. Finalmente, las resistividades mayores a los 8000 Ohm*m, estarían asociados a un material duro, de acuerdo a la geología local, es posible la presencia de la Formación Carhuaz (areniscas cuarzosas).



Figura 23. Barra de colores de resistividad, que varía desde los 10 hasta 8000 Ohm*m (Azulino a rojizo).

Las secciones, L01, L02, L03, L04 y L05, se realizaron transversalmente al pueblo de Nunupata, la línea L01 que se encuentra entre la corona del deslizamiento y el pueblo, la L02 se encuentra por encima del pueblo y las líneas L03, L04 y L05 quebrada arriba del pueblo de Nunupata (figura 24A).

Estas secciones, muestran que la zona A, contiene resistividades mayores a los 3000 Ohm*m, mostrándose en la parte inferior y parte final de las secciones, lo que nos infiere que, desde el pueblo hasta la parte alta, la presencia de la Formación Carhuaz, hacia el inicio de las líneas estas resistividades van profundizándose.

La zona B, se encuentra por encima de la zona A, aun en profundidad, esta zona muestra una roca fracturada, erosionado, de transición de la parte húmeda y la impermeable; tienen una inclinación hacia el inicio de la línea (Este), ayudando a que las infiltraciones de las chacras y lluvias, sean direccionadas al Este.

La zona C, muestra resistividades bajas, menores a los 10 Ohm*m, son materiales con presencia de humedad, posiblemente asociados a depósitos cuaternarios, entre las progresivas 50 a 300 m, contienen estos valores, en las 5 líneas, la L01, que está sobre la escarpa, muestra un material con contenido de humedad, que facilitó el deslizamiento, las L02, que está por detrás del centro poblado de Nunupata, tiene mayor presencia de infiltración de agua, este podría ser una fuente importante de aporte para el desarrollo del deslizamiento.

Cabe precisar, que desde la parte alta en dirección al centro poblado de Nunupata, la infiltración tiene una dirección hacia el Norte, las progresivas de 100 a 200 m de todas las secciones, contienen resistividades bajas y de gran espesor, dando a entender un flujo hacia el Norte.

En la figura 24 B, al lado derecho, se muestran las secciones, de color azul y rojo, esto nos indica que la coloración azul, es un material de relleno, cuaternario, que facilita la infiltración de agua, como se marca con líneas discontinuas, las zonas de coloración rojiza, nos indican resistividades altas, siendo posiblemente parte de la roca, con presencia de areniscas, calizas, que están fracturados en algunos lugares, facilitando también la infiltración de agua.

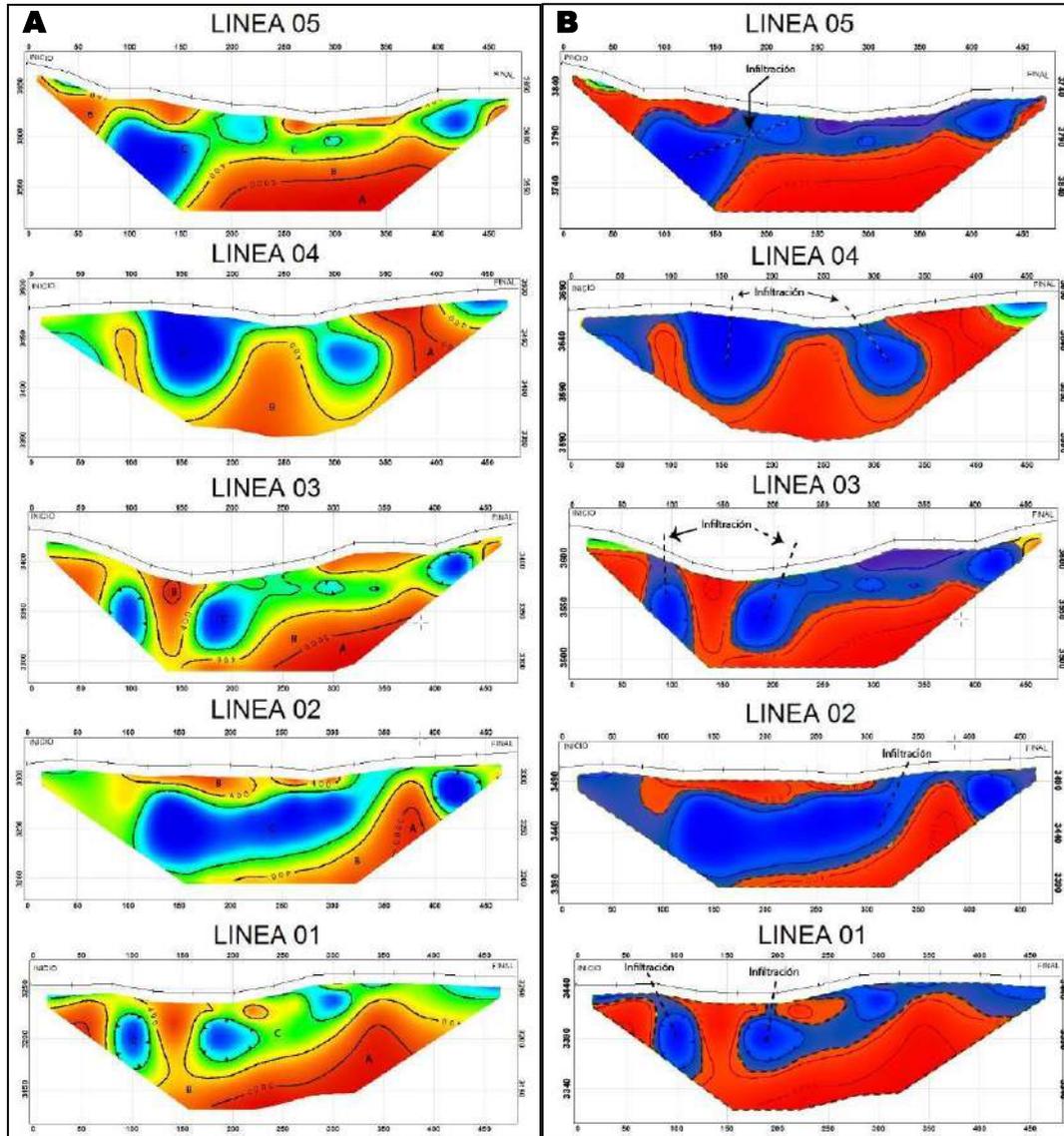


Figura 24. Secciones invertidas de tomografía eléctricas, L01, L02, L03, L04, L05 y Secciones zonificadas de acuerdo a su resistividad.

La línea L10, (Figura 25A) se realizó con dirección NE a SW, cruzando parte de la escarpa principal del deslizamiento activo, la zona A (mayores a 3000 Ohm*m), se encuentra presente al inicio de la línea, donde aflora la roca caliza, por eso nos da valores muy altos, la zona B, está presente en profundidad y parte central de la sección, como un material alterado, o afectado por las infiltraciones de agua y la zona C, está presente a lo largo de toda la sección, indicando que hay la presencia de infiltraciones en diferentes direcciones.

La escarpa principal está presente entre las progresivas 200 y 300 m aproximadamente, de acuerdo a la coloración azul, indicando la existencia de filtraciones.

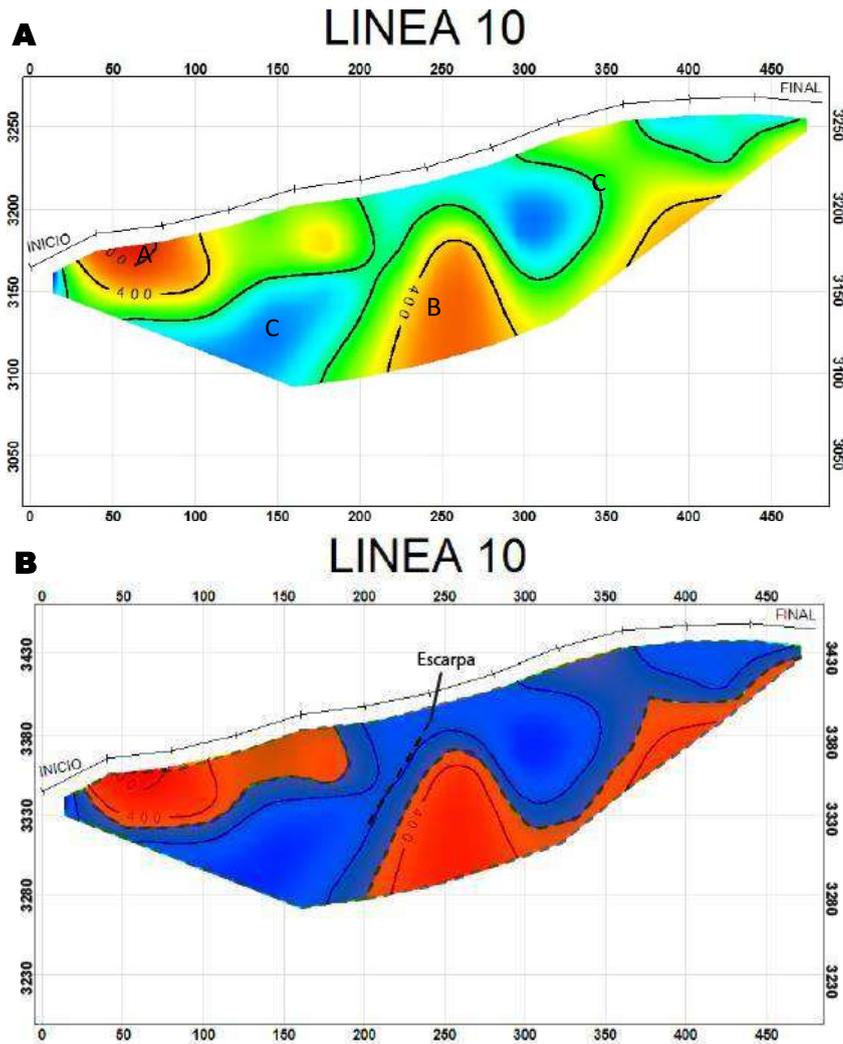


Figura 25. Sección invertida de tomografía eléctricas, L10, NE-SW.

Las secciones longitudinales, L06, L07 y L08, (figura 26), muestran que la zona A, están al final de la línea y en profundidad, con resistividades mayores a los 3000 Ohm*m, que son los materiales que afloran en la zona, parte de la Formación Carhuaz, la L06, se realizó paralelo al canal entubado que se tiene en la zona, se analiza que las infiltraciones se acumulan en la parte central de esta línea, la L07, se realizó sobre el afloramiento, al lado izquierdo en dirección al Norte, esta sección muestra resistividades altas (Zona A) en general, con presencia de un material intermedio o de transición de resistividades intermedias (Zona B), puntualmente las resistividades bajas (Zona C), se localizan al inicio de la línea.

La sección L08, se realizó al lado derecho, donde muestra en general resistividades menores a los 400 Ohm*m (Zona B).

De acuerdo a la clasificación de color azul, esta zona es ocasionado por infiltraciones, como se muestra en la figura 26b, la coloración rojiza, es un indicar que existe materiales con poca humedad, siendo posiblemente la roca de las formaciones existentes en la zona.

La vista 3D, figura 27, se hicieron las interpolaciones, generaron un contacto, entre resistividades altas, mayores a los 3000 Ohm*m y resistividades menores a los 200 Ohm*m.

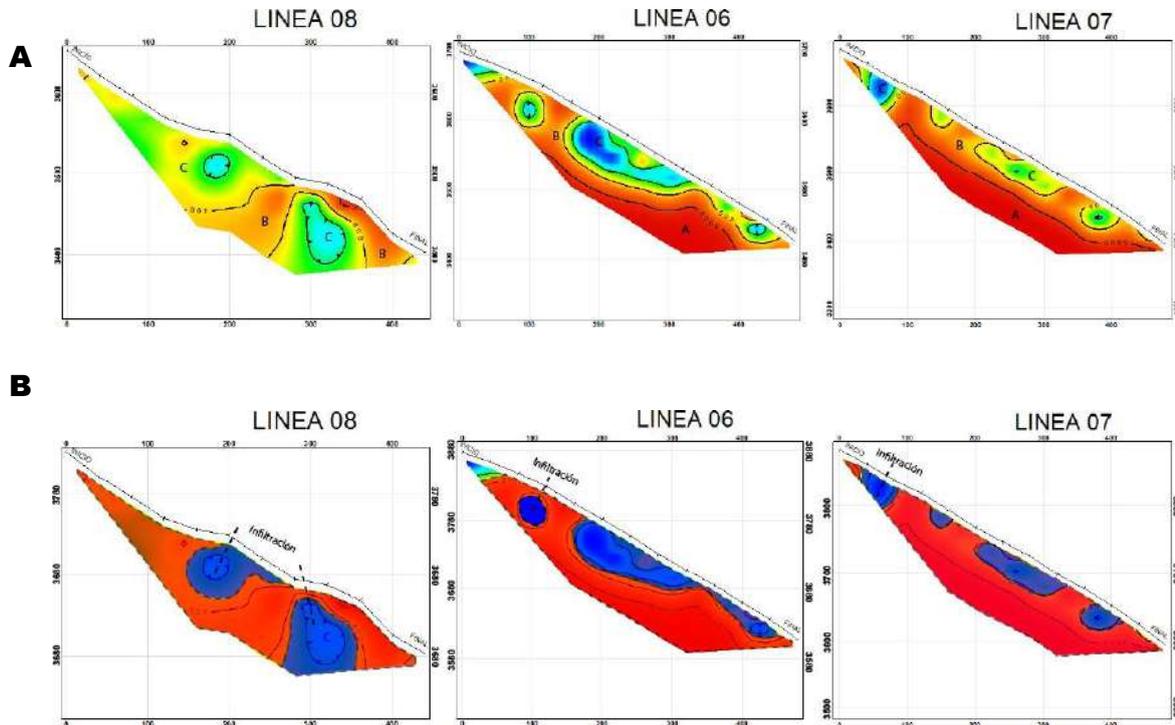


Figura 26. Secciones longitudinales invertidas de tomografía eléctrica, L06, L07 y L08

VISTA 3D

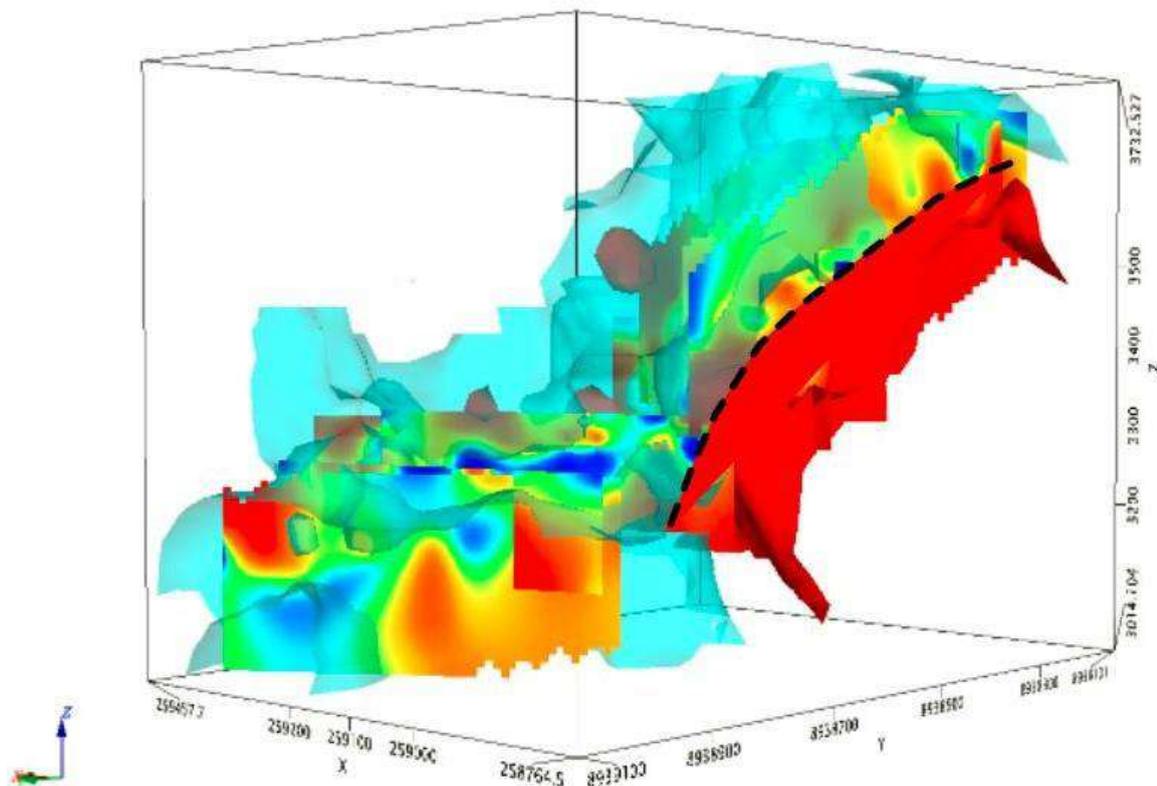


Figura 27. Vista 3D, de secciones en el pueblo de Nunupata.

7.3.2. Refracción Sísmica

Las secciones sísmicas, se realizaron en el poblado de Nunupata, para conocer el comportamiento de los primeros 40 m de profundidad.

La figura 28, muestra la barra de colores de velocidades de la onda P (m/s), que contiene valores desde mayores a los 400 m/s hasta los 2500 m/s, estos valores representan el nivel de compacidad del subsuelo, las velocidades de 400 m/s, muestran que estamos en un material muy poco consolidado, suelto, porque no permite fluir fácilmente la velocidad de la onda y las velocidades de 2500 m/s, muestran que es un material medianamente consolidado, que posiblemente tenga la presencia de humedad.

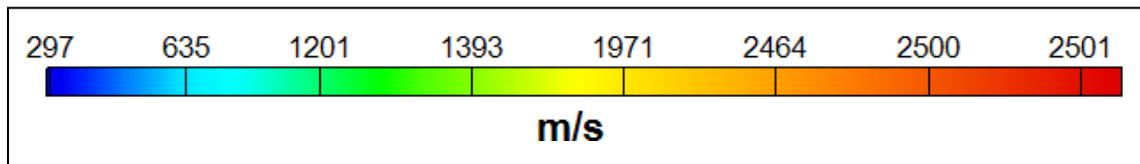


Figura 28. Barra de colores, de la velocidad de la onda P (m/s).

La sección RS01, (figura 29), se realizó, detrás del pueblo de Nunupata, la coloración azulina, representa velocidades menores a los 800 m/s, superficialmente, en profundidad presenta velocidades menores a los 1500 m/s, esto muestra que, en los primeros 40 m, el material es muy poco consolidado y contiene presencia de humedad, por las bajas velocidades que presenta, esta sección se correlaciona con la L02 (tomografía eléctrica), ambas secciones muestran superficialmente que existe la presencia de humedad.

La sección RS02, se realizó, por la carretera que cruza el pueblo de Nunupata, de oeste a este (W-E), entre las progresivas 0 a 250 m aproximadamente, se encuentra el pueblo de Nunupata, entre estas progresivas, las velocidades de la onda P menores a los 800 m/s, es un suelo suelto, poco consolidado, la segunda capa, velocidades menores a los 2000 m/s, un material medianamente consolidado, con presencia de humedad y última capa, con velocidades hasta los 2500 m/s, un medio medianamente consolidado pero a los 40 m de profundidad de investigación; en general esta sección, presenta velocidades bajas, que son representativas de materiales con presencia de humedad entre sus poros, correlacionando esto a las líneas que se realizaron sobre la corona del deslizamiento

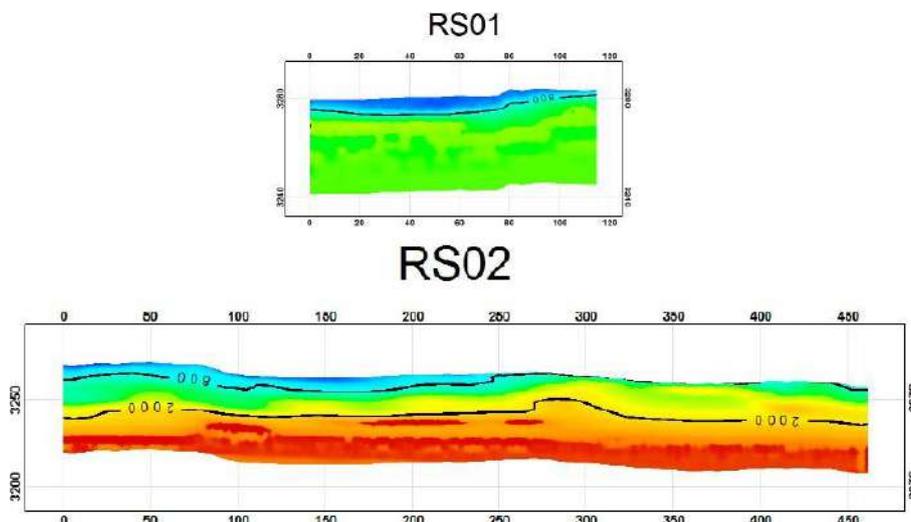


Figura 29. Secciones invertidas de refracción sísmica, RS01 y RS02.

8. EVALUACIÓN DE LAS CONDICIONES DE ESTABILIDAD

Para la evaluación de las condiciones de estabilidad, es preciso caracterizar el suelo por ello se exponen la curva granulométrica y propiedades de material emitidos por el laboratorio, en la siguiente figura 30.

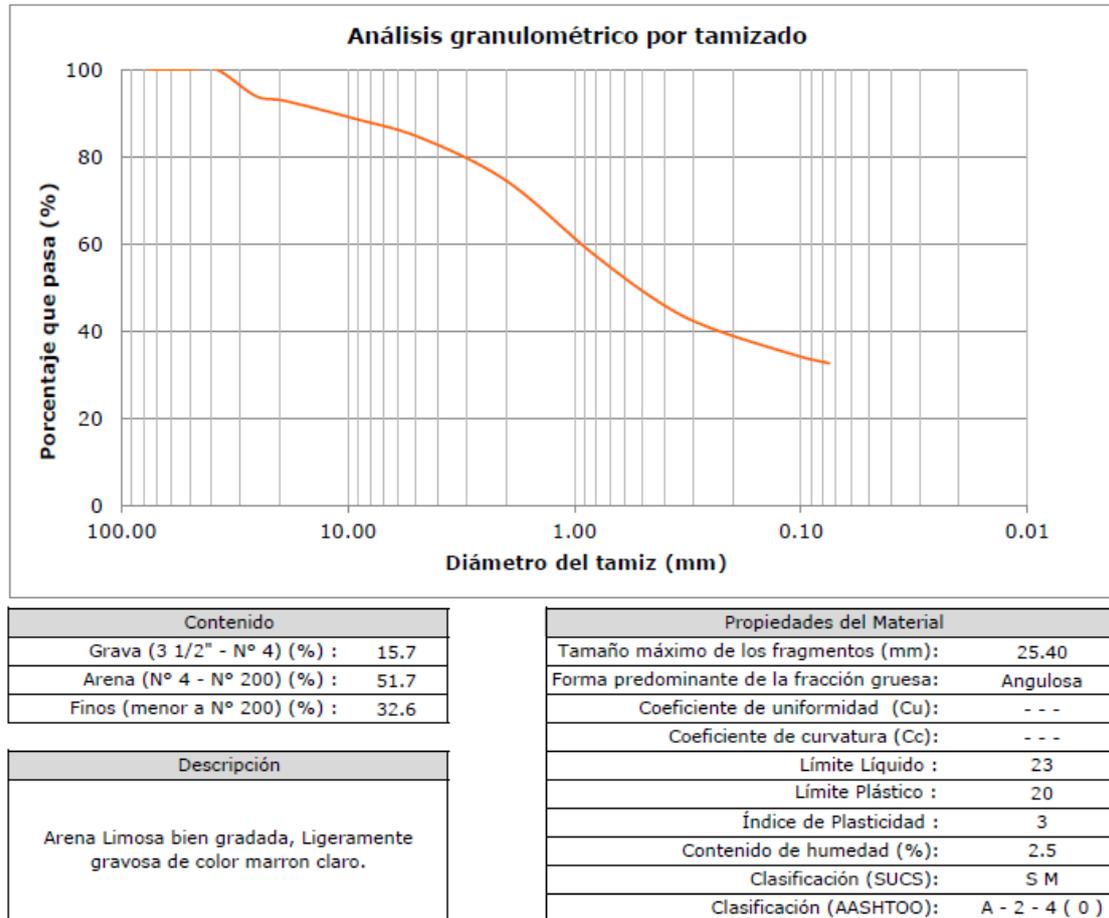


Figura 30. Curva granulométrica, descripción, contenido y propiedades de material.

Fuente: Laboratorio de geotecnia de la Universidad de Lima.

8.1. Identificación de los modos de falla

Considerando las características del material comprometido (suelo areno-limoso bien gradada, ligeramente gravosa de color marrón claro) y los factores desencadenantes, la falla de los taludes estará ligado al grado de saturación de los materiales. Condiciones de suelo permeable, con la presencia de terrenos de cultivo y una irrigación continua, además de los niveles freáticos y presencia de agua subterránea en la montaña, el modo de falla principal (deslizamiento rotacional) se debe al incremento de la presión de poros, reduciendo las tensiones efectivas y generando el colapso de la masa de suelo. Las observaciones de campo evidencian estos modos de falla. Para los análisis de la estabilidad de los taludes se considera un perfil principal que va desde C.P. Nunupata hasta el río Huachecsa.

Para el análisis de la estabilidad de los taludes en general, se ha adoptado el uso del programa de cómputo Slide2. Este es un programa de estabilidad de taludes de equilibrio límite 2D para

evaluar el factor de seguridad o probabilidad de falla, de superficies de falla circulares o no circulares en taludes de suelos, estos fueron analizados en condiciones estáticas y pseudo-estáticas. También incluye el análisis de filtración de agua subterránea de elementos finitos integrado en el programa, tanto para condiciones de estado estacionarias como transitorias, por ello se tomó los datos de caudales de los aspersores usados en C.P. Nunupata, extraídos de sus respectivas fichas técnicas. La ubicación del nivel freático se ha deducido de los estudios geofísicos e hidrogeológicos, tomando los caudales de las correlaciones hidrogeológicas.

8.2. Condiciones de análisis

Para los diferentes análisis de estabilidad, se han realizado diversas calicatas y estaciones geomecánicas. Para cada subsector de análisis se han considerado los diferentes dominios estructurales establecidos. De acuerdo a lo señalado se presentan los datos obtenidos en los cuadros 11 y 12.

Cuadro 11. Resumen de características físico mecánicas en la Fm. Carhuaz.

Areniscas - Fm. Carhuaz		
Peso específico	22	kN/m ³
UCS	75000	Kpa
GSI	40	
mi	17	
D	1	
Propiedades hidráulicas		
Ks	1e-11	m/s

Cuadro 12. Resumen de características físico-mecánicas de la arena limosa (SM).

Depósitos coluviales - Arena limosa		
Peso específico	26,5	kN/m ³
Cohesión	9	Kpa
Angulo de fricción	33	°
Propiedades hidráulicas		
Ks	2e-4	m/s

8.3. Análisis de estabilidad

A continuación, se observa el perfil desde el C.P Nunupata – río Huachecsa (figura 31), con los resultados de los modelos o simulaciones:

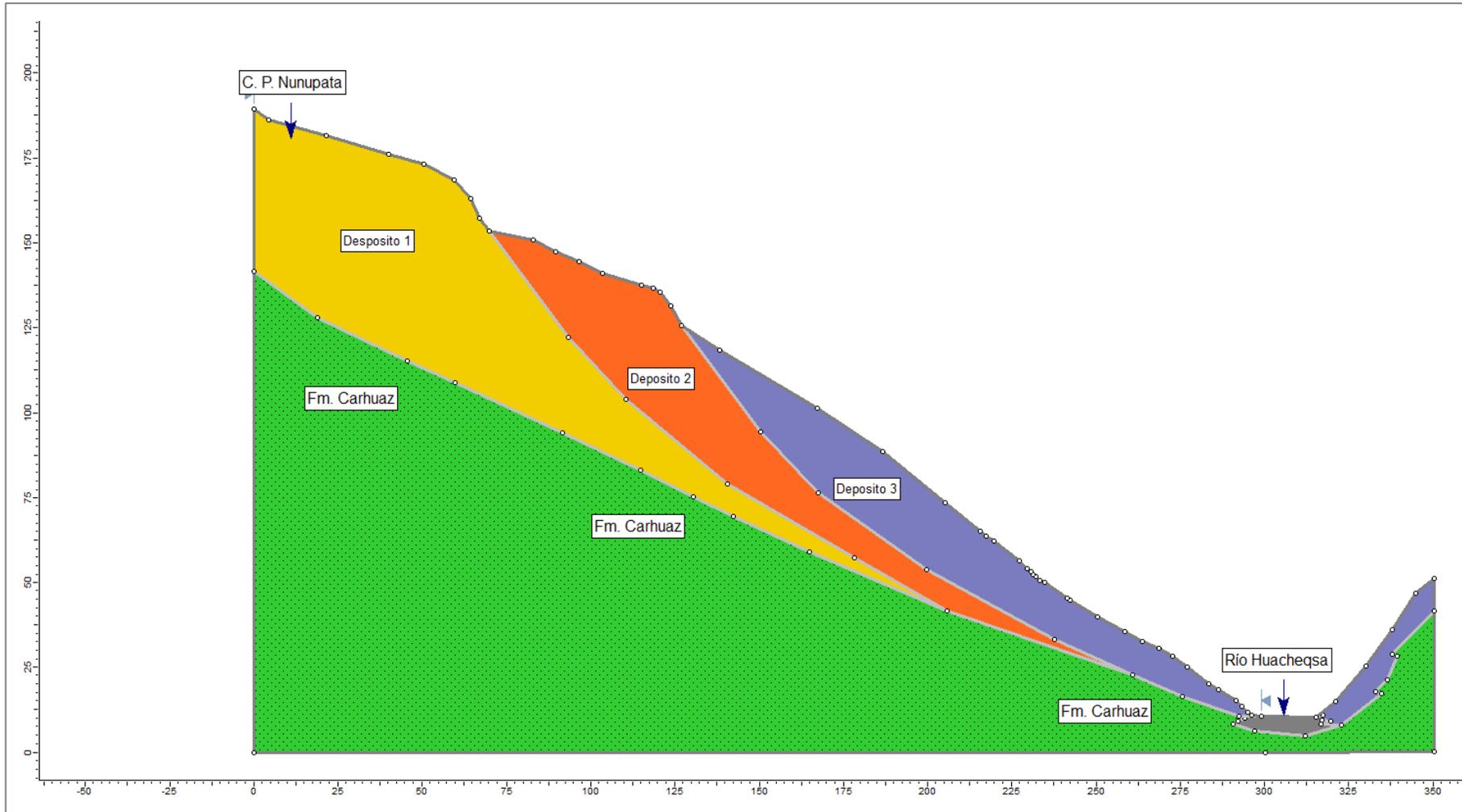
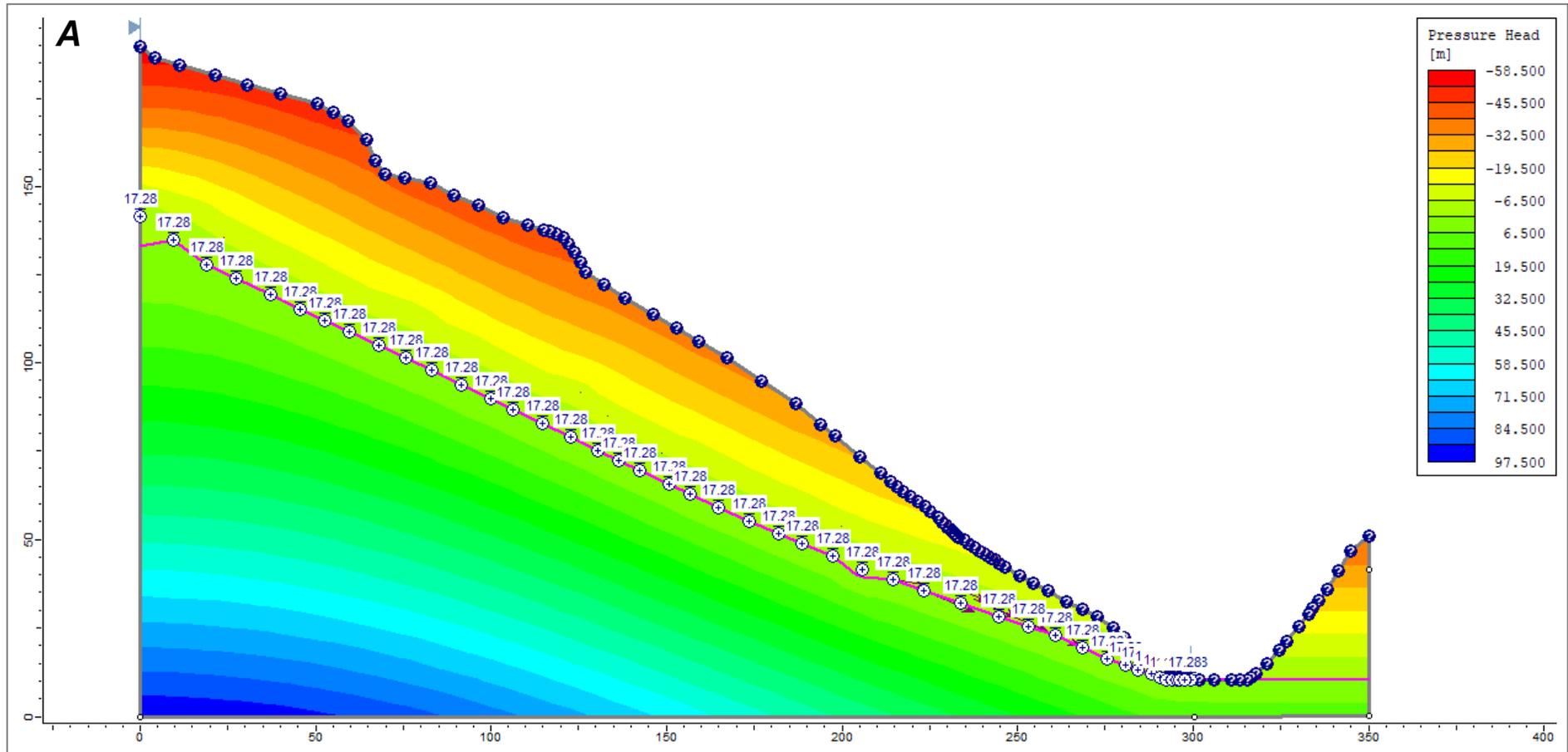
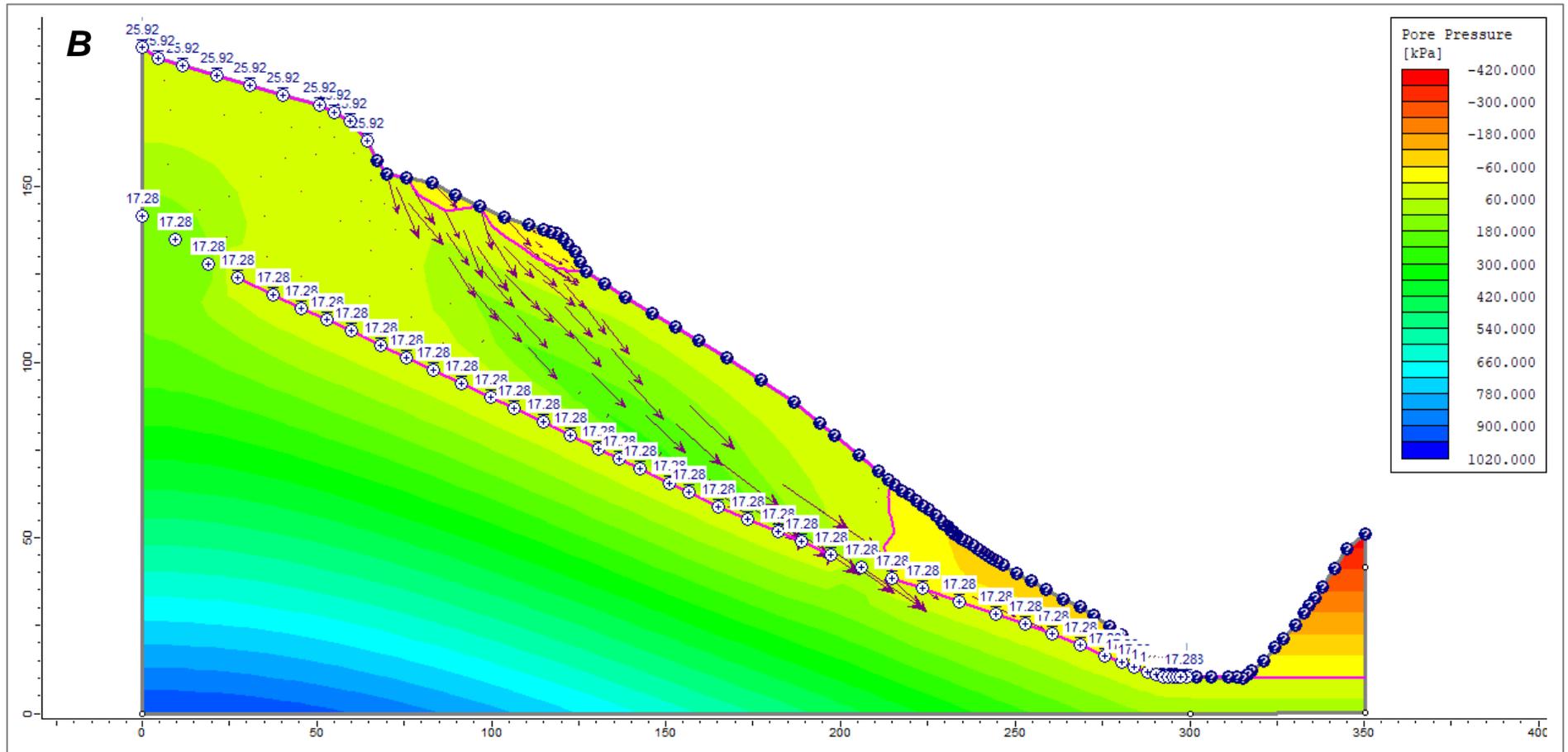


Figura 31. Perfil desde el C.P Nunupata – río Huacheqsa.

MODELO HÍDRICO: Se presentan los modelos de la evolución de las redes de flujo, teniendo en cuenta la infiltración a consecuencia del aumento de la capacidad de los aspersores usados en los campos de cultivo: van según ficha técnica desde 0.3 l/s hasta 1.5 l/s. En las Figuras 32 A, B y C se presentan la reconstrucción de infiltración al terreno y evolución de caudales. Las líneas de color turquesa representan el Nivel Freático (NF), las flechas simbolizan las redes de flujo y a la derecha la escala de presiones de poro en Kpa.





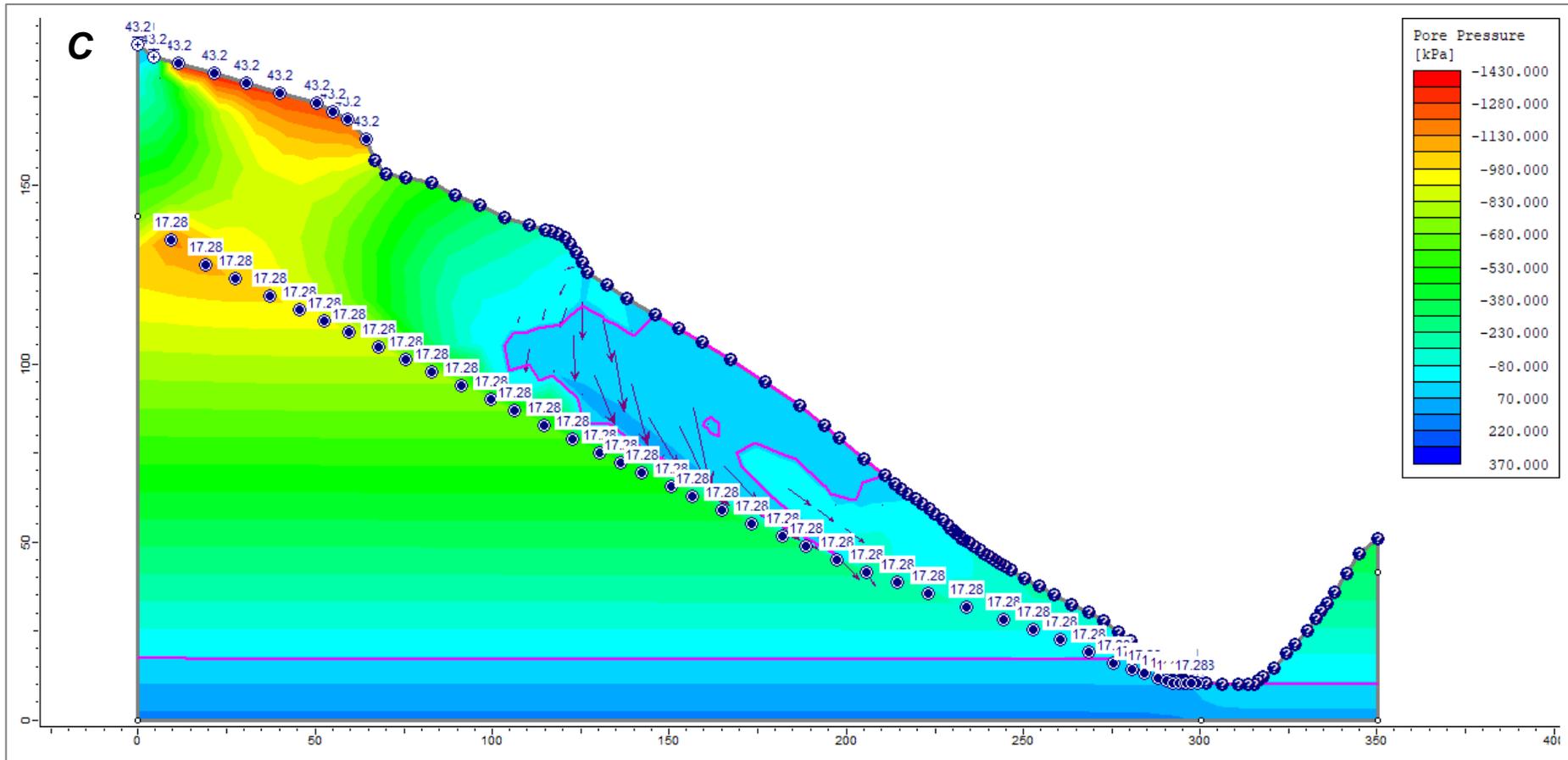


Figura 32. a) Modelo de partida que considera el NF con un caudal de 17,28 m³/día y en superficie condiciones atmosféricas. Este modelo representa las condiciones actuales de la ladera de C.P Nunupata hacia el río Huachecsa. b) Modelo que considera el NF y un caudal de aspersor de 0,3 l/s que equivale a 25,92 m³/día en superficie. c) Modelo que considera el NF y un caudal de aspersor de 0,5 l/s que equivale a 43,2 m³/día en superficie.

En las figuras 33 D, E y F, se presentan la reconstrucción de infiltración al terreno y la evolución de caudales. En líneas de color turquesa se aprecia el Nivel Freático (NF), las flechas representan las redes de flujo y a la derecha la escala de presiones de poro en Kpa.

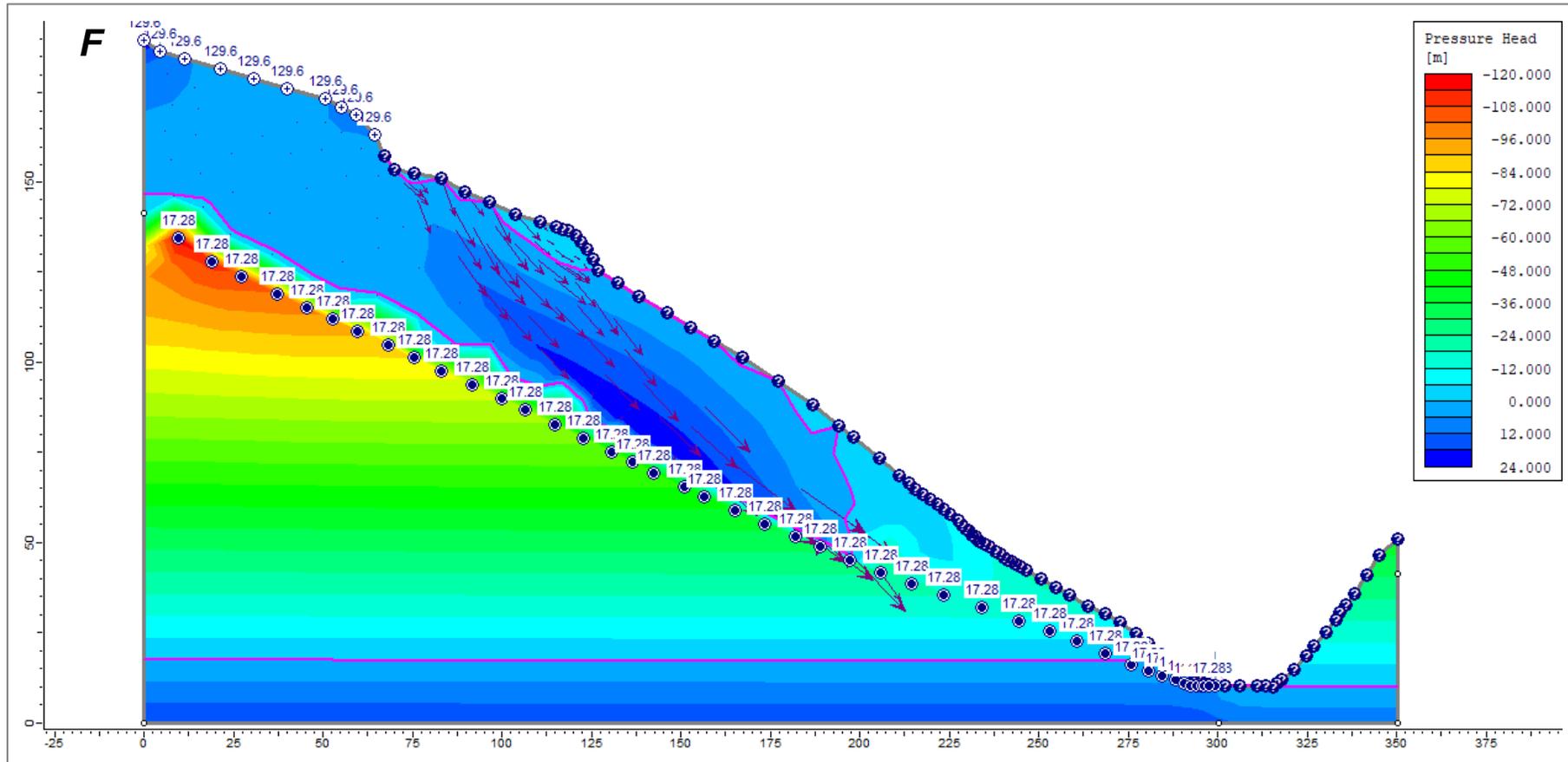
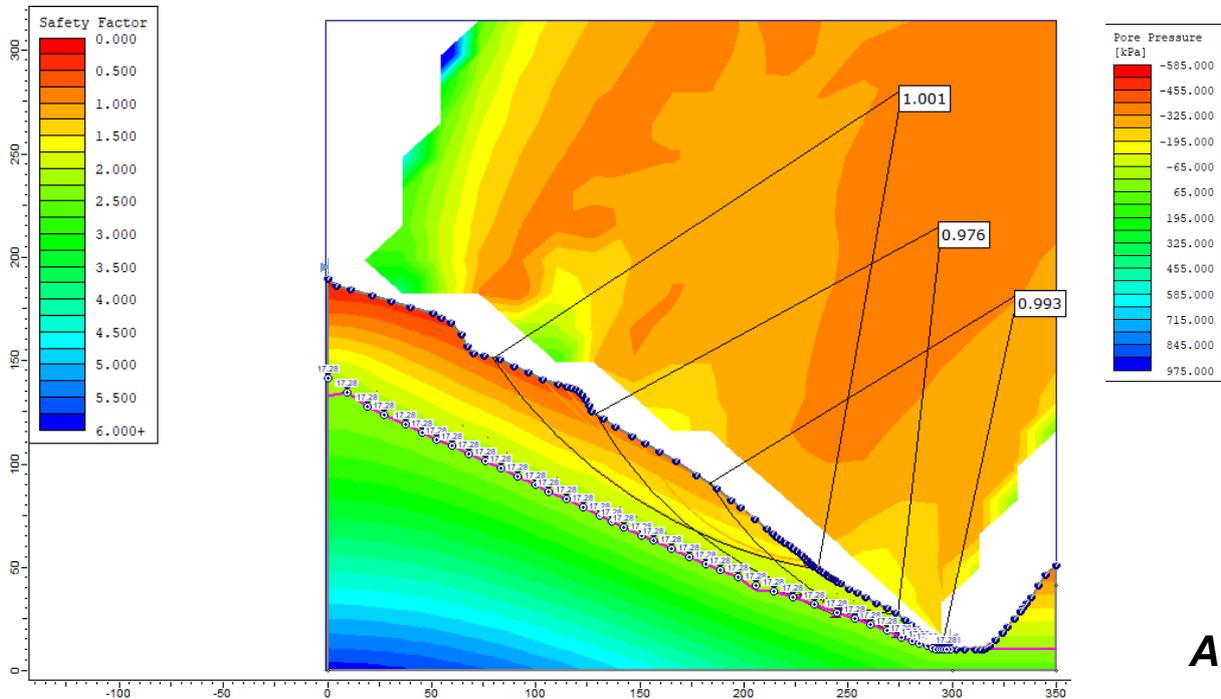
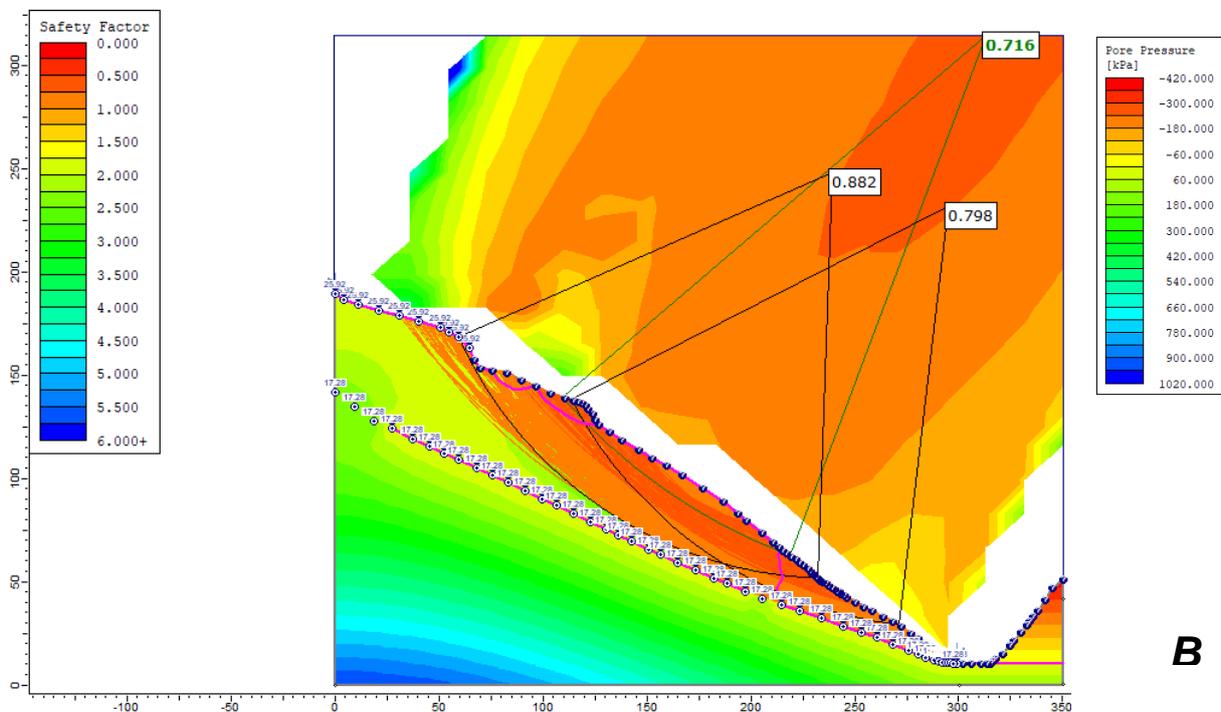


Figura 33. d) Modelo que considera el NF y un caudal de aspersor de 0,8 l/s que equivale a 69,92 m³/día en superficie. e) Modelo que considera el NF y un caudal de aspersor de 1 l/s que equivale a 86,4 m³/día en superficie. f) Modelo que considera el NF y un caudal de aspersor de 1,5 l/s que equivale a 129,6 m³/día en superficie. e y f). Reconstrucción de infiltración al terreno y la evolución de caudales. En líneas de color de color turquesa se aprecia el Nivel Freático (NF), las flechas representan las redes de flujo y a la derecha la escala de presiones de poro en Kpa.

ANÁLISIS ESTÁTICO: Presentamos los modelos de la evolución de los factores de seguridad en condiciones estáticas, a medida que se infiltra más agua al terreno a consecuencia del aumento de riego (capacidad de los aspersores) en los campos de cultivo (ficha técnica: varían entre 0.3 l/s hasta 1.5 l/s). En las Figuras 34 a), b) y c), se presentan la reconstrucción de infiltración al terreno y la evolución de factores de seguridad. De color turquesa el Nivel Freático (NF), las líneas negras captan las posibles líneas de rotura con FS y a la izquierda la escala de factores de seguridad.



A



B

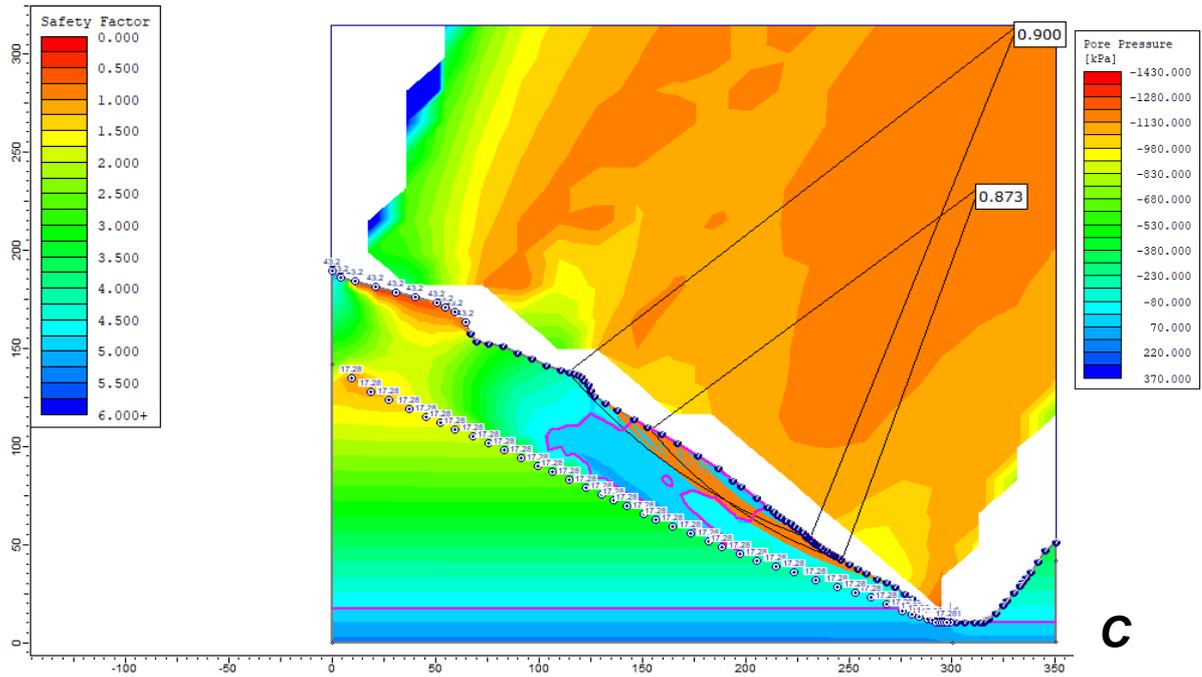
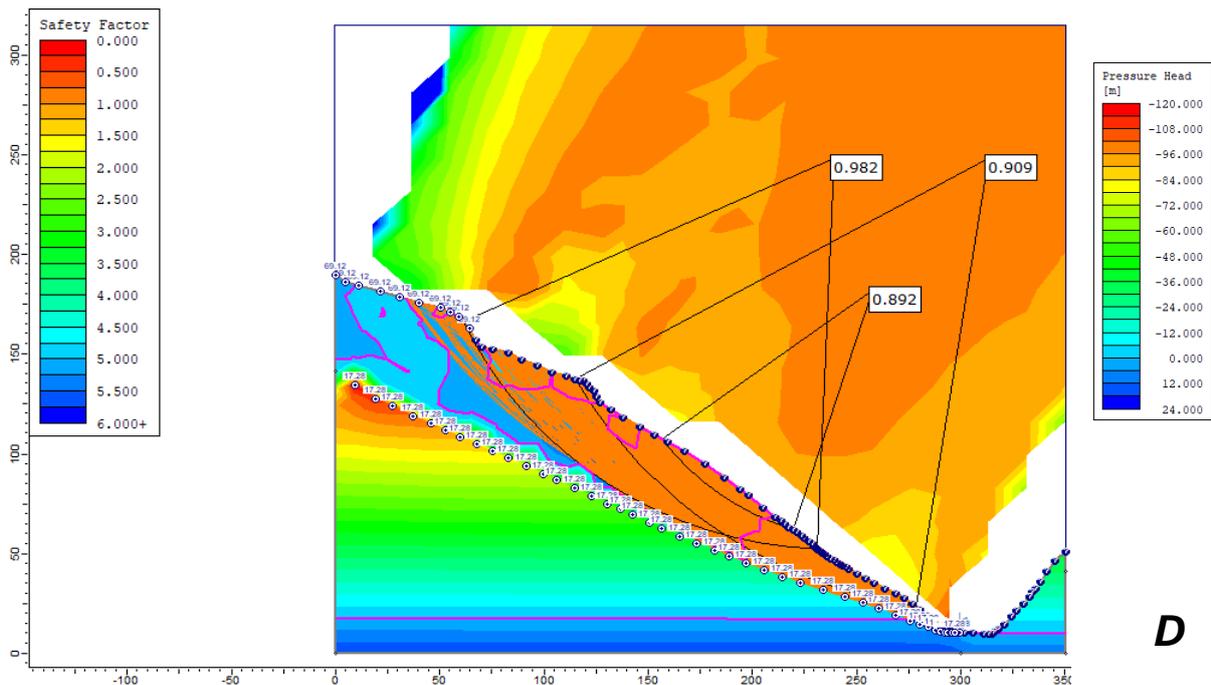
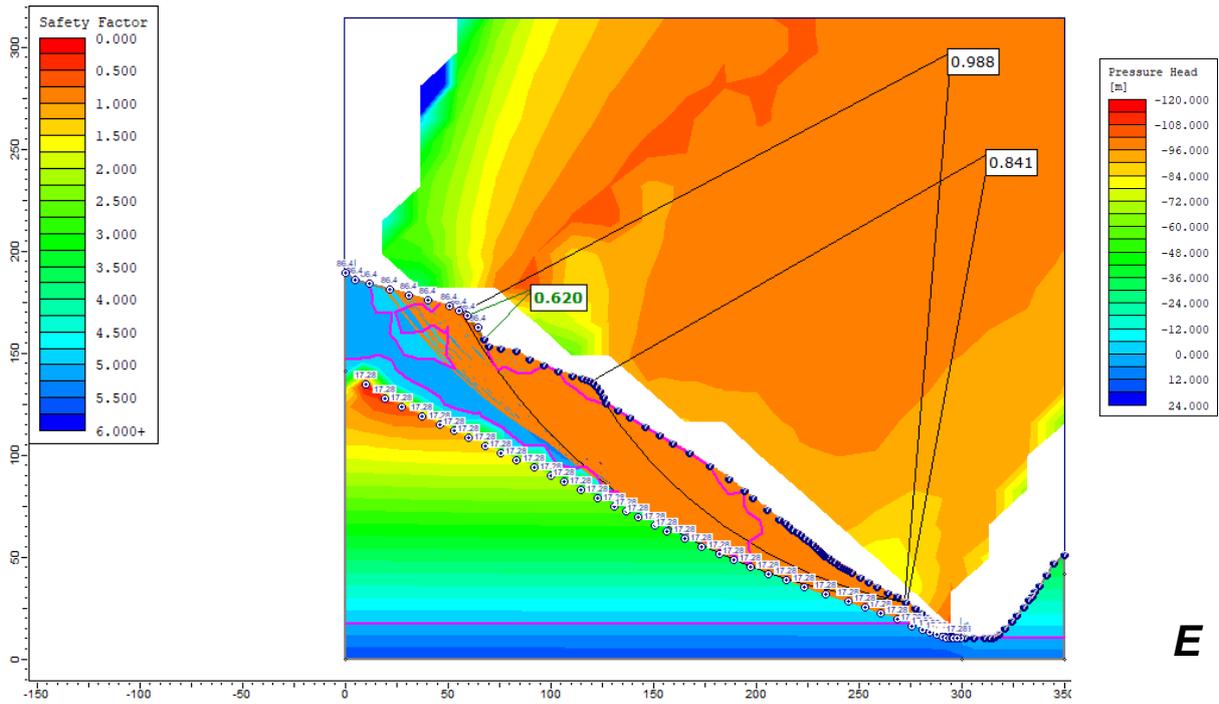


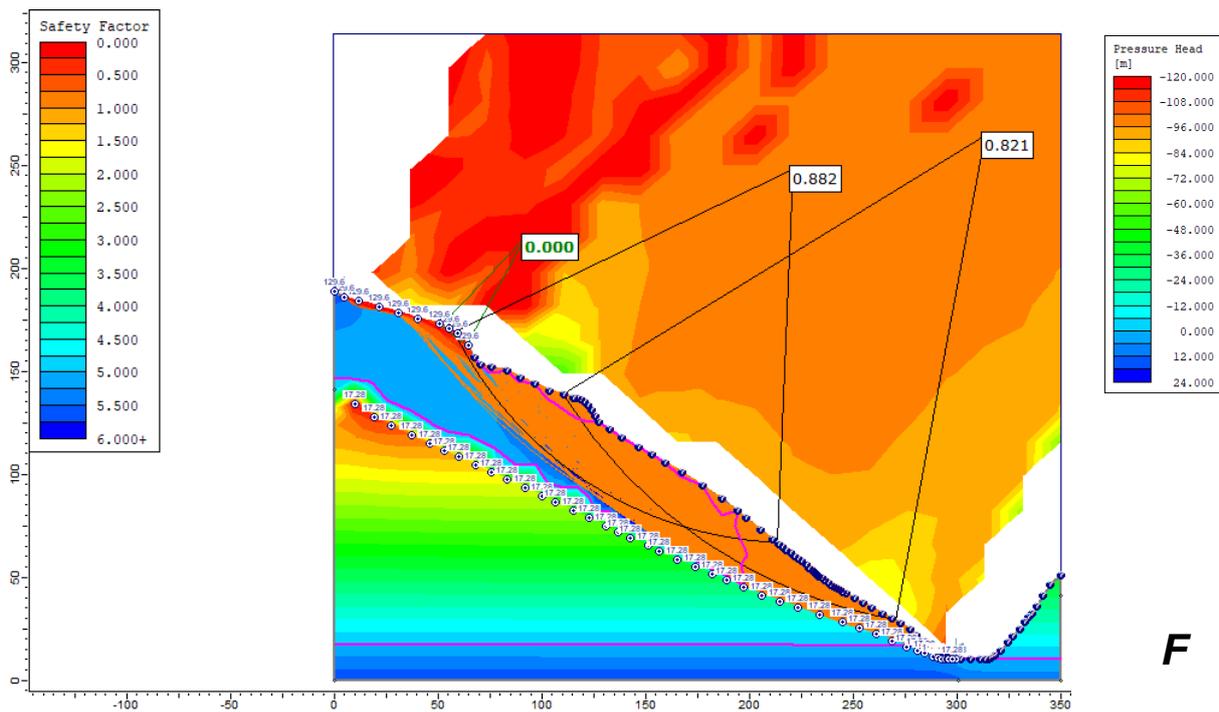
Figura 34 a): Modelo de partida que considera el NF con un caudal de 17,28 m³/día y en superficie condiciones atmosféricas. Este modelo representa las condiciones actuales de la ladera de C.P Nunupata hacia el río Huachecsa. Expone el equilibrio que tiene actualmente la ladera. b): Modelo que considera el NF y un caudal de aspersor de 0,3 l/s que equivale a 25,92 m³/día en superficie. c) Modelo que considera el NF y un caudal de aspersor de 0,5 l/s que equivale a 43,2 m³/día en superficie.

En las Figuras 35 D, E y F se presentan la reconstrucción de la infiltración al terreno y la evolución de factores de seguridad. En líneas de color turquesa se observa el Nivel Freático (NF), las líneas negras captan las posibles líneas de rotura con FS y a la izquierda la escala de factores de seguridad.





E

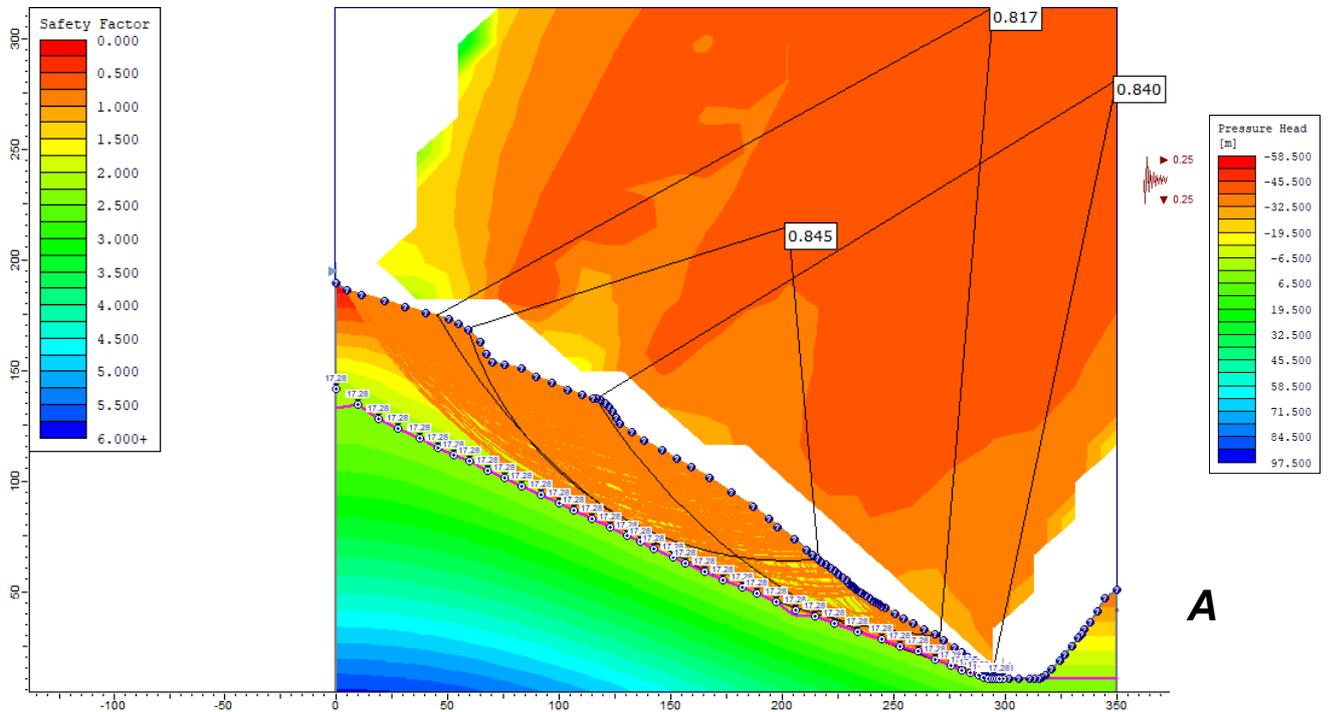


F

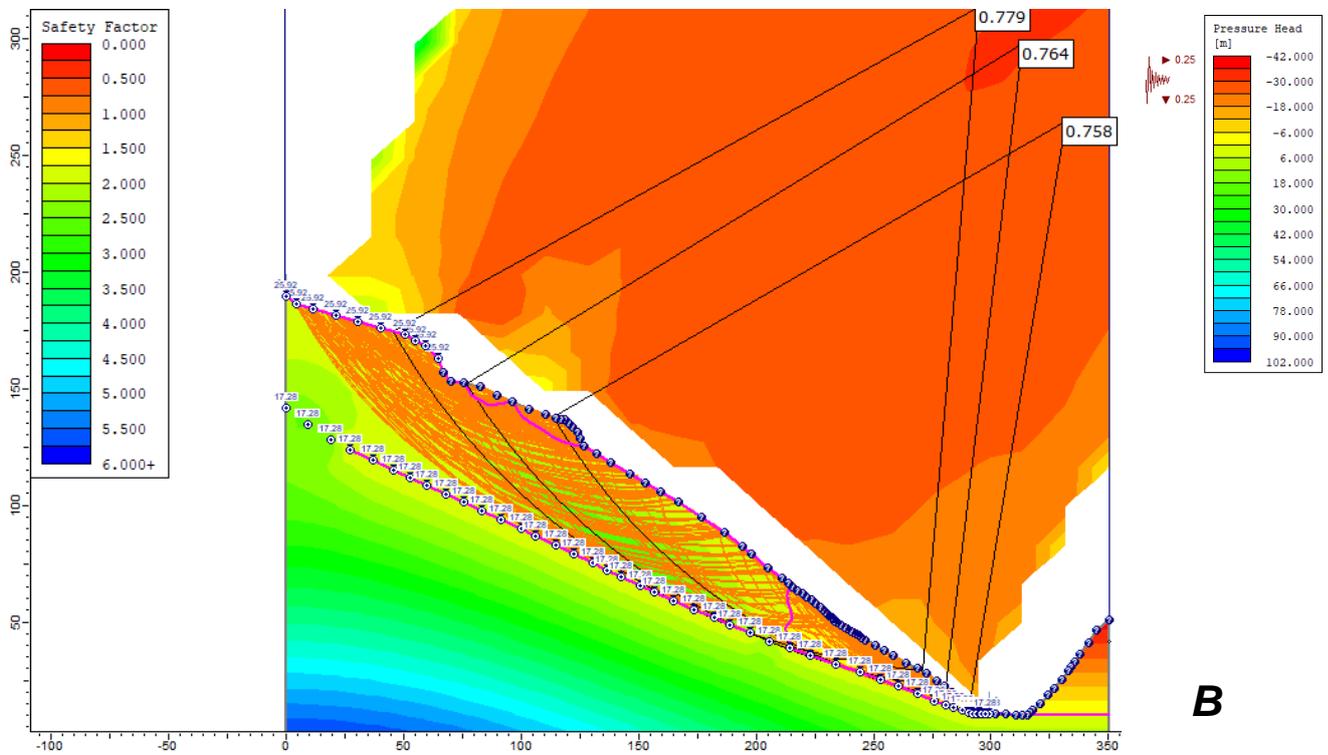
Figura 35. D): Modelo que considera el NF y un caudal de aspersor de 0,8 l/s que equivale a 69,92 m³/día en superficie. Se observa que a medida se infiltra más agua al terreno aumenta la inestabilidad del terreno y por consiguiente el colapso del mismo. E): Modelo que considera el NF y un caudal de aspersor de 1 l/s que equivale a 86,4 m³/día en superficie. F) Modelo que considera el NF y un caudal de aspersor de 1,5 l/s que equivale a 129,6 m³/día en superficie.

ANÁLISIS PSEUDO-ESTÁTICO: Presentamos los modelos de evolución de los factores de seguridad en condiciones pseudo - estáticas con factores sísmicos considerados en horizontal y vertical de 0.25. Las figuras representan el aumento de la capacidad de los aspersores (riego de terrenos de cultivo de alfalfa) que varían desde 0.3 l/s hasta 1.5 l/s. En las Figuras 36. A,

B y C se presentan la reconstrucción de infiltración al terreno y la evolución de factores de seguridad. En líneas de color turquesa se observa el Nivel Freático (NF), las líneas negras captan las posibles líneas de rotura con FS y a la izquierda la escala de factores de seguridad



A



B

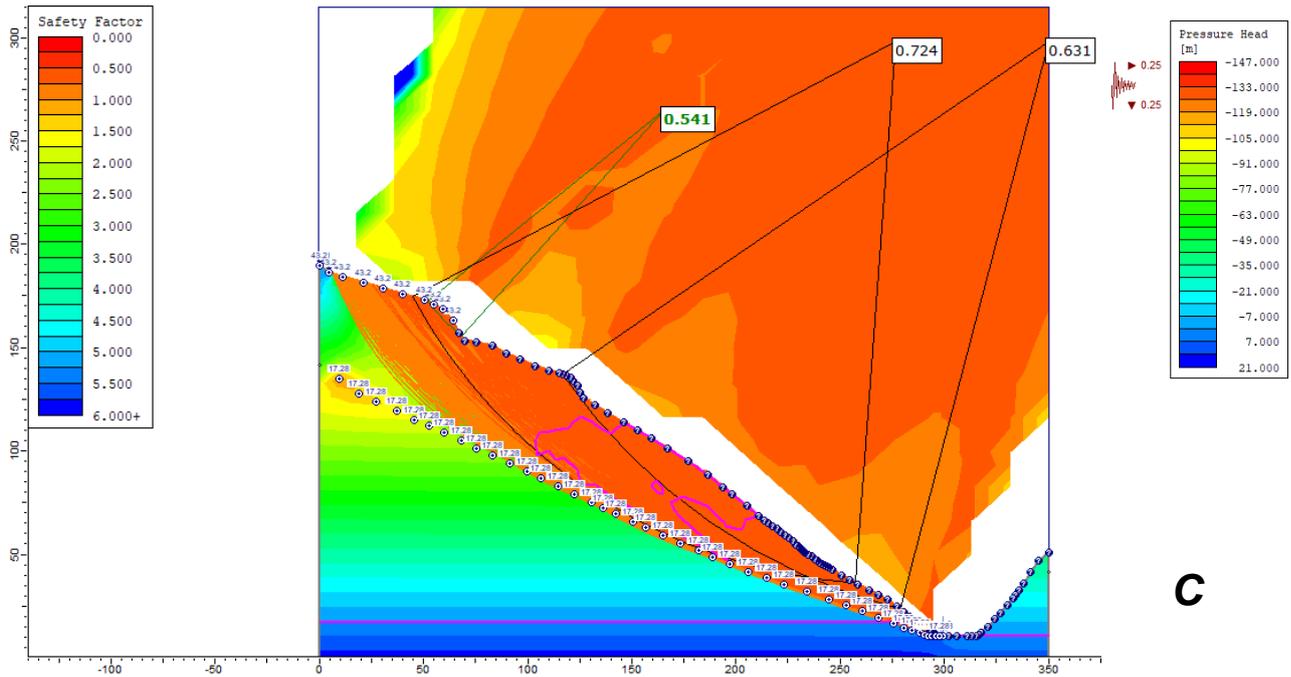
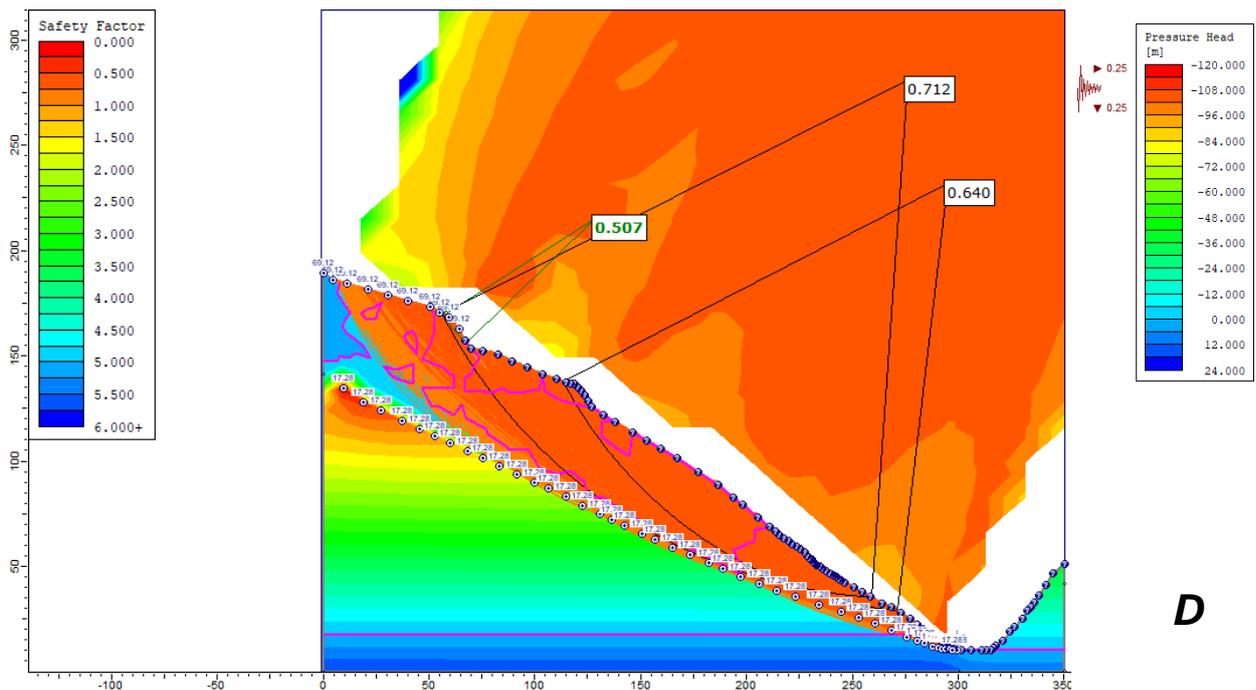


Figura 36. A) Modelo de partida que considera el NF con un caudal de 17,28 m³/día y en superficie condiciones atmosféricas. Este modelo representa las condiciones actuales de la ladera de C.P Nunupata hacia el río Huachecsa. Expone que un terremoto llevaría al colapso de la ladera. B): Modelo que considera el NF y un caudal de aspersor de 0,3 l/s que equivale a 25,92 m³/día en superficie. C) Modelo que considera el NF y un caudal de aspersor de 0,5 l/s que equivale a 43,2 m³/día en superficie

En las Figuras 37. D, E y F se presentan la reconstrucción de infiltración al terreno y la evolución de factores de seguridad. En líneas de color turquesa se aprecia el Nivel Freático (NF), las líneas negras captan las posibles líneas de rotura con FS y a la izquierda la escala de factores de seguridad.



D

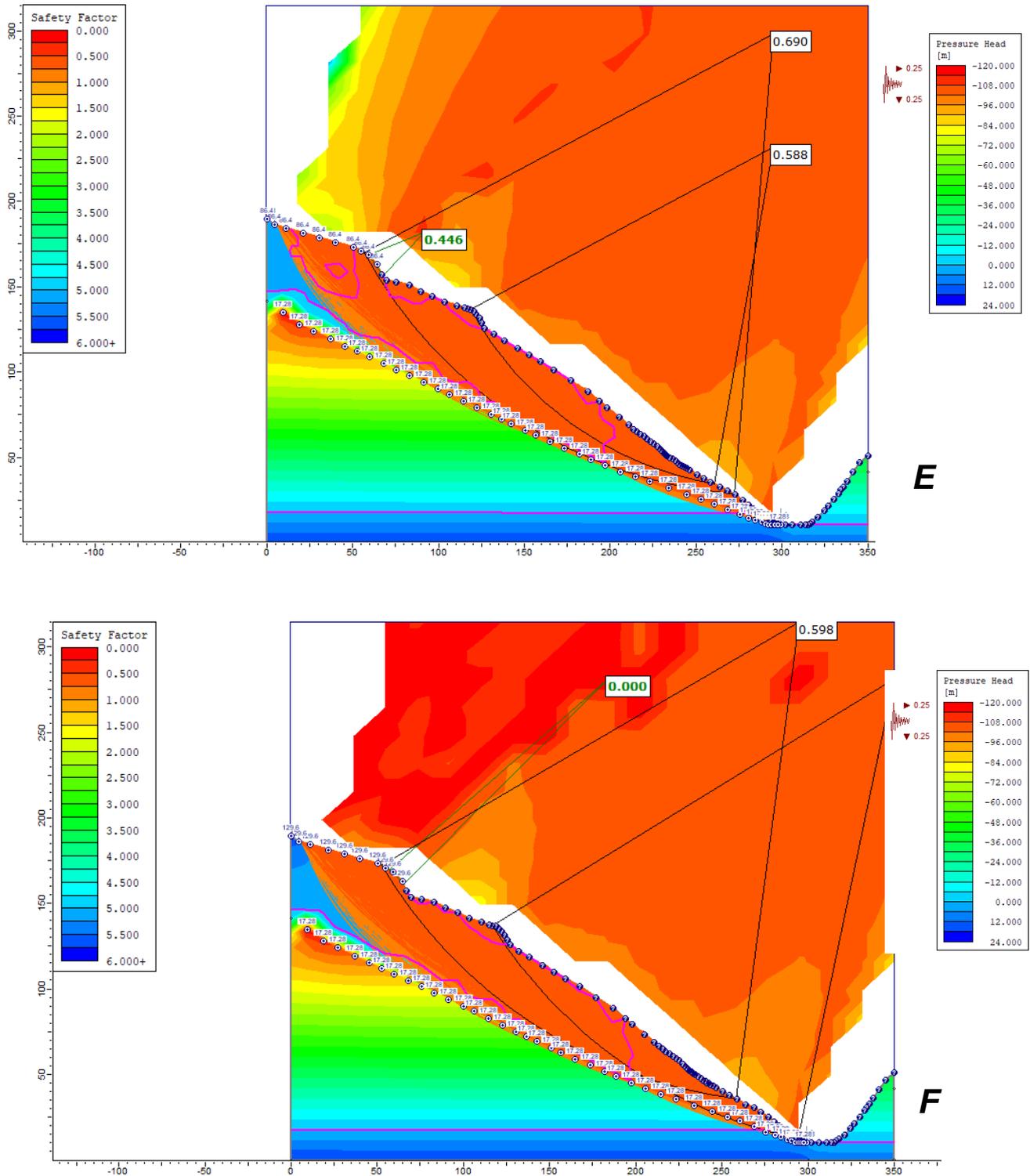


Figura 37. D): Modelo que considera el NF y un caudal de aspersor de 0,8 l/s que equivale a 69,92 m³/día en superficie. Se observa que a medida se infiltra más agua al terreno aumenta la inestabilidad del terreno y por consiguiente el colapso del mismo. E) Modelo que considera el NF y un caudal de aspersor de 1 l/s que equivale a 86,4 m³/día en superficie. F) Modelo que considera el NF y un caudal de aspersor de 1,5 l/s que equivale a 129,6 m³/día en superficie.

8.4. Evaluación de los factores de influencia

Antes de tratar el tema de las posibles alternativas de mejoramiento de las condiciones de estabilidad de la ladera C.P. Nunupata, es necesario identificar los posibles factores de

influencia sobre la inestabilidad. En este sentido, las arenas limosas (SM) y las condiciones hídricas son determinantes. El riego por aspersión indiscriminado (como se observan en la figura 32 y 33) o las precipitaciones pluviales intensas y/o prolongadas inducen la infiltración del agua al terreno, generando la saturación en los materiales, relacionándose con la inestabilidad de la ladera. Es importante mencionar que el suelo es considerado como un sistema donde interactúan dos fases: sólidos y vacíos (poros). Cuando el suelo está saturado, las fases son sólida y líquida, es decir, que los espacios vacíos o poros del suelo están ocupados por agua, incrementando la presión de poros; es decir que el agua genera una carga extra en el suelo (peso), disminuyendo la resistencia de los materiales que conforman la ladera, haciéndolos menos capaces de soportar la fricción, por ello la ladera se vuelve inestable. Formándose agrietamientos y/o subsidencias hasta llegar al colapso de la ladera.

De acuerdo al resultado de las simulaciones, en la figura 34a, observamos como se encuentra el talud del deslizamiento en la actualidad: con un Factor de Seguridad algo más que la unidad, es decir en equilibrio y que posiblemente no será capaz de soportar ninguna carga adicional. En las simulaciones de las figuras 34 y 35, se observan los factores de seguridad conforme se infiltra agua al terreno y como se desestabiliza éste en condiciones estáticas. Además, en las figuras 36 y 37 se consideran escenarios pseudo-estáticos que evidencian lo "dispuesto" que se encuentra la ladera, a la ocurrencia de deslizamiento si sucediera un sismo.

Otra situación relevante es considerar que la figura 34.c), que considera un caudal de aspersor de 0,5 l/s que equivale a 43,2 m³/día en superficie, ello genera un socavamiento de la ladera expuestos en la figura 38.

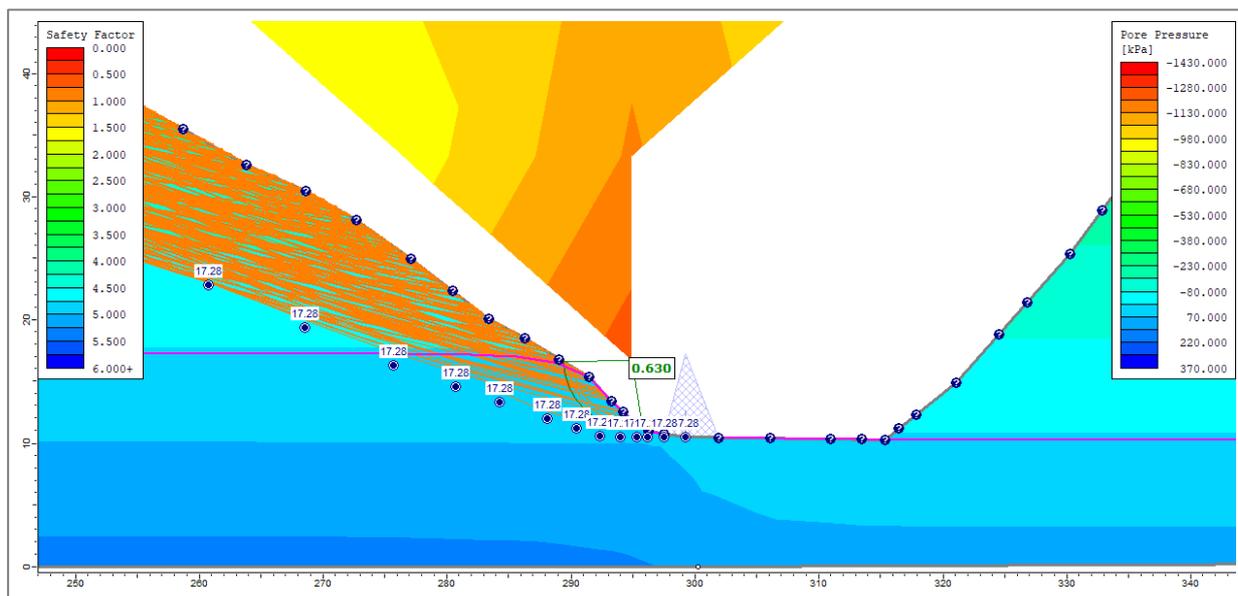


Figura 38. Reconstrucción de infiltración de aguas al terreno. La figura muestra el FS 0.63 en la base de la ladera, lo cual puede representar una pérdida de presión de poros que podría generar el **socavamiento de la base de la ladera, por tubificación² o "cangrejas"**.

² Este fenómeno ocurre cuando hay arrastre de las partículas de suelo en el interior de la masa (material) por efecto de las fuerzas erosivas generadas por el flujo de agua.

8.5. Evaluación de resultados

En las condiciones mencionadas se realizó el análisis “Steady state groundwater”, y “Slope Stability”, de este último contemplamos el análisis en modo estático y pseudo estático, cuyos resultados se presentan en el cuadro 13.

Cuadro 13. Resumen de modelos de la evolución de los factores de seguridad en condiciones estáticas y pseudo-estáticas, usando caudales de los campos de cultivo que van desde 0.3 l/s hasta 1.5 l/s.

Caudal		Actual	25.92 m ³ /día	43.20 m ³ /día	69.12 m ³ /día	86.40 m ³ /día	129.6 m ³ /día
FACTOR DE SEGURIDAD (F.S.)	Estático	1.01	0.88	0.87	0.89	0.84	0.82
FACTOR DE SEGURIDAD (F.S.)	Pseudo-estático	0.82	0.75	0.72	0.71	0.69	0.59

9. MODELAMIENTO DE FLUJO DE DETRITOS CON RAMMS: DEBRIS FLOW

9.1. Introducción

El módulo Debris Flow del software RAMMS, está diseñado para modelar flujos de detritos, comúnmente conocido como huaicos y/o aluviones, haciendo uso la ley de fricción de Voellmy para fluidos viscosos.

A continuación, se presenta la metodología utilizada para el modelamiento de flujo de detritos en el río Huachecsa como consecuencia de un posible desembalse, a partir del represamiento que se produciría al reactivarse el deslizamiento de Nunupata.

9.2. Metodología

9.2.1. Entrada del modelo digital de elevaciones

Se inserta la información base del modelo el cual es la información de alturas del terreno, en forma de un Modelo Digital de Elevaciones (DEM). En este paso la modelación se realizó con un DEM generado a partir de sobrevuelos de dron, mediante el cual se obtiene información del terreno con una resolución de hasta 40 cm/px; según requerimiento del modelo RAMMS: Debris Flow indica que se debe realizar la modelación con información de terreno con una resolución espacial mínima de 5 m para obtener valores que se ajusten a la realidad (figura 39).

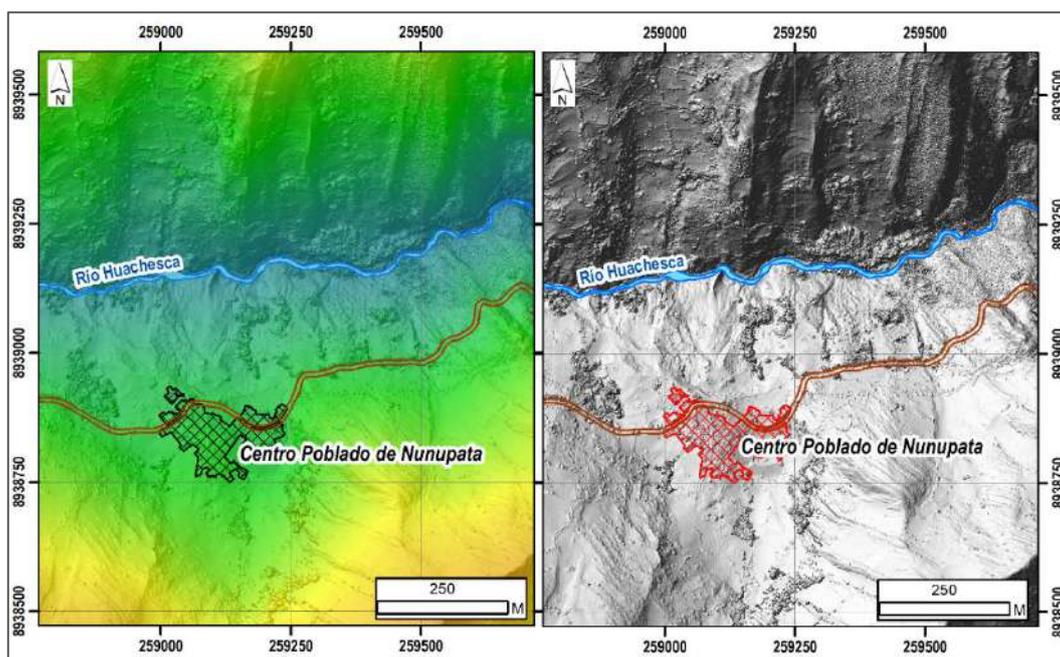


Figura 39. Modelo de elevación digital con una resolución de 0.37 m/px (izquierda) y modelo de sombras (derecha), elaborado a partir de sobrevuelos de dron.

9.2.2. Entrada del área de liberación

El área de liberación (Release Area), es el terreno que contiene el material suelto que alimentará al flujo de detritos. Para establecer esta área, se realizó en base al cartografiado geológico - geodinámico, donde se estableció el material coluvial susceptible a desprenderse ante una posible reactivación del deslizamiento de Nunupata.

De esta manera, se determinó el volumen total de ~ 812,000 m³ que posiblemente esté involucrado en el deslizamiento de Nunupata. Así mismo, se calculó para el modelo un posible volumen de embalsamiento, que generaría el deslizamiento, de aproximadamente 45,000 m³, con un dique de 20 m de altura (figura 40).

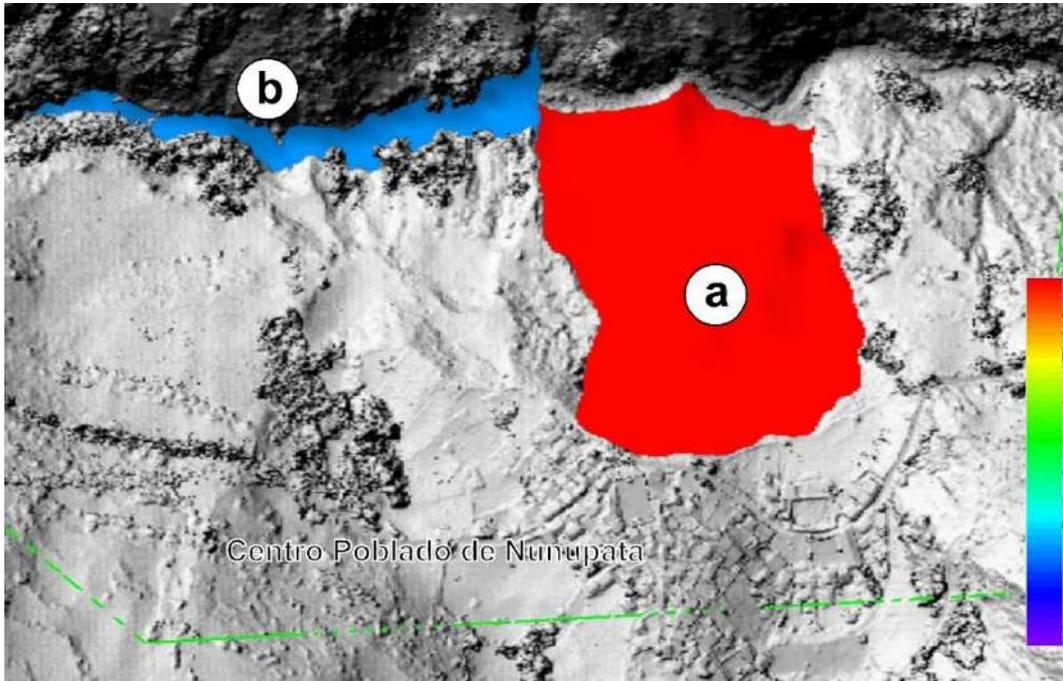


Figura 40. a. Área de liberación del posible desprendimiento del deslizamiento de Nunupata. B. Posible volumen de embalsamiento, que se generaría con un dique de 20 m de altura.

9.2.3. Área de dominio

El área de dominio o “Domain Area” restringe la zona de desarrollo del evento, existe la posibilidad de que tome la misma forma del DEM o delinear esta área de forma manual. En la figura 41 se visualiza el área de dominio, delineada de color verde, para el modelo del área de estudio.

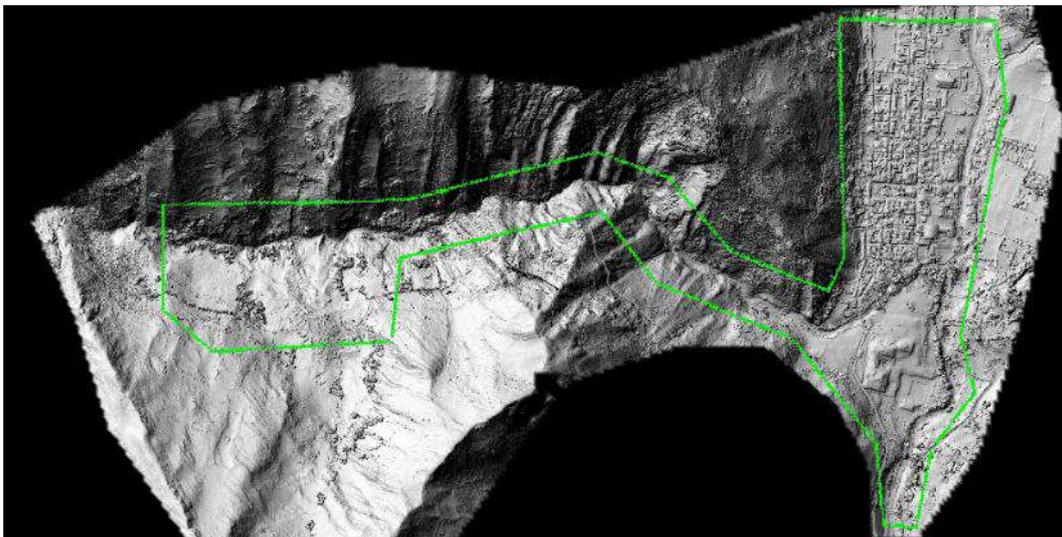


Figura 41. Área de dominio del modelo “Domain area”.

9.2.4. Entrada de parámetros

Los parámetros que requiere el modelo son la densidad del material del flujo; y los coeficientes de fricción de Voellmy: fricción de tipo Coulomb seca μ y la fricción viscosa turbulenta ξ . El modelo recomienda los parámetros por defecto, cuando no se cuenta con información inicial, los cuales son 2000 kg/m^3 de densidad, $\mu = 0.2$ y $\xi = 200 \text{ m/s}^2$. Estos parámetros se van calibrando según el tipo de suelos granulares o con mayor presencia de arcillas.

Para el área de estudio, se determinaron los parámetros de densidad y la fricción del suelo, con muestras recolectadas en campo de los principales depósitos superficiales identificados. La densidad de suelo se determinó en 2.447 g/cm^3 (2447 kg/m^3). La fricción del suelo se estimó entre 0.2 y 0.13, el cual se promedió para obtener el valor de ingreso al modelo, obteniendo un valor de $\mu = 0.15$.

En cuanto a la fricción turbulenta ξ , Bartelt et al. (2017), señala calibrar este valor de acuerdo al tipo de fluido: i) si el fluido se comporta más como un flujo de lodo, el cual es el caso de la zona de investigación, el modelo sugiere subir su valor entre 200 y 1000 m/s^2 ; por el contrario, ii) si se comporta como un flujo granular, el modelo sugiere modificar este valor entre 200 y 100 m/s^2 . Para el modelo se estimó un valor de la fricción turbulenta de 800 m/s^2 .

9.3. Resultados

Con la información recolectada y generada, se realizó la simulación de flujo de detritos, por desembalse violento ante un posible represamiento, a consecuencia de la reactivación del deslizamiento de Nunupata. Los resultados se muestran para un tiempo de simulación de 1 hora.

En la figura 42 se presenta el esquema gráfico del modelo, de color rojo y azul el área de liberación, de color verde el área de dominio.

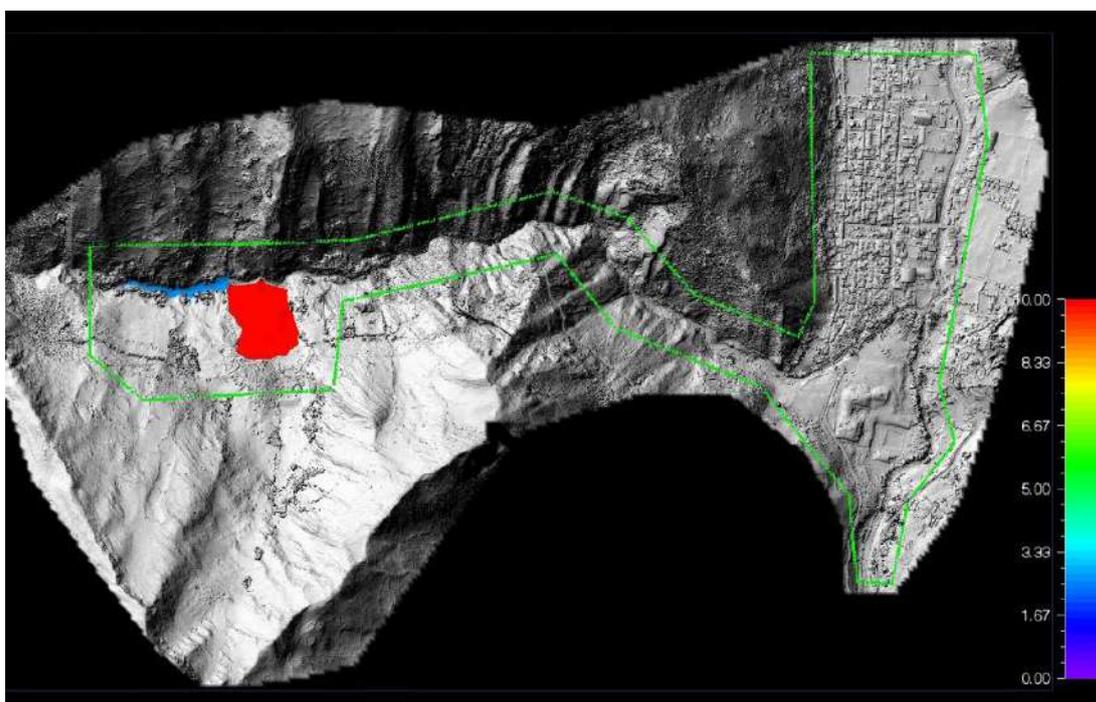


Figura 42. Modelo RAMMS: Debris Flow.

El modelo muestra las áreas afectadas con respecto al nivel de altura máxima que alcanza el flujo a lo largo de su recorrido, además muestra las máximas velocidades y máximas presiones del flujo, las cuales son presentados a continuación.

En la figura 43 se visualiza las zonas afectadas por el flujo, observándose las áreas con mayor altura dentro del cauce del río Huachecsa. En su recorrido, el flujo erosiona el lecho del río, principalmente en la zona media, donde incrementa las alturas. En la parte final, el flujo ingresa al pueblo de Chavín de Huántar, afectando principalmente la calle 17 de Enero y las viviendas próximas al cauce del río. Así mismo, parte del flujo ingresa al área más baja del centro arqueológico de Chavín de Huántar; para finalmente continuar su recorrido hasta la confluencia con el río Mosna. El área afectada, posiblemente, será de aproximadamente 24 ha.

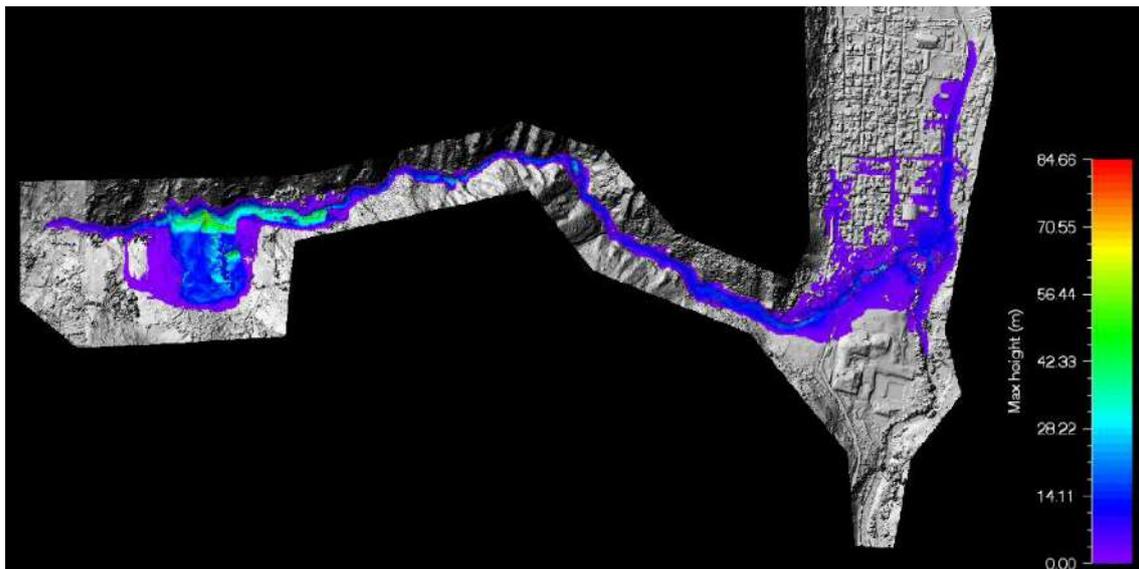


Figura 43. Alturas de flujo reportados por el modelo RAMMS: Debris Flow.

Los resultados de velocidades máximas se presentan en la figura 44, donde las velocidades más altas se muestran en la parte media de la quebrada (39 m/s), hasta estabilizarse en la parte media-baja, bordeando una velocidad promedio de 5 m/s, y en la parte baja menor a 1 m/s.

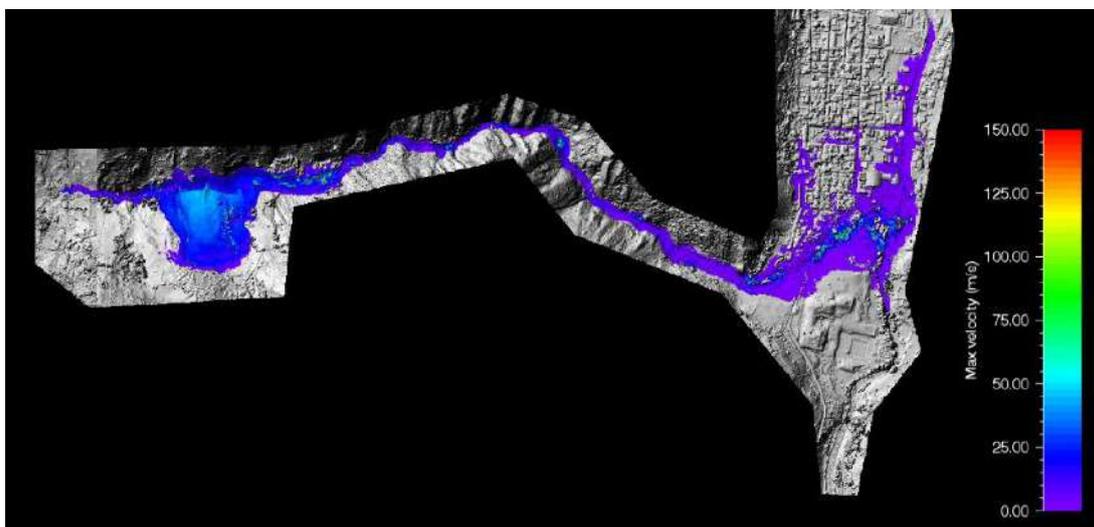


Figura 44. Velocidades de flujo reportados por el modelo RAMMS: Debris Flow.

Los resultados de presiones máximas son presentados en la figura 45, sus unidades son los kilopáscales. Esta imagen permite visualizar las zonas en las cuales hay mayor peligro sobre las infraestructuras debido a las presiones generadas por los flujos. Se identifica que en la parte baja de la quebrada hay mayor presión, alcanzando valores hasta 1200 kpa.

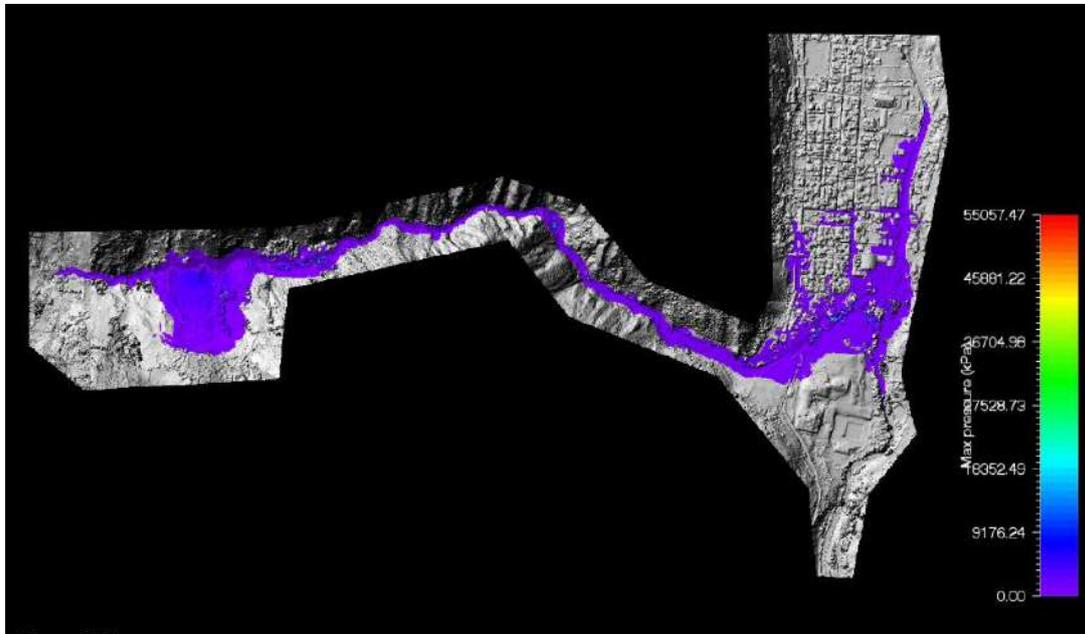


Figura 45. Presiones máximas de flujo reportados por el modelo RAMMS: Debris Flow.

10. CONCLUSIONES

1. En centro poblado de Nunupata se encuentra asentado sobre un deslizamiento antiguo en proceso de reactivación, por ello se le considera de peligro alto.
2. El deslizamiento reactivado de Nunupata afecta depósitos coluviales de estructura masiva, medianamente consolidados, porosos, baja plasticidad y medianamente saturadas debido a la infiltración que genera el agua proveniente del riego de los terrenos cultivo de alfalfa. Se le considera de peligro alto a muy alto y zona crítica debido a la vulnerabilidad (monumento arqueológico, ciudad de Chavín de Huántar y vías de comunicación).
3. En el pie del poblado de Nunupata se presentan deslizamientos y derrumbes activos que abarcan un área ~ 20 ha y un volumen ~812 000 m³ del primer evento. La reactivación de este deslizamiento, podría generar un represamiento en el cauce del río Huachecsa, cuyo posible desembalse violento afectaría a 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.
4. Se considera, que 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.
5. Las secciones geofísicas que se realizaron en el centro poblado de Nunupata, muestran un contraste notorio entre el material con presencia de humedad y el material seco. Las resistividades entre los 10 a 100 Ohm*m, están presentes entre los 100 y 350 m lineales, hasta los 100 m de profundidad, esto facilitó al avance del deslizamiento. De acuerdo a las líneas L01 y L10, se puede estimar que el material depositado, está presente entre los 70 y 80 m aproximadamente, por encima de la Formación Carhuaz, la cual aparece en todas las líneas de tomografía eléctrica, por debajo de los depósitos cuaternarios.
6. El inventario de fuentes de agua superficial y subterránea concluyó con 8 manantiales y 2 puntos de control con su respectivo monitoreo y muestreo; los manantiales evidencian que están condicionados por fisuras y contactos entre areniscas, lutitas y limolitas. Los manantiales 49899-008, 49899-009 y 490899-010 emergen muy cerca de la falla identificada en el campo, estos son los que aportan mayor caudal de agua cerca de los APNC-cd, en dirección hacia el deslizamiento principal.
7. Con los resultados químicos se identificaron las Facies hidroquímicas de las aguas subterráneas del sector Nunupata; se identificaron tres grupos predominantes las Bicarbonatada Cálcica, Bicarbonatada Magnésica y Sulfatada Cálcica. Además, los resultados químicos identifican que la fuente NV08 (49899-008) presenta concentraciones de Nitratos considerables, lo que nos infiere que las aguas tienen origen agrícola.
8. Los ensayos de infiltración (41 ensayos), método de Lefranc de carga constante, permitieron calcular la conductividad hidráulica en las diferentes litologías que rodean al área de Nunupata. Los valores de conductividad hidráulica varían en cada tipo de litología, se ha diferenciado tres escenas: menores a 0.01 m/días impermeables, valores entre 0.01 m/día a 0.08 m/día conductividad hidráulica baja y mayores a 0.8 m/día conductividad hidráulica buena; esta característica permitió calificar a las unidades hidrogeológicas según su comportamiento; además, los ensayos de

infiltración EI-19, EI-38, EI-35, EI-32, EI-33, EI-34, EI-26, EI-23 y CAL-02 presentan valores mayores y están situados en el deslizamiento o cerca de ella.

9. En el mapa hidrogeológico se puede observar la disposición de las diferentes unidades hidrogeológicas, lo que evidencia el posible riesgo en el que se encuentra el poblado de Nunupata, ya que este se encuentra emplazado sobre la capa delgada del Acuífero Poroso no consolidado, el cual se ve afectado por la presencia de agua de la zona, ya que la unidad del Acuitardo sedimentario se comporta como una barrera para el flujo del agua acelerando la saturación del APNC, por lo que se tiene que tener un control de los flujos superficiales, tanto de la precipitación, de los manantiales y del agua que se utiliza en la agricultura la cual satura al APNC.
10. Se realizó el análisis de “Steady state groundwater”, y “Slope Stability”, de este último contemplamos en condiciones estático y pseudo estático los siguientes resultados:

Caudal		Actual	25.92 m ³ /día	43.20 m ³ /día	69.12 m ³ /día	86.40 m ³ /día	129.6 m ³ /día
FACTOR DE SEGURIDAD (F.S.)	Estático	1.01	0.88	0.87	0.89	0.84	0.82
FACTOR DE SEGURIDAD (F.S.)	Pseudo-estático	0.82	0.75	0.72	0.71	0.69	0.59

11. Los resultados obtenidos del modelamiento con el software RAMMS-Debris flow, muestran que, el flujo ingresaría al pueblo de Chavín de Huántar, afectando principalmente la calle 17 de Enero y las viviendas próximas al cauce del río. Así mismo, parte del flujo ingresa al área baja del centro arqueológico de Chavín de Huántar; afectando posiblemente 24 ha; para continuar hasta la confluencia con el río Mosna y su recorrido aguas abajo. Es importante mencionar que el flujo, en su desplazamiento aguas abajo y teniendo en cuenta la inestabilidad de ambas márgenes del río Mosna, podría generar deslizamientos y derrumbes por erosión del pie del talud.

11. RECOMENDACIONES

NO ESTRUCTURALES

1. Monitoreo permanente del deslizamiento: Para el monitoreo del deslizamiento, se recomienda lo siguiente:
 - Monitorear el desplazamiento: instalando puntos de control en la ladera y midiendo el desplazamiento relativo en función del espacio y tiempo. Los puntos de control deben establecerse con la ayuda de expertos. Como ejemplo ver figura 46.
 - Monitoreo en base a GPS: Para ello ubicar con precisión los puntos de control. Utilizar GPS de precisión (GPS diferencial).
 - Monitorear el condicionante o detonante del deslizamiento en este caso el agua de infiltración (riego indiscriminado y precipitaciones pluviales): Las precipitaciones pluviales pueden medirse diariamente con pluviómetros y la lluvia horaria con pluviógrafos (en épocas de precipitaciones). Para el caso del riego indiscriminado, hasta que se tome la decisión de restringir, prohibir o cambiar el tipo de cultivo, se debe utilizar piezómetros. Convocar a expertos para posicionar estos instrumentos.
 - Por la posible afectación de este deslizamiento, es importante realizar la instrumentación geotécnica (monitoreo) para medir la deformación de la ladera (con inclinómetros y extensómetros; y medir la cantidad de agua en subsuelo con piezómetros. Estos instrumentos deben ser instalados y observados, en tiempo real, por especialistas.
 - En base a todo el monitoreo se debe establecer un Sistema de Alerta Temprana (SAT)

2. Tomar en consideración las recomendaciones vertidas en el informe A7312, el cual detalla a continuación:
 - 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.
 - 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, ya que las raíces de la vegetación ayudan a estabilizar el suelo y reducir la erosión, lo que disminuirá la cantidad de material que podría ser erosionado. Así mismo coadyuvará en la reducción de infiltración de agua pluvial sobre el terreno.
 - Restringir el vertimiento de aguas de uso doméstico, siendo necesario la construcción de sistemas adecuados de desagüe.

3. 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

4. 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 o drenes tipo “francés”. 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.
5. Es importante considerar la descarga del material afectado con la construcción de andenes.
6. Para resguardar la zona del centro arqueológico y parte del poblado de Chavín de Huántar, se puede considerar las siguientes medidas de mitigación:
 - **Barreras de contención:** Construir muros o diques en las áreas cercanas al centro arqueológico y el poblado de Chavín de Huántar para evitar que el flujo de detritos llegue a estas zonas. Estas estructuras deben diseñarse para resistir la fuerza del flujo (contemplando las máximas avenidas) y estar ubicadas estratégicamente para desviar el flujo hacia áreas seguras.
 - **Canales de desviación:** Crear canales o cauces que redirijan el flujo de detritos lejos del centro arqueológico y las calles de la población de Chavín. Estos canales deben ser lo suficientemente anchos y profundos para manejar el flujo sin desbordarse.

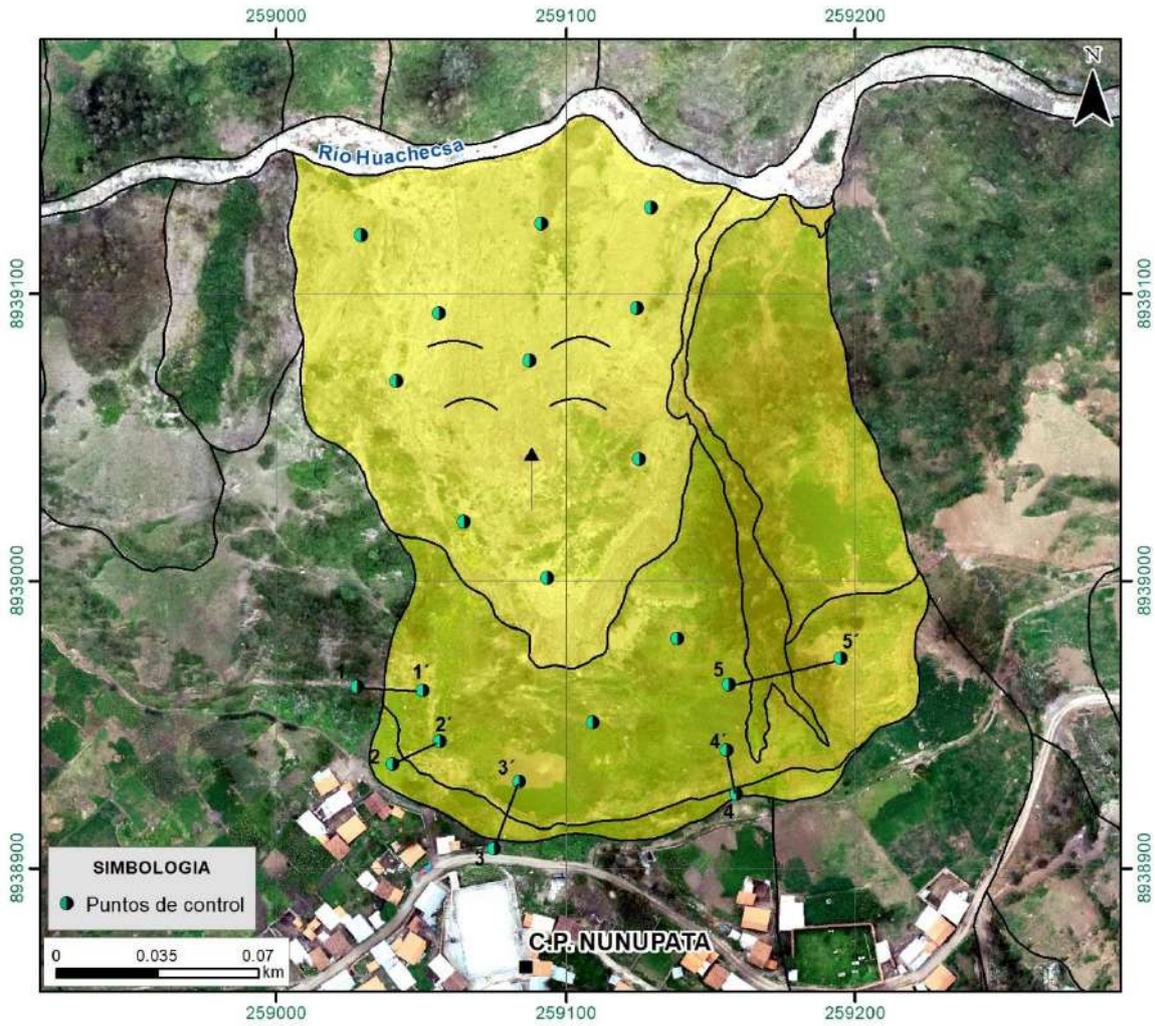


Figura 46. Mapa propuesto para monitoreo con estacas o puntos gps.

Ing. Guisela Choquenaira Garate

ING. JERSY MARIÑO SALAZAR
Director (e)
Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico
INGEMMET

12. BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA

Azañon, J., Peña, J., Teixidó, T., Mateos, R., Yesares, J., Delgado, J., & Tsiege, M. (2009). Evaluación de la edificación de los sistemas de drenaje mediante tomografía eléctrica en el deslizamiento de Diezma (Granada). *ResearchGate*, 2-4.

Bouwer, H., 1989. The Bouwer and Rice slug test--an update, *Ground Water*, vol. 27, no. 3, pp. 304-309.

Bouwer, H. and R.C. Rice, 1976. A slug test method for determining hydraulic conductivity of unconfined aquifers with completely or partially penetrating wells, *Water Resources Research*, vol. 12, no. 3, pp. 423-428.

Choquenaira Garate, G., Núñez Juárez, S., Fidel Smoll, L., Núñez Peredo, M., & Ccorimanya Chalco, E. (2022). *Evaluación de peligros geológicos por deslizamiento en el centro poblado Nunupata*. Distrito Chavín de Huántar, provincia Huari, departamento Áncash. Lima: Ingemmet. Informe Técnico A7312, 46 p.: Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico.

Cobbing, & Sanchez, A. (1996). Memoria descriptiva del cuadrángulo de Recual (20-i). *INGEMMET*.

Dentith, M., & Mudge, S. (2014). *Geophysics for the mineral exploration Geoscientist*. Cambridge University Press: British library.

Jongmans, D., Demanet, D., Havenith, H., & Hemroulle, P. (1999). Application of 2D electrical and seismic tomography techniques for investigating landslide sites. *European Association of Geoscientists & Engineers*, 35-97.

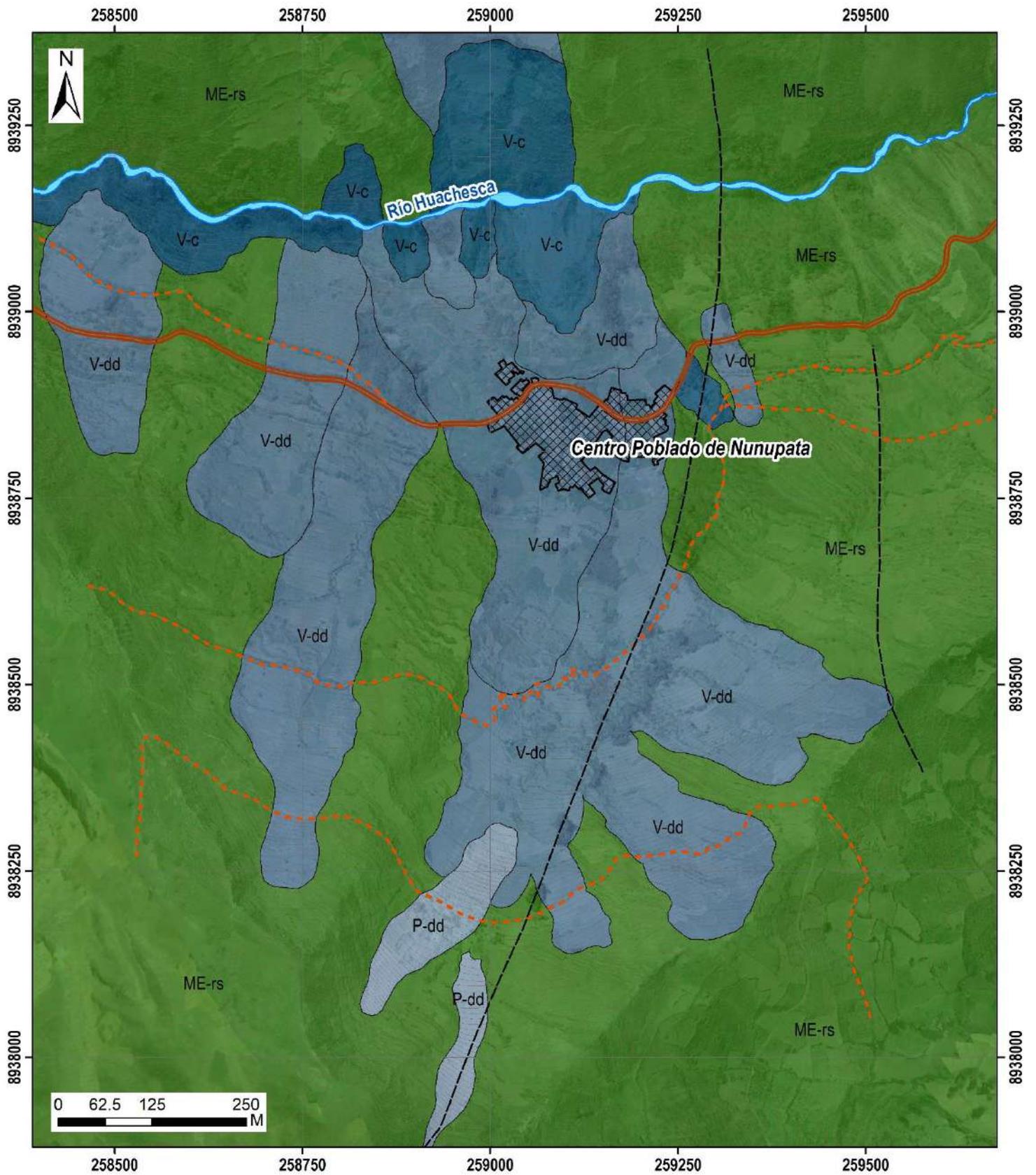
Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (23 de octubre 2018). Modifican la normal Técnica E.030 diseño sismoresistente del reglamento nacional e edificaciones. *Resolución Ministerial N°355-2018-Vivienda*, 3-5.

Pari, W., Carlotto, V., Cárdenas, J., Oviedo, M., Douma, M., Best, M., & Bobrowsky, P. (2005). Aplicación de la Geofísica (Resistividad 2D y Georadar-GPR) en la ciudadela inca de Machu Picchu: Cusco-Perú. *Sociedad Geológica del Perú*, 50-53.

Redpath, B. (1973). Technical Report E-73-4 Seismic refraction exploration for engineering site investigation. *U.S Army engineer waterways experiment station explosive excavation research laboratory*.

Zlotnik, V., 1994. Interpretation of slug and packer tests in anisotropic aquifers, *Ground Water*, vol. 32, no. 5, pp. 761-766.

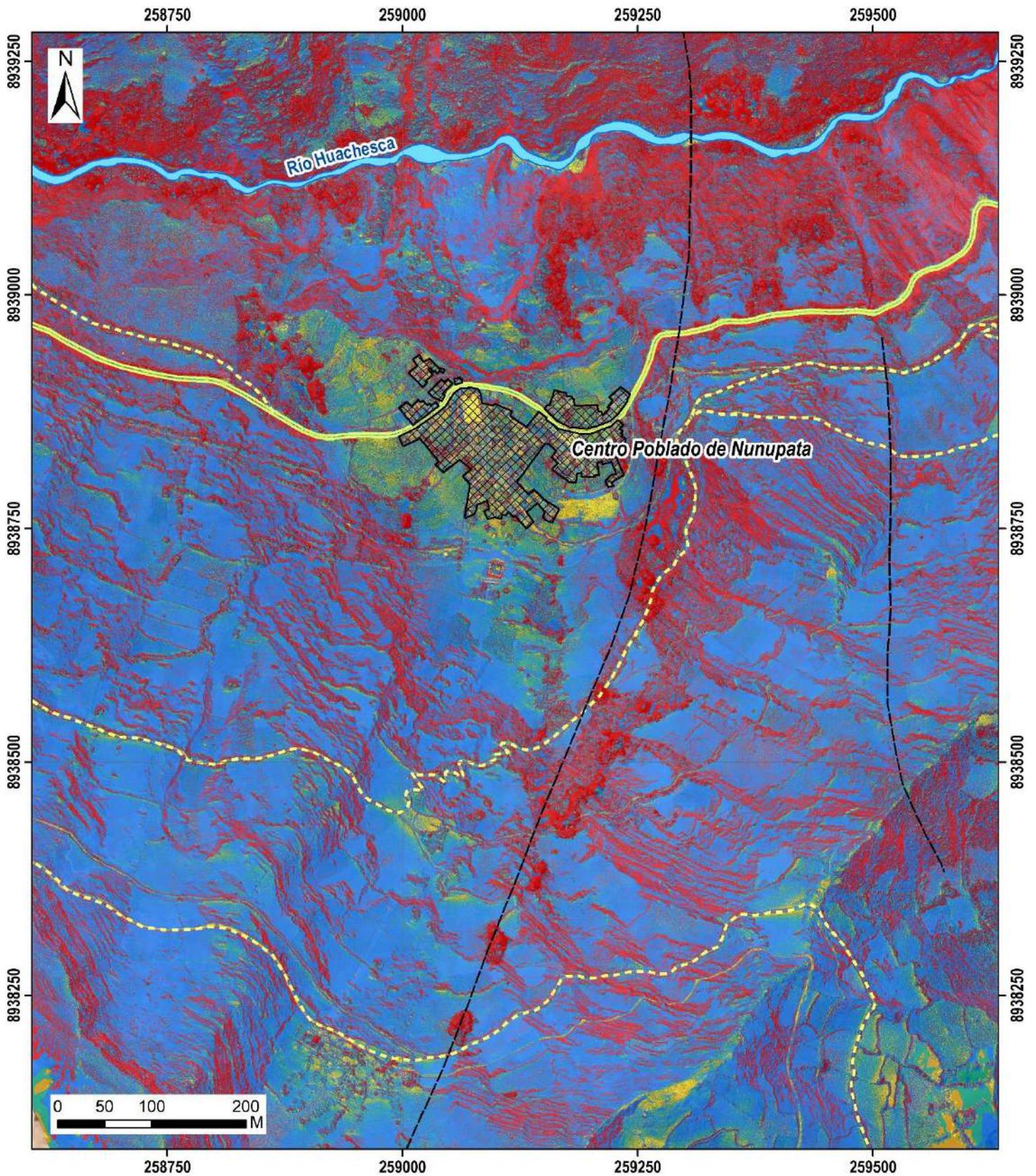
ANEXO 1: MAPAS



UNIDAD	SUBUNIDAD GEOMORFOLOGICA	
MONTAÑA	Montaña estructural en roca sedimentaria	ME-rs
VERTIENTE	Vertiente coluvial	V-c
	Vertiente con depósito de deslizamiento	V-dd
PIEDEMONTE	Piedemonte de detritos	P-dd

SIMBOLOGÍA	
	Falla inferida
	Centro poblado
	Curvas de nivel
	Via vecinal
	Camino de herradura

<p>SECTOR ENERGÍA Y MINAS INGEMMET INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO</p>	
<p>ACT. 11: EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS A NIVEL NACIONAL</p>	
<p>MAPA GEOMORFOLÓGICO</p>	<p>MAPA</p>
<p>Escala 1:5 000 Datum UTM WGS 84 Zona 18s Versión digital: año 2023 Impreso: Marzo 2023</p>	
<p>01</p>	



RANGO DE PENDIENTES

0°-1°	Terreno llano
1°-5°	Terreno inclinado con pendiente suave
5°-15°	Pendiente moderada
15°-25°	Pendiente fuerte
25°-45°	Pendiente muy fuerte a escarpada
>45°	Terreno muy escarpado

SIMBOLOGÍA

	Falla inferida
	Centro poblado
	Vía vecinal
	Camino de herradura



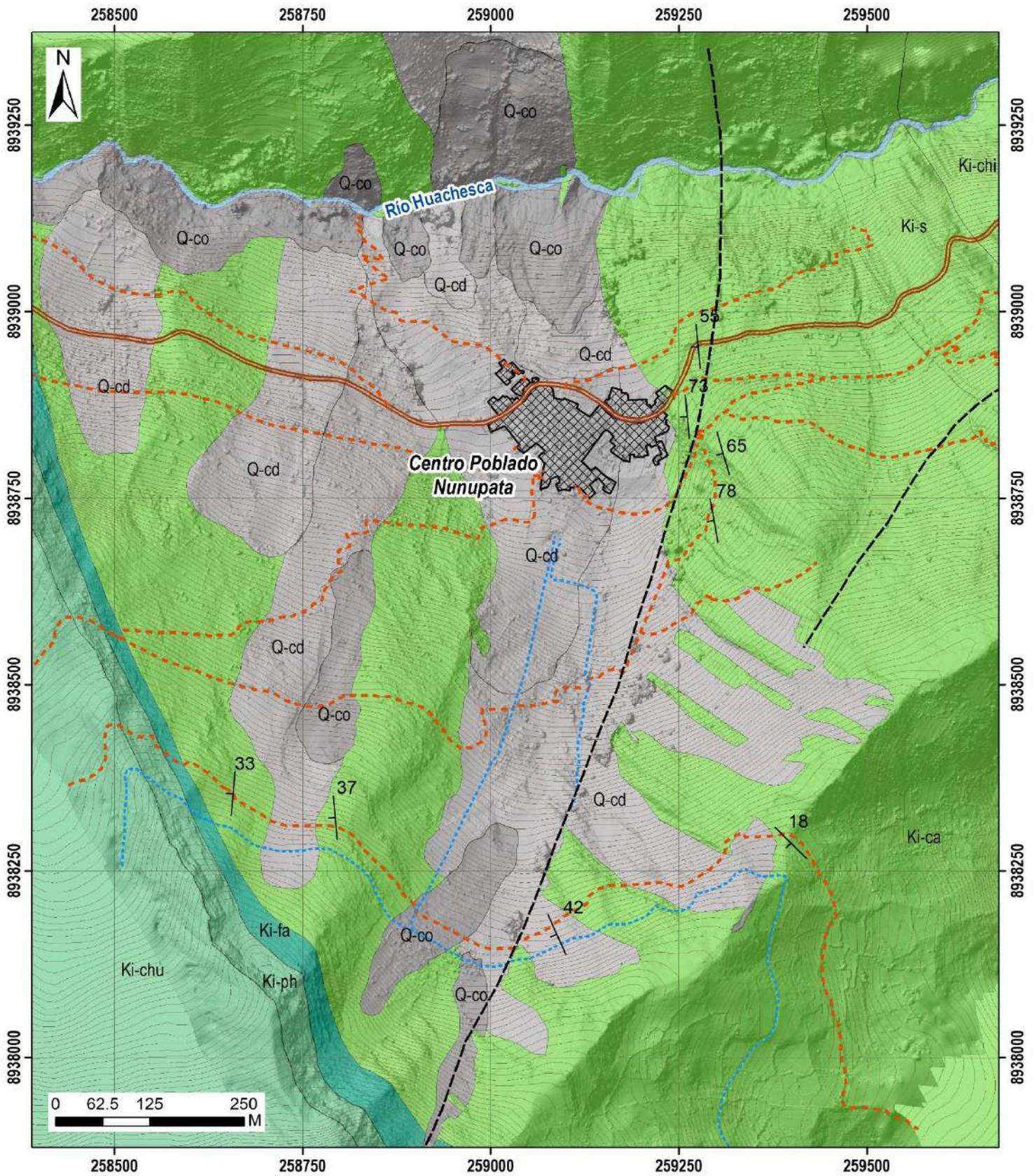
ACT. 11: EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS A NIVEL NACIONAL

PENDIENTES DE LOS TERRENOS

MAPA

02

Escala 1:4 000 Datum UTM WGS 84 Zona 18s
 Versión digital: año 2023 Impreso: Marzo 2023



ERATEMA	SISTEMA	SERIE	UNIDADES LITOSTRATIGRÁFICAS
CENOZOICO	CUATERNARIO	HOLOCENO	Depósito coluvial Q-co
			Depósito coluvio-deluvial Q-cd
MESOZOICO	CRETÁCICO	INFERIOR	Formación Chúlec Ki-chu
			Formación Pariahuanca Ki-ph
			Formación Farrat Ki-fa
			Formación Carhuaz Ki-ca
			Formación Santa Ki-s
			Formación Chimu Ki-chi

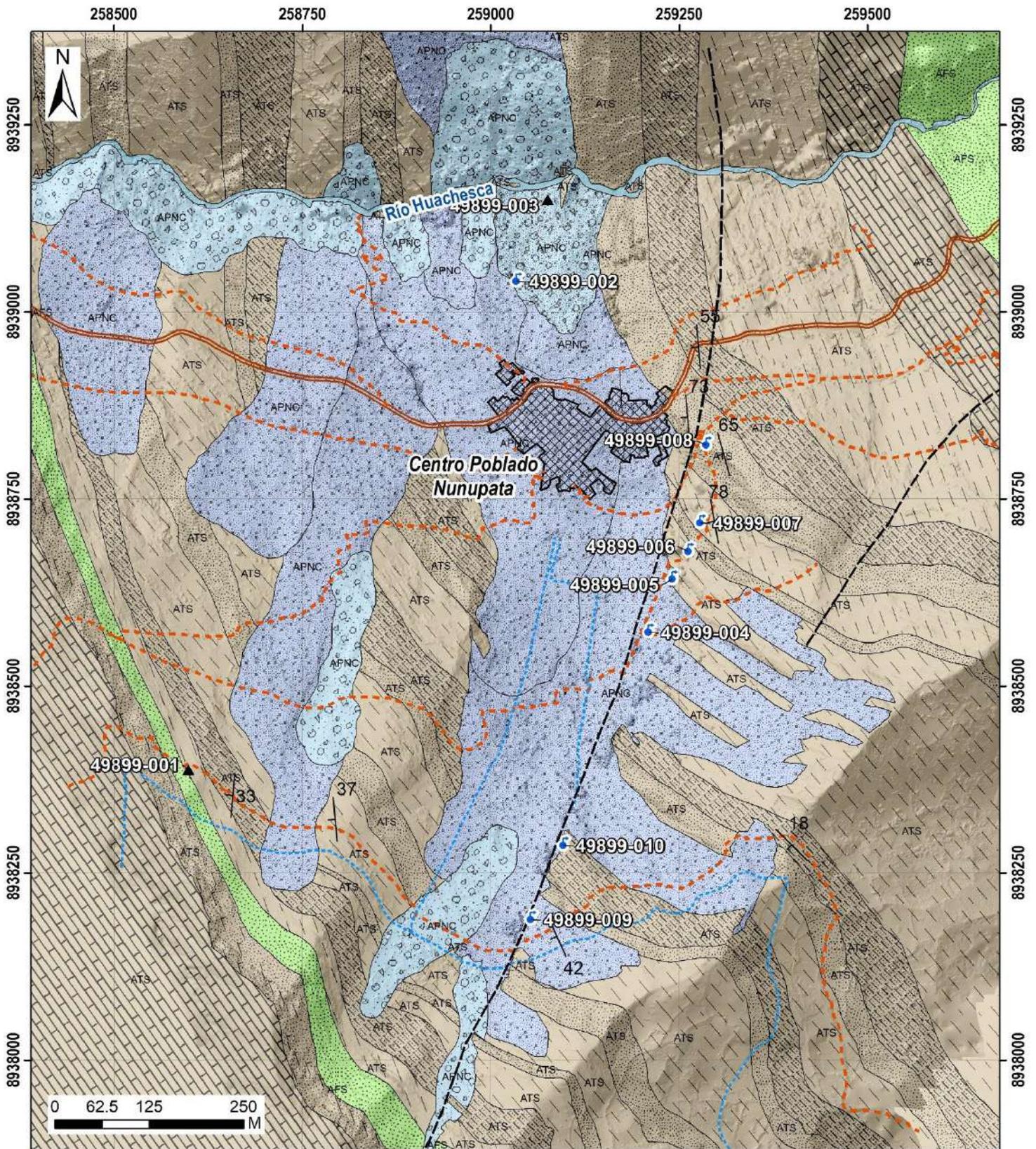
SIMBOLOGÍA	
	Rumbos y buzamientos
	Falla inferida
	Centro poblado
	Curvas de nivel
	Vía vecinal
	Camino de herradura



SECTOR ENERGÍA Y MINAS
INGEMMET
INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO

ACT. 11: EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS A NIVEL NACIONAL

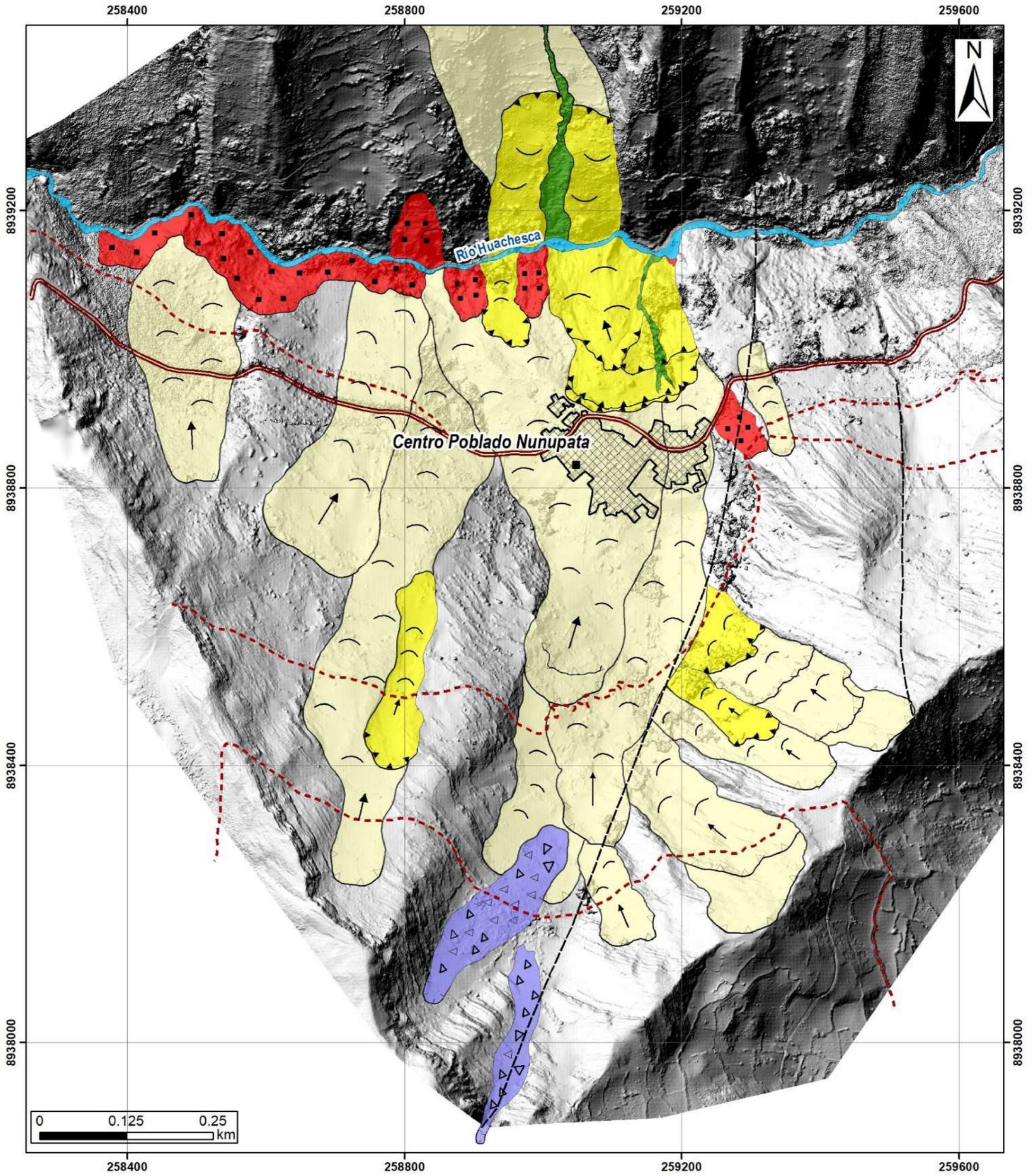
MAPA GEOLÓGICO	MAPA
Escala 1:5 000 Datum UTM WGS 84 Zona 18s Versión digital: año 2023 Impreso: Marzo 2023	03



	Q-cd		APNC		Lim-Ar
	Q-co		AFS		Grav-Bloq
	Q-co		ATS		Lim-Bloq
	Ki-chi Ki-fa				Aren-b
	Ki-ph				Aren-Lut-Ph
	Ki-ca				Lim-Lut
	Ki-ca				Lim-Lut-R
	Ki-ca				Aren
	Ki-ca				Aren_Lim
	Ki-chu Ki-s				Calz

SIMBOLOGÍA	
	Rumbos y buzamientos
	Falla inferida
	Centro poblado
	Curvas de nivel
	Vía vecinal
	Camino de herradura

 SECTOR ENERGÍA Y MINAS INGEMMET INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO	
ACT. 11: EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS A NIVEL NACIONAL	
MAPA HIDROGEOLÓGICO	MAPA
Escala 1:5 000 Datum UTM WGS 84 Zona 18s Versión digital: año 2023 Impreso: Marzo 2023	
04	



LEYENDA
Peligros geológicos y otros peligros

	Derrumbes activos		Avalancha de rocas
	Deslizamiento activo		Erosión de ladera
	Deslizamientos inactivo latente		

SIMBOLOGIA

	Escarpa de deslizamiento
	Arranque de derrumbes
	Falla inferida
	Vía vecinal
	Trocha carrozable
	Centro poblado

SECTOR ENERGÍA Y MINAS
INGEMMET
 INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO

ACT. 11: EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS A NIVEL NACIONAL

CARTOGRAFÍA DE PELIGROS GEOLÓGICOS	MAPA 05
Escala 1:5 000 Datum UTM WGS 84 Zona 18s Versión digital: año 2023 Impreso: Abril 2023	

ANEXO 2: INVESTIGACIONES GEOMECÁNICAS BÁSICAS

	FORMATO	Código : M2.1-F-079
	CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA	Versión : 00
		Fecha aprob. : 22/11/2021
		Página : 1 de 1

Sector: NUNUPATA Ubicación: ESTACIONES GEOMECANICAS POR: RICHARD REMY HUAYTA PACCO

LADERA W

FECHA: 28/03/2023

HOJA: 1de2

N° ESTACIÓN	ORIENTACIÓN DE LA CARA		TRAMO		VALORACIÓN DEL MACIZO ROCOSO (R.M.R. 1989)											
	DIP DIRECTION	DIP	DESDE	HASTA	PARÁMETRO		RANGO DE VALORES								VALOR	
1	65	72														
TIPO DE ROCA					FRECUENCIA FRACTURA											
A		%	B		%	N° Fract. / mt.										
Arenisca		80	Lutita		20	20										
TIPO ESTRUCT.	ORIENTACIÓN		ESPACIAMIENTO	RELLENO		COMENTARIOS										
S	DIP DIRECTION	DIP		TIPO	ESPESOR											
S	255	47	0,06-0,2	A	1mm											
J	340	63	0,06-0,2	A	1mm											
J	358	83	0,02-0,06	A	0,5 mm											
J	89	56	0,06-0,2	-	-											
AGUA SUBTERRÁNEA																
							VALOR TOTAL RMR (Suma de valoración 1 a 5) =								45	
							CLASE DE MACIZO ROCOSO									
							RMR	100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	20 - 0				
							DESCRIPCION	I MUY BUENA	II BUENA	III REGULAR	IV MALA	V MUY MALA	III			

GRADO	ÍNDICE DE RESISTENCIAS IDENTIFICACIÓN DE CAMPO	RANGO RESIS. COMP. Mpa
R1	Deleznable con golpes firmes con la punta de martillo de geólogo se desconcha con una cuchilla	1,0 - 5,0
R2	Se desconcha con dificultad con cuchilla. Marcas poco profundas en la roca con golpe firme del martillo (de punta)	5 - 25
R3	No se raya ni desconcha con cuchillo. La muestra se rompe con golpe firme del martillo	25 - 50
R4	La muestra se rompe con mas de un golpe del martillo	50 - 100
R5	Se requiere varios golpes de martillo para romper la muestra	100 - 250
R6	Solo se rompe esquirlas de la muestra con el martillo	> 250

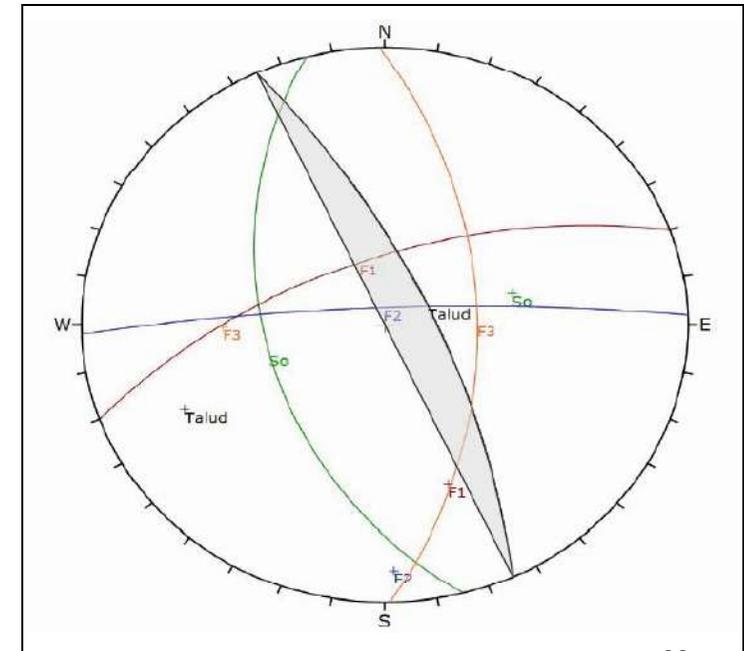
ABREVIACION DE TIPO DE ROCA			
Ar	Arenisca	Lt	Lutita
de grano fino niveles sanos con niveles fracturados			

ABREVIACION DE TIPO DE ESTRUCTURAS			
J	Diaclasa		
Fn	Falla		
S1	Esquistosidad		
S	Estratificación		

ABREVIACION DE TIPO DE RELLENO			
A	Arcilla	S	Arena
G	Grava	B	Brecha
Q	Cuarzo	C	Calcita
Y	Yeso	O	Óxido

ESPACIADO (mm)	
Extremadamente juntas	< 20
Muy juntas	20 - 60
Juntas	60 - 200
Moderadamente juntas	200 - 600
Separadas	600 - 2000
Muy separadas	2000 - 6000
Extremadam. Separadas	> 6000

GRADO (ISRM)	ÍNDICE DE ALTERACIÓN DESCRIPCIÓN
I SANA	No aparecen signos de meteorización
II ALGO METEOR.	La decoloración indica alteración del material rocoso y de las superficies de discontinuidad. Todo el conjunto rocoso está decolorado por meteorización.
III METEORIZADA	Menos de la mitad del macizo rocoso aparece descompuesto y/o transformado en suelo. La roca fresca o decolorada aparece como una estructura continua o como núcleos aislados.
IV MUY METEOR.	Más de la mitad del macizo rocoso aparece descompuesto y/o transformado en suelo. La roca fresca o decolorada aparece como una estructura continua o como núcleos aislados.
V COMPLETAM. METEOR.	Todo el macizo rocoso aparece descompuesto y/o transformado en suelo. Se ha conserva intacta la estructura original del macizo rocoso.
VI SUELO RESID.	Todo el macizo rocoso se ha transformado en un suelo. Se ha destruido la estructura del macizo rocoso y la fábrica del material.



	FORMATO	Código : M2.1-F-079
	CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA	Versión : 00
		Fecha aprob. : 22/11/2021
		Página : 1 de 1

Sector: NUNUPATA Ubicación: ESTACIONES GEOMECANICAS POR: RICHARD REMY HUAYTA PACCO
LADERA E FECHA: 28/03/2023
 HOJA: 2 de 2

N° ESTACIÓN	ORIENTACIÓN DE LA CARA		TRAMO		VALORACIÓN DEL MACIZO ROCOSO (R.M.R. 1989)										
	DIP DIRECTION	DIP	DESDE	HASTA	PARÁMETRO		RANGO DE VALORES								VALOR
1	65	72			FRECUCENCIA FRACTURA										
TIPO DE ROCA					N° Fract. / ml.										
A		%	B		%										
Arenisca		80	Lutita		20										
TIPO	ORIENTACIÓN		RELLENO		COMENTARIOS	R. COMPRES. UNIAxIAL (MPa)	>250 (15)	100-250 (12)	x 50-100 (7)	25-50 (4)	<25(2) <5(1) <1(0)	1	7		
ESTRUC.	DIP DIRECTION	DIP	TIPO	ESPESOR		ESPACIAMIENTO (m)	>2 (20)	0,6-2 (15)	0,2-0,6 (10)	x 0,06-0,2 (8)	<0,06 (5)	3	8		
S	146	76	0,2-0,6	-	PERSISTENCIA (1)	<1m long. (6)	x 1-3 m Long. (4)	3-10m (2)	10-20 m (1)	>20 m (0)	4A	4			
J	350	69	0,06-0,2	A	ABERTURA (2)	Cerrada (6)	<0,1mm apert. (5)	0,1-1,0mm (4)	x 1-5 mm (1)	>5 mm (0)	4B	1			
J	257	70	0,06-0,2	-	RUGOSIDAD (3)	Muy rugosa (6)	x Rugosa (5)	Lig.rugosa (3)	Lisa (1)	Espejo de falla (0)	4C	5			
J	108	23	0,06-0,2	-	RELLENO (4)	Limpia (6)	Duro <5mm (4)	Duro>5mm (2)	x Suave <5 mm (1)	Suave >5 mm (0)	4D	1			
					ALTERACIÓN (5)	Sana (6)	x Lig.Alterada. (5)	Mod.Alterada. (3)	Muy Alterada. (2)	Descompuesta (0)	4E	5			
					AGUA SUBTERRÁNEA	Seco (15)	x Húmedo (10)	Mojado (7)	Goteo (4)	Flujo (0)	5	10			
VALOR TOTAL RMR (Suma de valoración 1 a 5) = 58															
CLASE DE MACIZO ROCOSO						RMR	100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	20 - 0	III			
DESCRIPCION						I MUY BUENA	II BUENA	III REGULAR	IV MALA	V MUY MALA					

GRADO	ÍNDICE DE RESISTENCIAS IDENTIFICACIÓN DE CAMPO	RANGO RESIS. COMP. Mpa
R1	Deleznable con golpes firmes con la punta de martillo de geólogo se desconcha con una cuchilla	1,0 - 5,0
R2	Se desconcha con dificultad con cuchilla. Marcas poco profundas en la roca con golpe firme del martillo (de punta)	5 - 25
R3	No se raya ni desconcha con cuchillo. La muestra se rompe con golpe firme del martillo	25 - 50
R4	La muestra se rompe con mas de un golpe del martillo	50 - 100
R5	Se requiere varios golpes de martillo para romper la muestra	100 - 250
R6	Solo se rompe esquirlas de la muestra con el martillo	> 250

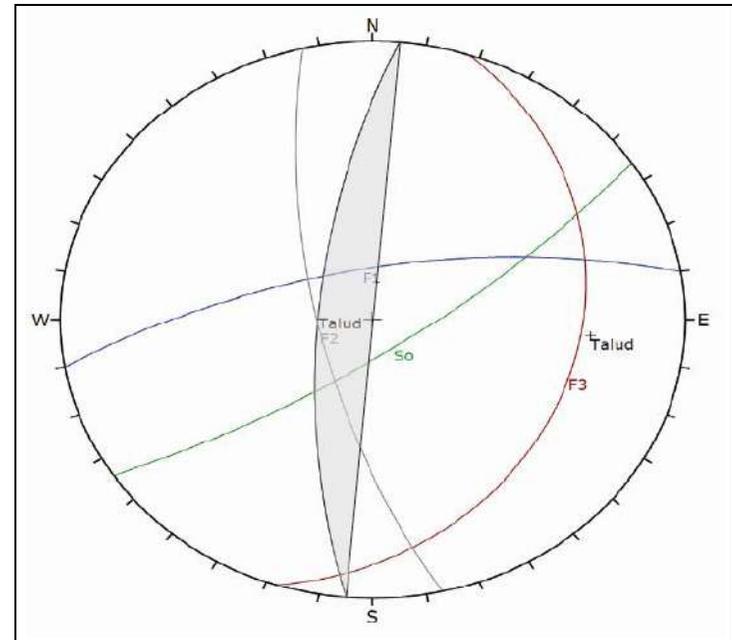
ABREVIACION DE TIPO DE ROCA			
Ar	Arenisca de grano fino niveles sanos con niveles fracturados	Lt	Lutita

ABREVIACION DE TIPO DE ESTRUCTURAS			
J	Diaclasa		
Fn	Falla		
S1	Esquistosidad		
S	Estratificación		

ABREVIACION DE TIPO DE RELLENO			
A	Arcilla	S	Arena
G	Grava	B	Brecha
Q	Cuarzo	C	Calcita
Y	Yeso	O	Óxido

ESPACIADO (mm)	
Extremadamente juntas	< 20
Muy juntas	20 - 60
Juntas	60 - 200
Moderadamente juntas	200 - 600
Separadas	600 - 2000
Muy separadas	2000 - 6000
Extremadam. Separadas	> 6000

GRADO (ISRM)	ÍNDICE DE ALTERACIÓN DESCRIPCIÓN
I SANA	No aparecen signos de meteorización
II ALGO METEOR.	La decoloración indica alteración del material rocoso y de las superficies de discontinuidad. Todo el conjunto rocoso está decolorado por meteorización.
III METEORIZADA	Menos de la mitad del macizo rocoso aparece descompuesto y/o transformado en suelo. La roca fresca o decolorada aparece como una estructura continua o como núcleos aislados.
IV MUY METEOR.	Más de la mitad del macizo rocoso aparece descompuesto y/o transformado en suelo. La roca fresca o decolorada aparece como una estructura continua o como núcleos aislados.
V COMPLETAM. METEOR.	Todo el macizo rocoso aparece descompuesto y/o transformado en suelo. Se ha conservado intacta la estructura original del macizo rocoso.
VI SUELO RESID.	Todo el macizo rocoso se ha transformado en un suelo. Se ha destruido la estructura del macizo rocoso y la fábrica del material.



ANEXO 3: RESULTADOS DE LABORATORIO

 UNIVERSIDAD DE LIMA	ENSAYO PARA DETERMINAR EL CONTENIDO DE HUMEDAD DE UN SUELO (ASTM C566-19)			Proceso: Extensión y desarrollo social Subproceso: Consultoría empresarial
	Elaborado por	Revisado por	Aprobado por	Fecha de vigencia: 26/03/2021
	CIV	CIV	CIV	Versión: 01
	A. Domínguez	M. López	J. Salinas	Código: EDS-2-FIA/CIV/L-R-027

DATOS DEL PROYECTO

Evaluación ingeniero -geológica del centro poblado de Nunupata

Id. proyecto	: -	Informe N° : U - 1
Ubicación	: Centro poblado Nunupata; distrito: Chavín de Huántar; provincia: Huari; región: Ancash.	
Solicita	: Ingemmet	
Responsable	: Dr. Marko Lopez Bendezu	

DATOS DE LA MUESTRA

Id. Muestra	: M-1	Fecha de muestreo	: 20/03/2023
Fuente	: Calicata	Fecha de recepción	: 12/05/2023
Muestra	: M-1 (Suelo depósito coluvio-deluvial)	Fecha de ensayo	: 15/05/2023
Profundidad (m)	: 2.6 m	Método cuarteo (NTP 339.089)	: B

ENSAYO DE CONTENIDO DE HUMEDAD

Descripción	Unidad	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3
Temperatura	°C	19	19	19
Masa de la vasija	g	250.0	250.0	0.0
Masa de agregado húmedo y vasija	g	1903.2	1875.5	0.0
Masa de agregado seco y vasija	g	1750.2	1720.3	0.0
Masa de agua	g	153.0	155.2	0.0
Masa de agregado seco	g	1500.2	1470.3	0.0
Contenido de humedad	%	10.2	10.6	0.0
Contenido de humedad promedio	%	10.4		

Observaciones:

1. La muestra fue provista e identificada por el solicitante.

 UNIVERSIDAD DE LIMA	ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECÍFICA DE SÓLIDOS DEL SUELO (Norma de referencia: ASTM D854)			Proceso: Extensión y desarrollo social Subproceso: Consultoría empresarial
	Elaborado por	Revisado por	Aprobado por	Fecha de vigencia: 26/03/2020
	CIV	CIV	CIV	Versión: 01
	A. Domínguez	M. López	J. Salinas	Código: FA-2-FIA/CIV/L-R-051
DATOS DEL PROYECTO				
Evaluación ingeniero -geológica del centro poblado de Nunupata				
Id. proyecto	:			Informe N°: U - 2
Ubicación	: Centro poblado Nunupata; distrito: Chavín de Huántar; provincia: Huarí; región: Ancash.			
Solicita	: Ingemmet			
Responsable	: Dr. Marko Lopez Bendezu			
DATOS DE LA MUESTRA				
Id. Muestra	: M-1			Fecha de muestreo : 20/03/2023
Fuente	: Calicata			Fecha de recepción : 12/05/2023
Muestra	: M-1 (Suelo depósito coluvio-deluvial)			Fecha de ensayo : 15/05/2023
Profundidad (m)	: 2.6 m			Método cuarteo (NTP 339.089) : B
ENSAYO				

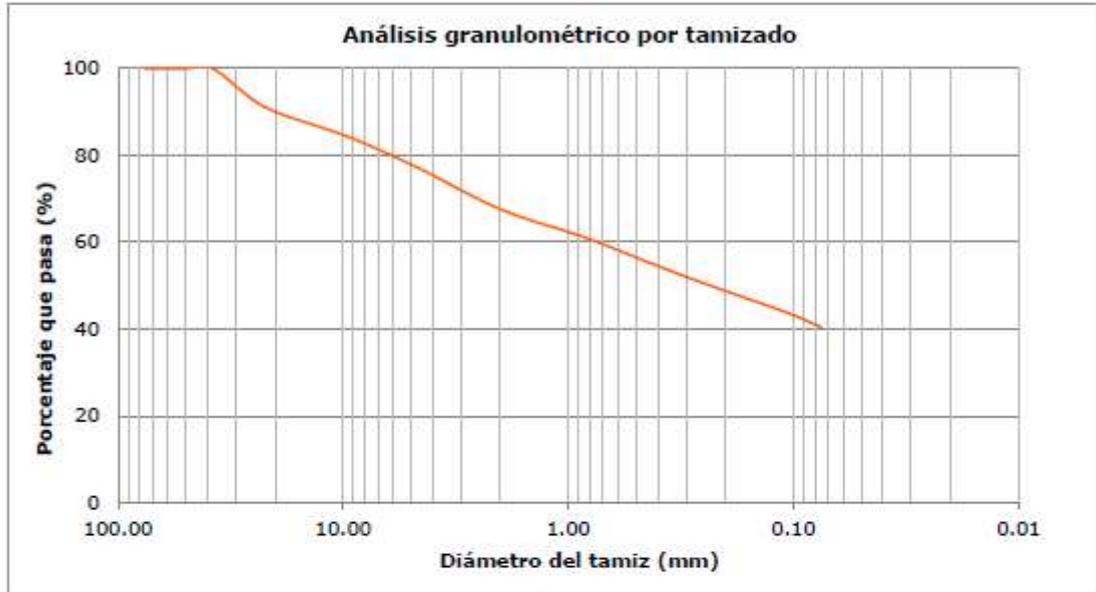
Descripción	Símbolo	Ensayo 1	Ensayo 2
Picnómetro N°	n	A-P3	A-P1
Temperatura de ensayo (°C)	T	23	23
Coefficiente de temperatura	K	1.0000	1.0000
Densidad del agua (g/mL)	$\rho_{w,t}$	0.9982	0.9982
Masa del picnómetro (g)	M_p	166.6	218.92
Masa del suelo seco (g)	M_s	100.35	100.58
Masa del picnómetro, suelo y agua (g)	$M_{pws,t}$	727.74	780.37
Masa del picnómetro y agua (g)	$M_{pw,t}$	664.38	716.93
Volumen del picnómetro (cm ³)	V_p	498.68	498.91
Volumen de sólidos (cm ³)	V_s	36.99	37.14
Gravedad específica de sólidos	G_s	2.71	2.71
Gravedad específica (a 20°C)	$G_{20°C}$	2.71	2.71
Gravedad específica promedio	$G_{20°C}$	2.71	

Observaciones:

1. La muestra fue provista e identificada por el solicitante.

 UNIVERSIDAD DE LIMA	ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE SUELOS Y CLASIFICACIÓN DE SUELOS (Norma de referencia: NTP 339.128, ASTM D2487 y ASTM D3282)			Proceso: Extensión y desarrollo social Subproceso: Consultoría empresarial		
	Elaborado por	Revisado por	Aprobado por	Fecha de vigencia: 15/03/2020		
	CIV	CIV	CIV	Versión: 01		
	A. Domínguez	M. López	J. Salinas	Código: EDS-2-FIA/CIV/L-R-029		
DATOS DEL PROYECTO						
Evaluación ingeniero -geológica del centro poblado de Nunupata						
Id. proyecto	: -			Informe N° : U - 3		
Ubicación	: Centro poblado Nunupata; distrito: Chavín de Huántar; provincia: Huarí; región: Ancash.					
Solicita	: Ingemmet					
Responsable	: Dr. Marko Lopez Bendezu					
DATOS DE LA MUESTRA						
Id. Muestra	: M-1		Fecha de muestreo : 20/03/2023			
Fuente	: Calicata		Fecha de recepción : 12/05/2023			
Muestra	: M-1 (Suelo depósito coluvio-deluvial)		Fecha de ensayo : 17/05/2023			
Profundidad (m)	: 2.6 m		Método cuarteo (NTP 339.089) : B			
ENSAYO						
Peso de la muestra (g):		4,637.4	Peso de la submuestra (pasa la malla N° 10) (g):		100	
Peso retenido en malla N° 10 (g):		1,503.4				
Peso pasa la malla N° 10 (g):		3,134.0				
GRANULOMETRÍA (FRACCIÓN GRUESA: RETENIDO EN MALLA N° 10)						
Tamices		Peso retenido (g)	Porcentaje retenido (%)	Porcentaje ret. acumulado (%)	Porcentaje que pasa (%)	Porcentaje que pasa (%)
pulg.	mm.					
3	76.2	0.0	0.0	0.0	- - -	100.0
2	50.8	0.0	0.0	0.0	- - -	100.0
1.5	38.1	0.0	0.0	0.0	- - -	100.0
1	25.4	326.6	7.0	7.0	- - -	93.0
0.75	19.05	157.0	3.4	10.4	- - -	89.6
0.375	9.52	245.4	5.3	15.7	- - -	84.3
N° 4	4.75	320.5	6.9	22.6	- - -	77.4
N° 10	2	453.9	9.8	32.4	- - -	67.6
GRANULOMETRÍA (FRACCIÓN FINA: PASA LA MALLA N° 10)						
N° 20	0.841	9.7	9.7	9.66	90.3	61.1
N° 40	0.42	9.0	9.0	18.67	81.3	55.0
N° 60	0.25	6.6	6.6	25.22	74.8	50.5
N° 140	0.105	10.2	10.2	35.46	64.5	43.6
N° 200	0.075	4.8	4.8	40.25	59.8	40.4

 UNIVERSIDAD DE LIMA	ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE SUELOS Y CLASIFICACIÓN DE SUELOS (Norma de referencia: NTP 339.128, ASTM D2487 y ASTM D3282)			Proceso: Extensión y desarrollo social Subproceso: Consultoría empresarial
	Elaborado por	Revisado por	Aprobado por	Fecha de vigencia: 15/03/2020
	CIV	CIV	CIV	Versión: 01
	A. Domínguez	M. López	J. Salinas	Código: EDS-2-FIA/CIV/L-R-029
DATOS DEL PROYECTO				
Evaluación ingeniero -geológica del centro poblado de Nunupata				



Contenido	
Grava (3 1/2" - N° 4) (%) :	22.6
Arena (N° 4 - N° 200) (%) :	37.0
Finos (menor a N° 200) (%) :	40.4

Descripción
Arena Limosa bien gradada, Ligeramente gravosa de color marron claro.

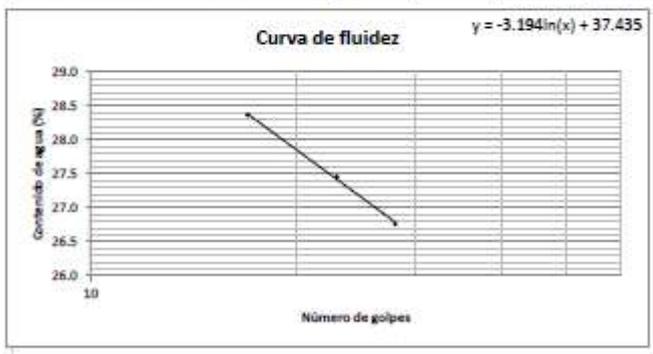
Propiedades del Material	
Tamaño máximo de los fragmentos (mm):	25.40
Forma predominante de la fracción gruesa:	Angulosa
Coefficiente de uniformidad (Cu):	- - -
Coefficiente de curvatura (Cc):	- - -
Límite Líquido (%):	N P
Límite Plástico (%):	N P
Índice de Plasticidad(%):	N P
Contenido de humedad (%):	2.5
Clasificación (SUCS):	S M
Clasificación (AASHTOO):	A - 4 (0)

 UNIVERSIDAD DE LIMA	ENSAYO PARA DETERMINAR EL LÍMITE LÍQUIDO, LÍMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD (Norma de referencia: NTP 339.129)			Proceso: Extensión y desarrollo social Subproceso: Consultoría empresarial
	Elaborado por	Revisado por	Aprobado por	Fecha de vigencia: 19/03/2020
	CIV	CIV	CIV	Versión: 01
	A. Domínguez	M. López	J. Salinas	EDS-2-FIA/CIV/L-R-033

DATOS DEL PROYECTO	
Evaluación ingeniero -geológica del centro poblado de Nunupata	
Id. proyecto	: - Informe N° : U - 4
Ubicación	: Centro poblado Nunupata; distrito: Chavin de Huántar; provincia: Huarí; región: Ancash.
Solicita	: Ingemmet
Responsable	: Dr. Marko Lopez Bendezu

DATOS DE LA MUESTRA	
Id. Muestra	: M-1 Fecha de muestreo : 20/03/2023
Fuente	: Calicata Fecha de recepción : 12/05/2023
Muestra	: M-1 (Suelo depósito coluvio-deluvial) Fecha de ensayo : 19/05/2023
Profundidad (m)	: 2.6 m Método de reducción de muestra : B

LÍMITE LÍQUIDO, LÍMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD						
Tipo de ensayo	LÍMITE LÍQUIDO			LÍMITE PLÁSTICO		
	28	23	17			
Número de golpes				2.0	85	22.0
Vasija N°	R7	R11	B4			
Masa de Tara (g)	24.43	23.90	24.61	23.50	24.49	0.00
Masa de Tara y Suelo Húmedo (g)	53.70	62.75	66.92	39.65	39.95	0.00
Masa de Tara y Suelo Seco (g)	47.52	54.38	57.57	36.92	37.33	0.00
Masa del agua contenida (g)	6.18	8.37	9.35	2.73	2.62	0.00
Masa suelo seco (g)	23.09	30.48	32.96	13.42	12.84	0.00
Contenido de agua (%)	26.76	27.46	28.37	20.34	20.40	- - -
Log (Número de golpes)	3.33	3.14	2.83	- - -	- - -	- - -



LÍMITES DE PLASTICIDAD	
Límite líquido (LL)	27
Límite plástico (LP)	20
Índice plástico (IP)	7

Observaciones:

1. La muestra fue provista e identificada por el solicitante.

 UNIVERSIDAD DE LIMA	MÉTODO DE ENSAYO ESTÁNDAR PARA LA DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD (PESO UNITARIO) DEL SUELO (Norma ASTM D 7263) Método: A (Desplazamiento de Agua)			Proceso: Extensión y desarrollo social Subproceso: Consultoría empresarial
	Elaborado por	Revisado por	Aprobado por	Fecha de vigencia: 30/05/2021
	CIV	CIV	CIV	Versión: 01
	A. Dominguez	M. López	J. Salinas	Código: EDS-2-FIA/CIV/L-R-036
DATOS DEL PROYECTO				
Evaluación ingeniero -geológica del centro poblado de Nunupata				
Id. proyecto	:-			Informe N° : U - 5
Ubicación	: Centro poblado Nunupata; distrito: Chavín de Huántar; provincia: Huarli; región: Ancash.			
Solicita	: Ingemmet			
Responsable	: Dr. Marko Lopez Bendezu			
DATOS DE LA MUESTRA				
Id. Muestra	: M-1	Fecha de muestreo : 20/03/2023		
Fuente	: Calicata	Fecha de recepción : 12/05/2023		
Muestra	: M-1 (Suelo depósito coluvio-deluvial)	Fecha de ensayo : 19/05/2023		
Profundidad	: 2.6 m			
ENSAYO				

Descripción	Unidad	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3
Temperatura	°C	20	0	0
Coefficiente de corrección	- - -	1.00	0.00	1.00
Densidad del agua	g/cm ³	0.998	0.000	1.000
Densidad de la parafina	g/cm ³	0.87	0.00	0
Masa del suelo húmedo	g	270.00	0.00	0.00
Masa del suelo húmedo + parafina	g	285.00	0.00	0.00
Masa del suelo húmedo + parafina sume	g	138.20	0.00	0.00
Densidad total del espécimen	g/cm ³	2.08	0.00	0.00
Densidad promedio del espécimen	g/cm ³	0.69		

Observaciones:

1. La muestra fue provista e identificada por el solicitante.

 UNIVERSIDAD DE LIMA	ENSAYO PARA DETERMINAR EL CONTENIDO DE HUMEDAD DE UN SUELO (ASTM C566-19)			Proceso: Extensión y desarrollo social Subproceso: Consultoría empresarial
	Elaborado por	Revisado por	Aprobado por	Fecha de vigencia: 26/03/2021
	CIV	CIV	CIV	Versión: 01
	A. Domínguez	M. López	J. Salinas	Código: EDS-2-FIA/CIV/L-R-027

DATOS DEL PROYECTO

Evaluación ingeniero -geológica del centro poblado de Nunupata	
Id. proyecto	: - Informe N° : U - 6
Ubicación	: Centro poblado Nunupata; distrito: Chavín de Huántar; provincia: Huarí; región: Ancash.
Solicita	: Ingemmet
Responsable	: Dr. Marko Lopez Bendezu

DATOS DE LA MUESTRA

Id. Muestra	: M-2	Fecha de muestreo	: 20/03/2023
Fuente	: Calicata	Fecha de recepción	: 12/05/2023
Muestra	: M-2 (Suelo depósito coluvial)	Fecha de ensayo	: 22/05/2023
Profundidad (m)	: 4.5 m	Método cuarteo (NTP 339.089)	: B

ENSAYO DE CONTENIDO DE HUMEDAD

Descripción	Unidad	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3
Temperatura	°C	19	19	19
Masa de la vasija	g	245.9	246.8	0.0
Masa de agregado húmedo y vasija	g	1862.0	1650.5	0.0
Masa de agregado seco y vasija	g	1649.0	1466.2	0.0
Masa de agua	g	213.0	184.3	0.0
Masa de agregado seco	g	1403.1	1219.4	0.0
Contenido de humedad	%	15.2	15.1	0.0
Contenido de humedad promedio	%	15.1		

Observaciones:

1. La muestra fue provista e identificada por el solicitante.

 UNIVERSIDAD DE LIMA	ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECÍFICA DE SÓLIDOS DEL SUELO (Norma de referencia: ASTM D854)			Proceso: Extensión y desarrollo social Subproceso: Consultoría empresarial
	Elaborado por	Revisado por	Aprobado por	Fecha de vigencia: 26/03/2020
	CIV	CIV	CIV	Versión: 01
	A. Domínguez	M. López	J. Salinas	Código: FA-2-FIA/CIV/L-R-051
DATOS DEL PROYECTO				
Evaluación ingeniero -geológica del centro poblado de Nunupata				
Id. proyecto	:			Informe N°: U - 7
Ubicación	: Centro poblado Nunupata; distrito: Chavin de Huántar; provincia: Huari; región: Ancash.			
Solicita	: Ingemmet			
Responsable	: Dr. Marko Lopez Bendezu			
DATOS DE LA MUESTRA				
Id. Muestra	: M-2			Fecha de muestreo : 20/03/2023
Fuente	: Calicata			Fecha de recepción : 12/05/2023
Muestra	: M-2 (Suelo depósito coluvial)			Fecha de ensayo : 22/05/2023
Profundidad (m)	: 4.5 m			Método cuarteo (NTP 339.089) : B
ENSAYO				

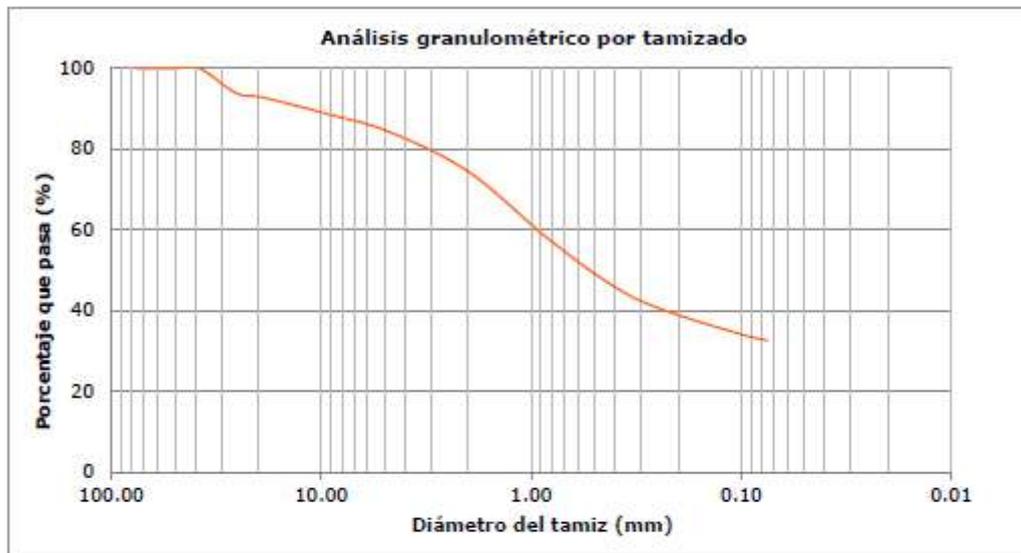
Descripción	Simbolo	Ensayo 1	Ensayo 2
Picnómetro N°	n	P2	P1
Temperatura de ensayo (°C)	T	23	23
Coefficiente de temperatura	K	1.0000	1.0000
Densidad del agua (g/mL)	$\rho_{w,t}$	0.9982	0.9982
Masa del picnómetro (g)	M_p	166.31	168.54
Masa del suelo seco (g)	M_s	100.32	100.77
Masa del picnómetro, suelo y agua (g)	$M_{p+s,t}$	727.01	729.2
Masa del picnómetro y agua (g)	$M_{p+w,t}$	664.28	666.34
Volumen del picnómetro (cm ³)	V_p	498.87	498.70
Volumen de sólidos (cm ³)	V_s	37.59	37.91
Gravedad específica de sólidos	G_s	2.67	2.66
Gravedad específica (a 20°C)	$G_{20^\circ C}$	2.67	2.66
Gravedad específica promedio	$G_{20^\circ C}$	2.66	

Observaciones:

1. La muestra fue provista e identificada por el solicitante.

 UNIVERSIDAD DE LIMA	ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE SUELOS Y CLASIFICACIÓN DE SUELOS (Norma de referencia: NTP 339.128, ASTM D2487 y ASTM D3282)			Proceso: Extensión y desarrollo social Subproceso: Consultoría empresarial		
	Elaborado por	Revisado por	Aprobado por	Fecha de vigencia: 15/03/2020		
	CIV	CIV	CIV	Versión: 01		
	A. Domínguez	M. López	J. Salinas	Código: EDS-2-FIA/CIV/L-R-029		
DATOS DEL PROYECTO						
Evaluación ingeniero -geológica del centro poblado de Nunupata						
Id. proyecto	:				-	Informe N° : U - 8
Ubicación	:					Centro poblado Nunupata; distrito: Chavin de Huántar; provincia: Huari; región: Ancash.
Solicitada	:					Ingemmet
Responsable	:					Dr. Marko Lopez Bendezu
DATOS DE LA MUESTRA						
Id. Muestra	:		M-2	Fecha de muestreo :		20/03/2023
Fuente	:		Calicata	Fecha de recepción :		12/05/2023
Muestra	:		M-2 (Suelo depósito coluvial)	Fecha de ensayo :		23/05/2023
Profundidad (m)	:		4.5 m	Método cuarteo (NTP 339.089) :		B
ENSAYO						
Peso de la muestra (g):		1,067.2	Peso de la submuestra (pasa la malla N° 10) (g):		100	
Peso retenido en malla N° 10 (g):		272.7				
Peso pasa la malla N° 10 (g):		794.5				
GRANULOMETRÍA (FRACCIÓN GRUESA: RETENIDO EN MALLA N° 10)						
Tamices		Peso retenido (g)	Porcentaje retenido (%)	Porcentaje ret. acumulado (%)	Porcentaje que pasa (%)	Porcentaje que pasa (%)
pulg.	mm.					
3	76.2	0.0	0.0	0.0	---	100.0
2	50.8	0.0	0.0	0.0	---	100.0
1.5	38.1	0.0	0.0	0.0	---	100.0
1	25.4	65.9	6.2	6.2	---	93.8
0.75	19.05	11.0	1.0	7.2	---	92.8
0.375	9.52	42.5	4.0	11.2	---	88.8
N° 4	4.75	48.6	4.6	15.7	---	84.3
N° 10	2	104.7	9.8	25.6	---	74.4
GRANULOMETRÍA (FRACCIÓN FINA: PASA LA MALLA N° 10)						
N° 20	0.841	22.1	22.1	22.10	77.9	58.0
N° 40	0.42	15.4	15.4	37.50	62.5	46.5
N° 60	0.25	7.9	7.9	45.40	54.6	40.6
N° 140	0.105	8.4	8.4	53.80	46.2	34.4
N° 200	0.075	2.5	2.5	56.25	43.8	32.6

 UNIVERSIDAD DE LIMA	ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE SUELOS Y CLASIFICACIÓN DE SUELOS (Norma de referencia: NTP 339.128, ASTM D2487 y ASTM D3282)			Proceso: Extensión y desarrollo social Subproceso: Consultoría empresarial
	Elaborado por	Revisado por	Aprobado por	Fecha de vigencia: 15/03/2020
	CIV	CIV	CIV	Versión: 01
	A. Domínguez	M. López	J. Salinas	Código: EDS-2-FIA/CIV/L-R-029
DATOS DEL PROYECTO				
Evaluación ingeniero -geológica del centro poblado de Nunupata				



Contenido	
Grava (3 1/2" - N° 4) (%) :	15.7
Arena (N° 4 - N° 200) (%) :	51.7
Finos (menor a N° 200) (%) :	32.6

Descripción
Arena Limosa bien gradada, Ligeramente gravosa de color marrón claro.

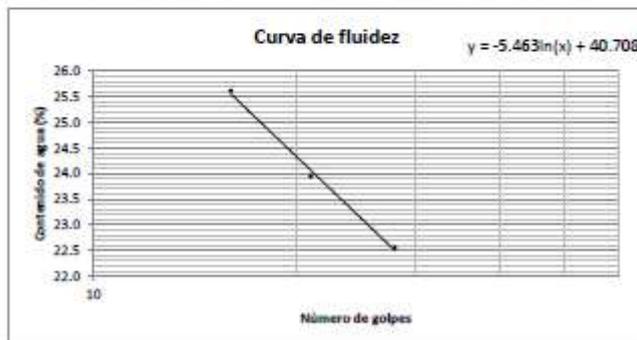
Propiedades del Material	
Tamaño máximo de los fragmentos (mm):	25.40
Forma predominante de la fracción gruesa:	Angulosa
Coefficiente de uniformidad (Cu):	---
Coefficiente de curvatura (Cc):	---
Límite Líquido (%):	N P
Límite Plástico (%):	N P
Índice de Plasticidad(%):	N P
Contenido de humedad (%):	2.5
Clasificación (SUCS):	S M
Clasificación (AASHTOO):	A - 2 - 4 (0)

 UNIVERSIDAD DE LIMA	ENSAYO PARA DETERMINAR EL LÍMITE LÍQUIDO, LÍMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD (Norma de referencia: NTP 339.129)			Proceso: Extensión y desarrollo social Subproceso: Consultoría empresarial
	Elaborado por	Revisado por	Aprobado por	Fecha de vigencia: 19/03/2020
	CIV	CIV	CIV	Versión: 01
	A. Domínguez	M. López	J. Salinas	EDS-2-FIA/CIV/L-R-033

DATOS DEL PROYECTO	
Evaluación Ingeniero -geológica del centro poblado de Nunupata	
Id. proyecto	: - Informe N° : U - 9
Ubicación	: Centro poblado Nunupata; distrito: Chavín de Huántar; provincia: Huari; región: Ancash.
Solicita	: Ingemmet
Responsable	: Dr. Marko Lopez Bendezu

DATOS DE LA MUESTRA	
Id. Muestra	: M-2 Fecha de muestreo : 20/03/2023
Fuente	: Calicata Fecha de recepción : 12/05/2023
Muestra	: M-2 (Suelo depósito coluvial) Fecha de ensayo : 24/05/2023
Profundidad (m)	: 4.5 m Método de reducción de muestra : B

LÍMITE LÍQUIDO, LÍMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD						
Tipo de ensayo	LÍMITE LÍQUIDO			LÍMITE PLÁSTICO		
	28	21	16			
Vasija N°	R7	R11	B4	2.0	B5	0.0
Masa de Tara (g)	24.43	23.40	24.44	25.12	24.51	0.00
Masa de Tara y Suelo Húmedo (g)	57.24	54.45	64.74	30.57	30.93	0.00
Masa de Tara y Suelo Seco (g)	51.20	48.45	56.52	29.63	29.86	0.00
Masa del agua contenida (g)	6.04	6.00	8.22	0.94	1.07	0.00
Masa suelo seco (g)	26.77	25.05	32.08	4.51	5.35	0.00
Contenido de agua (%)	22.56	23.95	25.62	20.84	20.00	---
Log (Número de golpes)	3.33	3.04	2.77	---	---	---



LÍMITES DE PLASTICIDAD	
Límite líquido (LL)	23
Límite plástico (LP)	20
Índice plástico (IP)	3

Observaciones:

1. La muestra fue provista e identificada por el solicitante.