

DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO

Informe Técnico N° A7552



EVALUACIÓN INGENIERO GEOLÓGICA EN EL CENTRO POBLADO CHALLHUAYACO

Departamento: Ancash

Provincia: Huari

Distrito: San Marcos



NOVIEMBRE
2024

EVALUACIÓN INGENIERO GEOLÓGICA EN EL CENTRO POBLADO CHALLHUAYACO

Distrito de San Marcos, provincia Huari, departamento de Ancash

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

Equipo técnico:

Gonzalo Luna Guillen
Guisela Choquenaira Garate
Abraham Gamonal Sánchez
Mery Ruth Portugal Churata
Fabrizio Gabino Delgado Madera
Edu Taipe Maquerhua
Igor Valdivia Espinoza
Luis Cangalaya Valerio
Sthif Castelo Cardeñoso

Referencia bibliográfica

Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico (2024). Evaluación Ingeniero geológica en el centro poblado Challhuayaco. Distrito de San Marcos, provincia Huari, departamento Ancash. Lima: Ingemmet, Informe Técnico A7552, 148p.

INDICE

RESUMEN	10
1. ASPECTOS GENERALES	12
1.1. Introducción	12
1.2. Objetivos del estudio	12
1.2.1. Objetivos específicos:.....	12
1.3. Alcances	12
1.3.1. Investigaciones básicas.....	13
1.4. Metodología	13
1.5. Antecedentes y trabajos anteriores	14
1.6. Aspectos generales	14
1.6.1. Ubicación	14
1.6.2. Accesibilidad.....	16
1.6.3. Características de la población	16
1.6.4. Clima.....	16
2. DEFINICIONES	18
3. ASPECTOS GEOLÓGICOS	21
3.1. Unidades Litoestratigráficas	25
3.1.1. Cretácico.....	28
3.1. Depósitos superficiales.....	33
3.1.1. Deposito coluvio-deluvial:.....	33
3.2. Contexto estructural	35
4. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS	38
4.1. Modelo digital de elevaciones	38
4.2. Pendientes del terreno	40
4.3. Índice Topográfico de Humedad (TWI)	41
4.4. Caracterización geomorfológica	43
4.4.1. Unidad de montaña	43
4.4.2. Unidad de piedemonte	43
5. PELIGROS GEOLÓGICOS	47
5.1. Movimientos en masa	47
5.1.1. Deslizamientos	51
6. INVESTIGACIONES GEOFISICAS	57
6.1. Métodos geofísicos.....	57
6.1.1. Tomografía eléctrica.....	57
6.1.2. Refracción sísmica	57
6.2. Adquisición de datos	57
6.3. Procesamiento de datos.....	58
6.4. Resultados e interpretación.....	59

6.4.1.	Tomografía eléctrica	59
6.4.2.	Refracción sísmica y MASW	59
7.	ASPECTOS HIDROGEOLÓGICOS.....	64
7.1.	Evidencias de fuentes de agua	64
7.1.1.	Manantiales	67
7.1.2.	Puntos de control.....	68
7.2.	Parámetros hidráulicos.....	68
7.2.1.	Ensayos de infiltración.....	68
7.2.2.	Conductividad Hidráulica.....	70
7.3.	Caracterización Hidrogeológica.....	72
7.3.1.	Unidades hidrogeológicas	72
7.4.	Mapa hidrogeológico	75
7.5.	Modelo hidrogeológico conceptual	76
7.6.	Parámetros fisicoquímicos	78
7.6.1.	Variación de Potencial de Hidrogeniones (pH)	78
7.6.2.	Variación de Conductividad Eléctrica (CE)	78
7.6.3.	Sólidos Disueltos Totales (TDS).....	79
7.6.4.	Temperatura	80
8.	ASPECTOS GEOTECNICOS	81
8.1.	Clasificación geomecánica del macizo rocoso	81
8.1.1.	Caracterización geomecánica de las discontinuidades	81
8.2.	Propiedades físicas de los suelos	82
8.3.	Clasificación del suelo	83
8.3.1.	Límites de Atterberg	84
1.1.	Análisis químico.....	84
9.	EVALUACIÓN DE LAS CONDICIONES DE ESTABILIDAD.....	85
9.1.	Estabilidad de taludes en suelos	85
9.1.1.	Metodología de análisis	86
9.1.2.	Factor de seguridad y análisis de estabilidad	86
9.1.3.	Condiciones de análisis.....	87
9.1.4.	Resultado de los análisis de estabilidad	87
10.	SUSCEPTIBILIDAD POR MOVIMIENTOS EN MASA.....	92
10.1.	Factores condicionantes de la inestabilidad y determinación del peso	92
10.1.1.	Parámetro litológico	93
10.1.2.	Parámetro de pendiente del terreno.....	93
10.1.3.	Parámetro geomorfológico	94
10.1.4.	Parámetro hidrogeológico	94
10.1.5.	Parámetro de índice de humedad del suelo.....	94
10.1.6.	Parámetro de cobertura vegetal y uso de suelo.....	95
10.2.	Mapa de susceptibilidad a los movimientos en masa	97

10.3.	Grados de susceptibilidad a los movimientos en masa	97
11.	ALTERNATIVAS PARA EL MANEJO DE PROBLEMAS DE MOVIMIENTOS EN MASA.....	
11.1.	Propuesta de monitoreo	100
11.1.1.	Monitoreo de deslizamiento con instrumentación	100
11.1.2.	Monitoreo geodésico	105
11.1.3.	Monitoreo fotogramétrico.....	108
9.1.	Sistema de drenaje.....	109
9.1.	Planes de reforestación.....	110
10.	CONCLUSIONES.....	111
11.	RECOMENDACIONES	114
12.	BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA	116
	ANEXO 1: MAPAS TEMÁTICOS	118
	ANEXO 2: PANEL FOTOGRÁFICO.....	128
	ANEXO: RESULTADOS DE ENSAYOS DE MECÁNICA DE SUELOS	134

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Mapa de ubicación de área de estudio.	15
Figura 1.2. Precipitaciones máximas diarias en mm, distribuidas a lo largo del periodo 2022-2024. Fuente: Landviewer, disponible en: https://cropmonitoring.eos.com/weather-history/field/9082407 . ..	17
Figura 1.3. Temperaturas máximas y mínimas diarias, distribuidas a lo largo del periodo 2022-2024. Fuente: Landviewer, disponible en: https://crop-monitoring.eos.com/weather-history/field/9082407 . .	17
Figura 3.1. Mapa de puntos de control levantados en campo en el área de inspección Challhuayaco.	21
Figura 3.2. Mapa geológico del centro poblado Challhuayaco.	22
Figura 3.3. Mapa litológico del centro poblado Challhuayaco.	23
Figura 3.4. Vista 3D de la distribución espacial de las unidades litológicas (fila superior) y las formaciones geológicas en la fila inferior (la leyenda se detalla en la figura 3.2 y 3.3).	24
Figura 3.5. Columna estratigráfica levantadas en el flanco Norte de Challhuayaco.	27
Figura 3.6. Contacto entre las Formaciones Oyón y Chimú, en el cauce de la quebrada Pacchac.	28
Figura 3.7. Areniscas cuarzosas gris blanquecinas correspondientes a la Fm. Chimú.	30
Figura 3.8. Areniscas con estratificación sesgada con espesores similares intercaladas con lutitas y limolitas correspondientes a la Fm. Chimú.	30
Figura 3.9. Vista de areniscas con estratificación sesgada de la Fm. Chimú, que aflora en la parte media-baja de Challhuayaco.	31
Figura 3.10. Calizas intercaladas con lutitas correspondientes a la Fm. Santa.	31
Figura 3.11. Contacto entre las formaciones Santa y Carhuaz, muestra el eje del pliegue sinclinal inferido en el mapa geológico.	32
Figura 3.12. Contacto entre las formaciones Chimú y Santa.	32
Figura 3.13. Depósito coluvio-deluvial 1, se observa la roca alterada y deformada que corresponde al cuerpo del deslizamiento, debido al gran fracturamiento de las rocas estas se utilizan como material agregado.	34
Figura 3.14. Depósito coluvio-deluvial 1, se observa fragmentos subangulosos envueltos en una matriz limosa.	34
Figura 3.15. Depósito cuaternarios coluvial y fluvial en la margen derecha de la quebrada Pacchac.	35
Figura 3.16. Esquema Diagramático de las relaciones Estratigráficas y Facies desde el Paleozoico Superior, Sección Huarmey - La Unión (Tomado de Cobbing et al., 1996).	36
Figura 3.17. Análisis estructural inferido en Challhuayaco.	37
Figura 4.1. Generación de un modelo de elevación digital a partir de fotogrametría con Drone. a) Líneas de sobre vuelo y posición de la cámara y solapamiento de imágenes. b) Generación del Modelo de elevación digital (DEM) de 20 cm de resolución y c) Ortofoto.	38
Figura 4.2. Mapa de elevación del terreno a partir del modelo digital de elevación (MDE) de 6 m de resolución, donde se puede observar que hay más de 1700 m de diferencia entre el valle del río Pacchac y la cima de la ladera Challhuayaco.	39
Figura 4.3. Combinación de MDE, de 20 cm y 6 m, para completar el área de trabajo.	39
Figura 4.4. Mapa de pendiente del terreno. Se puede observar que gran parte del terreno presenta pendientes entre fuerte a muy escarpado ver Cuadro 4.1.	40
Figura 4.5. Diagrama de Índice topográfico de humedad, donde se observa las zonas con mayor acumulación de agua. en la zona de estudio.	42
Figura 4.6. Diagrama de la distribución de subunidades geomorfológicas de la zona de estudio.	44
Figura 4.7. Unidades geomorfológicas de la zona de estudio. RME-rs: Subunidad de Montaña estructural en roca sedimentaria; V-dd: Vertiente con depósito de deslizamiento. Vista al Este.	45
Figura 4.8. Unidades geomorfológicas de la zona de estudio. RME-rs: Subunidad de Montaña estructural en roca sedimentaria; V-cd: Vertiente coluvio-deluvial. En la cima de la ladera oeste de Challhuayaco.	46
Figura 5.1. Cortes de perfil en mapa geológico y de peligros geológicos representado en las figuras 5.2 y 5.3.	47
Figura 5.2. Cartografía de peligros geológicos.	48
Figura 5.3. Perfil AA' en dirección suroeste – noreste, muestra el emplazamiento de deslizamientos antiguos y como estos han modelado el relieve de la ladera, en la parte baja se hallan deslizamientos suspendidos y en la parte baja se emplazan deslizamientos.	49

Figura 5.4. Perfil BB' de dirección sureste – noroeste, muestra el emplazamiento de deslizamientos suspendidos, sobre los que se asienta el centro poblado Challhuayaco.	50
Figura 5.5. Perfil AA' (sección) parcial de la parte baja de la ladera.	52
Figura 5.6. Daños en el puesto de salud de Challhuayaco.	53
Figura 5.7. Terreno propuesto para la reubicación del puesto de salud.	53
Figura 5.8. Grieta en la parte baja de la ladera en cuerpos de deslizamientos activos, con movimiento hacia el noreste. Coordenadas UTM WGS84: 261212, 8935745.	54
Figura 5.9. Grieta en viviendas en la parte baja de la ladera en cuerpos de deslizamientos suspendidos con movimiento hacia el Noreste. Coordenadas UTM 261342, 8935539.	55
Figura 5.10. Muros destruidos en viviendas ubicadas en cuerpos de deslizamientos suspendidos con movimiento hacia el noreste. Coordenadas UTM WGS84: 261302, 8935527.	55
Figura 5.11. Muros y barandas inclinadas en dirección de los movimientos de deslizamientos hacia el Noreste. Coordenadas UTM WGS84: 261200, 8935645.	56
Figura 5.12. Muros con agrietamientos en dirección de los movimientos de deslizamientos hacia el Noreste. Coordenadas UTM WGS84: 261003, 8935658.	56
Figura 6.1. Plano de ubicación de líneas de Tomografía eléctrica, refracción sísmica y MASW en el centro poblado de Challhuayaco.	58
Figura 6.2. Sección de resistividad eléctrica LTE-CH-01.	59
Figura 6.3. Sección de Velocidad de onda sísmica primaria Vp LRS-M-01, obtenido de la refracción sísmica.	61
Figura 6.4. Sección de Velocidad de onda sísmica de corte Vs MASW-M-01, obtenido del MASW. .	61
Figura 6.5. Sección de Velocidad de onda sísmica primaria Vp LRS-M-02, obtenido de la refracción sísmica.	63
Figura 6.6. Sección de Velocidad de onda sísmica de corte Vs MASW-M-02, obtenido del MASW. .	63
Figura 7.1. Mapa de inventario de fuentes de agua.	66
Figura 7.2. A, B) Captación de agua con estructura de concreto, correspondiente al manantial con código 498996-001.	67
Figura 7.3. A y B) Manantial de código 498996-037, es captado para uso agrícola.	67
Figura 7.4. Manantial con código 498996-038 presenta agua almacenada.	68
Figura 7.5. Fuente de agua de código 498996-045 utilizado para riego, con un caudal bajo.	68
Figura 7.6. Distribución de los ensayos de infiltración.	69
Figura 7.7. Mapa de distribución de la conductividad hidráulica de los ensayos de infiltración.	71
Figura 7.8. Unidades litológicas que afloran en el área de estudio.	72
Figura 7.9. Unidades hidrogeológicas que afloran en el área de estudio.	73
Figura 7.10. A) Medio poroso no consolidado (coluvio-deluviales) B) Medio fisurado, fracturado (areniscas).	73
Figura 7.11. Mapa hidrogeológico del área de estudio.	75
Figura 7.12. Modelo hidrogeológico conceptual del área de estudio.	77
Figura 7.13. Corte transversal del modelo hidrogeológico conceptual.	77
Figura 9.1. Ubicación de los perfiles en planta.	85
Figura 9.2. Mapa de Zonificación Sísmica de Perú, según norma peruana E 0.30.	88
Figura 9.3. Perfil A, muestra los resultados obtenidos en condiciones estáticas.	89
Figura 9.4. Perfil A, muestra los resultados obtenidos en condiciones pseudo-estáticas.	89
Figura 9.5. Perfil B, muestra los resultados obtenidos en condiciones estáticas.	90
Figura 9.6. Perfil B, muestra los resultados obtenidos en condiciones pseudo-estáticas.	90
Figura 9.7. Perfil C, muestra los resultados obtenidos en condiciones estáticas.	91
Figura 9.8. Perfil C, muestra los resultados obtenidos en condiciones pseudo-estáticas.	91
Figura 10.1. Mapas de factores que intervienen en la evaluación de la susceptibilidad a movimientos en masa, descritos de arriba abajo según su peso ponderante. A) Mapa factor litología, B) Mapa factor pendiente del terreno, C) Mapa factor geomorfología.	96
Figura 10.2. Mapa de susceptibilidad a movimientos del área de estudio.	99
Figura 11.1. Esquema de un sistema de monitoreo de deslizamientos (tomado de Cordero & Espinoza, 2012).	100
Figura 11.2. Mapa de Ubicación de las estaciones de monitoreo en tiempo real, se diferencian por tipo de estación las cuales se clasifican por la instrumentación que contienen.	102
Figura 11.3. Líneas telemétricas de la red de monitoreo en tiempo real.	104

Figura 11.4. Perfiles topográficos entre las estaciones para verificar la línea de vista.	104
Figura 11.5. Estación base CHAV. (A) monumento existe usado como referencia; (B) Instalación de equipo.	106
Figura 11.6. Emplazamiento de los 12 puntos de control en el deslizamiento de Challhuayaco.	107
Figura 11.7. Nube de puntos calculada a partir del levantamiento fotogramétrico.	109

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 8.1. Vista de la estación 10, conformada por areniscas, intercaladas con niveles de lutitas de la Formación Chimú.	82
---	----

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1. Coordenadas del área evaluada.....	14
Tabla 5.1. Coordenadas del terreno propuesto para la construcción de un nuevo puesto de salud. ..	52
Tabla 7.1. Clasificación hidrogeológica según los valores de conductividad hidráulica (K).....	71
Tabla 8.1. Propiedades de suelos finos.....	83
Tabla 8.2. Valores referenciales del IP y del tipo de suelo.....	84
Tabla 11.1. Tipo de estaciones.....	103
Tabla 11.2. Coordenadas de cada estación y sensores con las que debe contar.....	105
Tabla 11.3. Coordenadas finales para cada punto de control y la precisión correspondiente.....	108

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1.1. Ruta de acceso.....	16
Cuadro 1.2. Distribución poblacional del centro poblado Challhuayaco	16
Cuadro 3.1. Descripción de las unidades litológicas por unidad geológica en el área de inspección Challhuayaco.....	25
Cuadro 4.1. Rangos de pendiente del terreno (ver mapa 4.3).....	41
Cuadro 6.1. Coordenadas de inicio y fin de las secciones de refracción sísmica (LRS) y Análisis multicanal de ondas superficiales (MASW) de la zona de Challhuayaco.....	57
Cuadro 6.2. Parámetros dinámicos obtenidos a partir de la RS y MASW.....	60
Cuadro 6.3. Parámetros dinámicos obtenidos a partir de la RS y MASW.....	62
Cuadro 7.1. Resumen de tipos de fuentes de agua.....	64
Cuadro 7.2. Resumen del inventario de fuentes en el centro poblado Challhuayaco y caserío CabracanCHA.....	65
Cuadro 7.3. Caracterización hidrogeológica según las formaciones geológicas.....	74
Cuadro 8.1. Valoración realizada en rocas de la Formación Chimú.....	82
Cuadro 8.2. Resultado de las muestras analizadas en el centro poblado Challhuayaco.....	83
Cuadro 8.3. Resultados de los ensayos químicos en las muestras TC1 y TC2.....	84
Cuadro 9.1. Valores de FS para diversas condiciones de análisis.....	87
Cuadro 9.2. Características físicas del suelo y roca.....	87
Cuadro 9.3. Factor de Seguridad en taludes.....	88
Cuadro 10.1. Factores condicionantes y ponderación de pesos.....	92
Cuadro 10.2. Ponderación de las unidades litológicas en relación con el análisis de susceptibilidad a los movimientos en masa.....	93
Cuadro 10.3. Ponderación de las clases de pendiente del terreno en relación con el análisis de susceptibilidad a los movimientos en masa.....	93
Cuadro 10.4. Ponderación de las unidades geomorfológicas en relación con el análisis de susceptibilidad a los movimientos en masa.....	94

Cuadro 10.5. Ponderación de las unidades hidrogeológicas en relación con el análisis de susceptibilidad a los movimientos en masa.	94
Cuadro 10.6. Ponderación del índice de humedad del suelo en relación con el análisis de susceptibilidad a los movimientos en masa.	95
Cuadro 10.7. Ponderación de las unidades de cobertura vegetal y uso de suelo en relación con el análisis de susceptibilidad a los movimientos en masa.	95
Cuadro 11.1. Descripción monográfica de la base CHAV.	106

RESUMEN

El presente informe es el resultado de la evaluación ingeniero geológica, realizada en el centro poblado Challhuayaco, perteneciente a la jurisdicción distrital de San Marcos, provincia de Huari, departamento de Ancash en el marco del convenio específico firmado el 29 de diciembre de 2023 entre el Instituto Geológico Minero y Metalúrgico – Ingemmet y la Municipalidad Distrital de San Marcos con la finalidad evaluar las condiciones de estabilidad de los movimientos en masa del centro poblado referido.

El centro poblado Challhuayaco que alberga alrededor de 600 viviendas se encuentra asentado sobre depósitos coluvio deluviales, compuesto por arena arcillo - limosas con gravas (SC-SM); las gravas son angulosas a subangulosas, de composición sedimentaria, con predominancia de areniscas cuarzosas blanquecinas y rojizas producto de la oxidación, y bloques calcáreos de color grisáceo. Este depósito se presenta medianamente consolidado a suelto, con plasticidad baja; además, son fácilmente erosionables y removibles, que aunado a la sobre saturación de agua de lluvia y riego de cultivos, se pueden producir nuevos deslizamientos y derrumbes de los ya identificados.

La ladera norte de Challhuayaco está compuesta por areniscas cuarcíferas intercaladas con limoarcillitas de la Formación Carhuaz, que suprayace a la Formación Santa, caracterizada por estratos de areniscas y lutitas, y esta última, a su vez, se superpone a las areniscas cuarzosas de la Formación Chimú, con dirección N290° y un buzamiento de 80°. En la margen opuesta de la quebrada Pacchac se observan areniscas, lutitas y limolitas de la Formación Oyón cubiertas por depósitos coluviales. Estas unidades corresponden al flanco este de un sinclinal, cuyo núcleo es la Formación Carhuaz, con buzamientos de hasta 45° en sentido opuesto a la pendiente, mientras que las formaciones Santa y Carhuaz muestran buzamientos de hasta 80°, lo que explica el intenso fracturamiento de las rocas, los cambios abruptos de buzamientos entre estas Formaciones y la alta meteorización.

Se identificaron seis categorías de pendientes. El 46% de la superficie corresponde a pendientes pronunciadas (25°-45°), el 27% a terrenos muy escarpados (>45°) y el 18% a pendientes fuertes (15°-25°). Las pendientes planas (0°-1°), suaves (1°-5°) y moderadas (5°-15°) representan apenas el 8.58%. Esto sugiere que la ladera es altamente vulnerable a deslizamientos debido a la predominancia de inclinaciones abruptas. Desde una perspectiva geomorfológica, la ladera presenta un perfil cóncavo en la cima, típico de montañas de roca sedimentaria, y un perfil convexo en la parte inferior, donde se encuentran depósitos de deslizamientos y coluvio-deluviales, que son producto de antiguos movimientos de masa.

En la ladera norte de Challhuayaco se identificaron deslizamientos, los inactivos relictos abarcan 31% del área y han configurado la geomorfología actual de la ladera; mientras que, los inactivos latentes cubren el 52%, producto de movimientos secundarios de los movimientos primigenios. También se detectaron deslizamientos suspendidos que se activan en temporadas de lluvia, afectando la infraestructura local como fue el caso del centro de salud de Challhuayaco, vías locales y agrietamientos en viviendas, y deslizamientos activos en 3.5% del área que continúan generando inestabilidad en la parte baja de la ladera, acompañados de 06 derrumbes en los frentes de avance y reactivan otros deslizamientos superiores. La principal causa de estos movimientos en masa es la pendiente del terreno (entre 25° y 45°), sobre saturación de agua en el terreno debido a las precipitaciones, manantiales y riego intensivo sin canales impermeables, junto con la erosión fluvial de la quebrada Pacchac.

En el contexto hidrogeológico, el centro poblado está situado sobre la unidad hidrogeológica

caracterizada como acuífero poroso no consolidado. Los ensayos de infiltración realizados en estos depósitos establecieron valores con tasa de infiltración que varían de 0.01 m/d hasta 0.21 m/d, clasificándolas como permeabilidad baja a moderada, todos estos factores favorecen la ocurrencia de movimientos en masa.

Los resultados obtenidos a partir del análisis de estabilidad del talud realizado para el centro poblado Challhuayaco (perfil B), considerando los parámetros físicos del suelo SC-SM, la topografía, pendiente del terreno, nivel freático y tomando como base la sismicidad histórica e instrumental en la región, nos muestra valores de 1.13 y 0.63, tanto en condiciones estáticas y pseudo-estáticas respectivamente, lo que nos demuestra la inestabilidad de la ladera.

El análisis de susceptibilidad a movimientos en masa mediante el método heurístico identificó seis rangos: **muy bajo** (1 ha, 0.41%), ubicado principalmente en el cauce de la quebrada Pacchac; **bajo** (29 ha, 11.9%), que se encuentra en zonas con pendiente ligera y moderada en la cima de la ladera norte; **media** (105 ha, 43%), correspondiente a áreas de montaña con pendiente pronunciada, susceptibles a caídas de rocas; **alta** (76 ha, 31.2%), presente en pendiente moderada a abrupta, incluyendo el centro poblado de Challhuayaco, entre las cotas 3350 y 3500; y **muy alta** (32 ha, 13.17%), entre la cota 3700 y el cauce de la quebrada Pacchac, en pendiente escarpada y muy escarpada, donde se tiene registrado deslizamientos activos.

Finalmente, después de realizar estudios multidisciplinarios, se concluye que el centro poblado Challhuayaco, presenta susceptibilidad **Alta a Muy Alta** a movimientos en masa; en ese contexto se recomienda implementar medidas de mitigación a la brevedad posible.

1. ASPECTOS GENERALES

1.1. Introducción

El Ingemmet, ente técnico-científico desarrolla a través de los proyectos de la Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico (DGAR) la “Asistencia técnica en la evaluación de peligros geológicos a nivel nacional”, 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 específico entre **INGEMMET** y la **Municipalidad Distrital de San Marcos**, con la finalidad de evaluar las condiciones de estabilidad de los movimientos en masa y fortalecer la cultura de prevención, se realizó la evaluación ingeniero geológica en el centro poblado Challhuayaco, que consistió en trabajos de campo (13 al 16 de junio) y gabinete (17 de junio al 30 de setiembre del 2024).

El trabajo involucró el análisis ingeniero geológico y geotécnico, con miras de proponer recomendaciones de intervención en los problemas de estabilización del deslizamiento de la ladera, que compromete la seguridad física del centro poblado Challhuayaco.

Este informe se pone a consideración de la Municipalidad Distrital de San Marcos 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.

1.2. Objetivos del estudio

Realizar la evaluación ingeniero geológica en el centro poblado Challhuayaco y su entorno, incluyendo la identificación de rasgos estructurales y mecanismos de movimiento del sitio.

1.2.1. Objetivos específicos:

- Actualizar la geología en el centro poblado Challhuayaco, a escala 1/5 000.
- Caracterizar la pendiente del terreno y las subunidades geomorfológicas a escala 1/5 000.
- Identificar el peligro geológico por movimientos en masa en el centro poblado Challhuayaco a 1/5 000.
- Realizar estudios de geofísica, con el método de tomografía eléctrica y MASW.
- Determinar las condiciones hidrogeológicas en el centro poblado Challhuayaco.
- Caracterizar el macizo rocoso y los depósitos inconsolidados.
- Analizar las condiciones de estabilidad de ladera en el deslizamiento activo del centro poblado Challhuayaco.
- Realizar el análisis de susceptibilidad a movimientos en masa en el centro poblado Challhuayaco a escala 1/5 000.
- Proponer medidas de intervención (obras de prevención, remediación o mitigación), en las áreas afectadas, para reducir y/o mitigar el impacto en la población y medios de vida.

1.3. Alcances

Para la evaluación de las condiciones de estabilidad de los movimientos en masa en el centro poblado Challhuayaco se realizó las siguientes investigaciones básicas:

1.3.1. Investigaciones básicas

- Levantamiento fotogramétrico con equipo Dron no tripulado Matrice.
- Caracterización litológica del macizo rocoso y depósitos cuaternarios involucrados, en base a un mapeo detallado y levantamiento de columnas estratigráficas.
- Caracterización de las subunidades geomorfológicas.
- Cartografía de peligros geológicos por movimientos en masa, peligros geohidrológicos y otros peligros en el centro poblado Challhuayaco, cubriendo un área total de 160 ha.
- Análisis de los factores detonantes que influyen en la estabilidad de la ladera.
- Análisis de los factores condicionantes que influyen en la estabilidad de la ladera.
- Mapeo geotécnico y levantamiento de estaciones geomecánicas.
- Toma de muestras de suelo para los respectivos análisis de laboratorio y técnicas alternativas disponibles (calicatas y trincheras).
- Estudios de tomografía eléctrica y MASW.
- Reconocimiento hidrogeológico, para evaluar el comportamiento de los flujos de aguas subterráneas, inventario de fuentes de agua subterránea y superficial.
- Análisis de susceptibilidad a movimientos en masa.
- Monumentación de hitos como propuesta para monitoreo en los deslizamientos del centro poblado Challhuayaco.

1.4. Metodología

La metodología empleada para el presente estudio consta de tres etapas: Gabinete I, Campo I y Gabinete II

Gabinete I

Los trabajos de gabinete I, consistieron en las siguientes actividades:

- Elaboración de plan de trabajo.
- Recopilación y evaluación de información bibliográfica: topográfica, geológica, geofísica, hidrogeológica, uso de suelo y registro de peligros geológicos antiguos.
- Análisis e fotointerpretación a través de imágenes satelitales de geomorfología y depósitos superficiales.
- Interpretación y cartografiado de peligros geológicos por movimientos en masa (avalanchas, deslizamientos y derrumbes) y otros peligros geológicos (erosión de ladera en cárcava) y peligros geohidrológicos (erosión fluvial), a partir de imágenes satelitales de alta resolución disponibles en la plataforma Google Earth, Terra Incógnita, entre otras plataformas.
- Generación de mapas preliminares de cartografía de peligros geológicos, geología y geomorfología para su respectiva comprobación de campo.

Campo

Los trabajos de campo se han desarrollado del 10 al 16 de junio del 2024, se realizó las siguientes actividades:

- Levantamiento fotogramétrico con Dron Matrice, abarcando todo el poblado de Challhuayaco, cubriendo un área de 170 Ha.
- Caracterización de unidades litológicas, unidades geomorfológicas, hidrogeológicas en campo.
- Caracterización geomecánica de suelos y/o rocas, obtención de muestras de suelo a través de trincheras y/o calicatas y ventanas estructurales.

- Inventario, caracterización y cartografiado de los peligros geológicos por movimientos en masa, peligros geohidrológicos y otros peligros geológicos a escala 1:5 000.
- Reunión de coordinación con la población de Challhuayaco, respecto al estudio ingeniero geológica.

Gabinete II:

En esta etapa, se ha desarrollado las siguientes actividades:

- Procesamiento y análisis de la información obtenida en los trabajos de gabinete I y campo.
- Elaboración de mapa litológico, geológico, geomorfológico, pendiente, TWI (Índice Topográfico de Humedad), hidrogeológico y cartografía de peligros geológicos.
- Integración de mapas temáticos en el Sistema de Información Geográfica, para la elaboración del mapa de susceptibilidad a los movimientos en masa.
- Análisis de la estabilidad del deslizamiento activo de Challhuayaco, utilizando software como Slide.
- Preparación y redacción del informe final.

1.5. Antecedentes y trabajos anteriores

- A. Boletín N° 38, Serie C, Geodinámica e Ingeniería Geológica: “Riesgos geológicos en la región Ancash” (Zavala et al., 2009). De acuerdo al mapa regional de susceptibilidad por movimientos en masa, a escala 1:250 000, se evidencia que el área de evaluación se encuentra en **zonas de susceptibilidad 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.

1.6. Aspectos generales

1.6.1. Ubicación

El área de estudio se encuentra en la margen derecha de la quebrada Pacchac, a 4.9 km al sureste del distrito Chavín de Huántar. Políticamente, pertenece al distrito de San Marcos, provincia de Huari, departamento de Ancash. Las coordenadas UTM (WGS84 – Zona 18S) del área evaluada se muestran en la siguiente tabla 1.1:

Tabla 1.1. Coordenadas del área evaluada

Vértice	UTM - WGS84 - Zona 18S		Geográficas	
	Este	Norte	Latitud	Longitud
1	260369	8936351	-9.615362°	-77.183482°
2	261826	8935732	-9.621040°	-77.170248°
3	261376	8934207	-9.634798°	-77.174435°
4	260409	8934558	-9.631570°	-77.183222°
COORDENADA CENTRAL DE LA ZONA EVALUADA O EVENTO PRINCIPAL				
Coordenada principal	260964	8935293	-9.624959°	-77.178124°

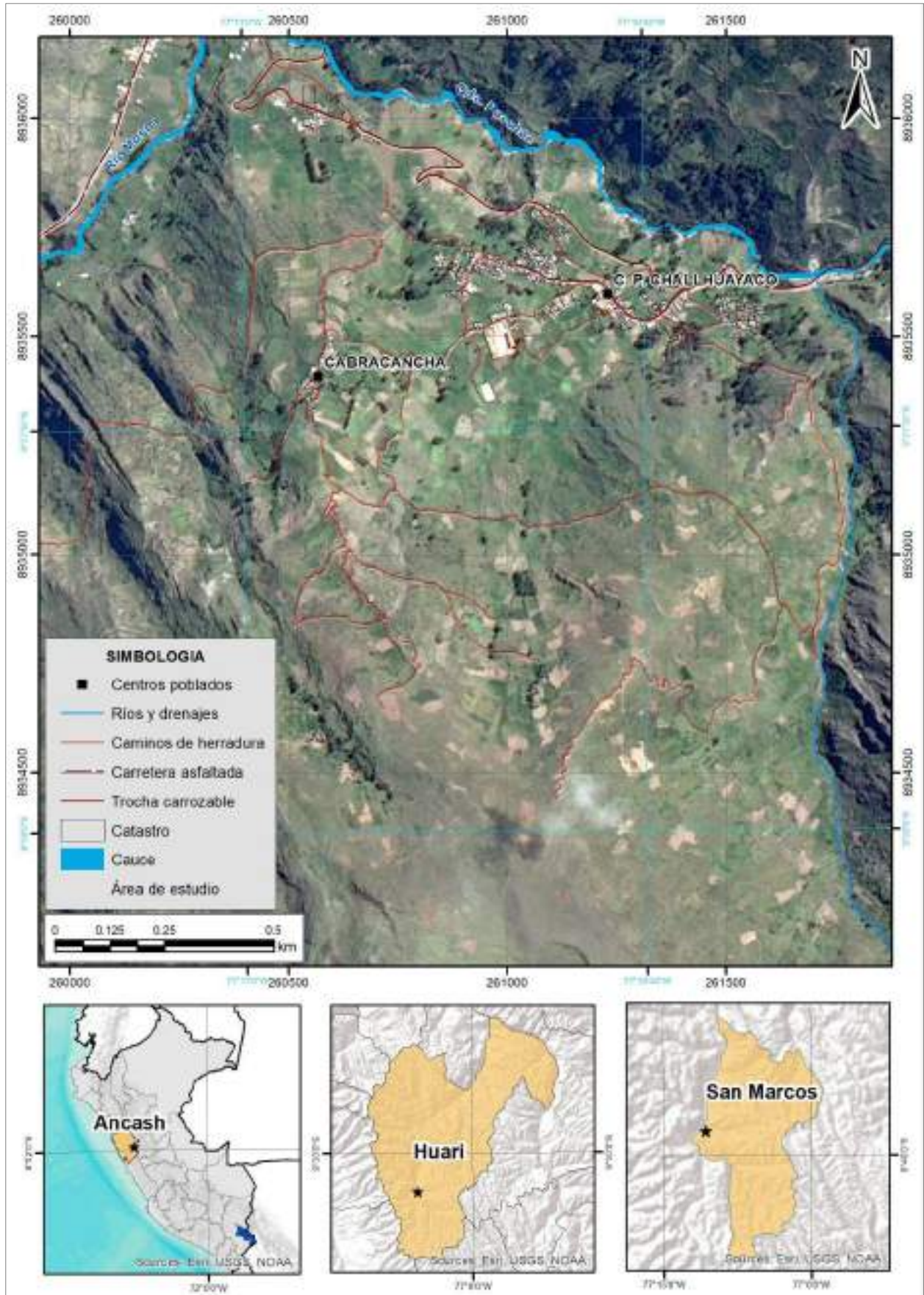


Figura 1.1. Mapa de ubicación de área de estudio.

1.6.2. Accesibilidad

El acceso a la zona de estudio se realizó por vía terrestre desde la oficina central de Ingemmet (Lima), hasta el centro poblado Challhuayaco (Ancash), mediante la siguiente ruta (cuadro 1.1):

Cuadro 1.1. Ruta de acceso.

Ruta	Tipo de vía	Distancia (km)	Tiempo estimado
Lima – Catac	Asfaltada	367	6h 18 minutos
Catac – Chavín de Huántar	Asfaltada	67.2	1h 21 minutos
Chavín de Huántar – Challhuayaco	Trocha carrozable	4.9	16 minutos

1.6.3. Características de la población

Según el censo 2017 de vivienda y población (INEI), la distribución poblacional en el centro poblado Challhuayaco asciende a 2384 habitantes y 881 viviendas (Cuadro 1.2).

Cuadro 1.2. Distribución poblacional del centro poblado Challhuayaco

DISTRITO	POBLADO	POBLACIÓN	VIVIENDA
San Marcos	Challhuayaco	800	600

Fuente: Censo 2017 de vivienda y población (INEI).

1.6.4. Clima

Según la clasificación climática de Thornthwaite (SENAMHI, 2020), el distrito de San Marcos, Chavín de Huántar y alrededores presenta un clima semiseco, frío, con deficiencias de lluvias en invierno y 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 2022-2024 fue de 80.2 mm (Figura 1.2). 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.

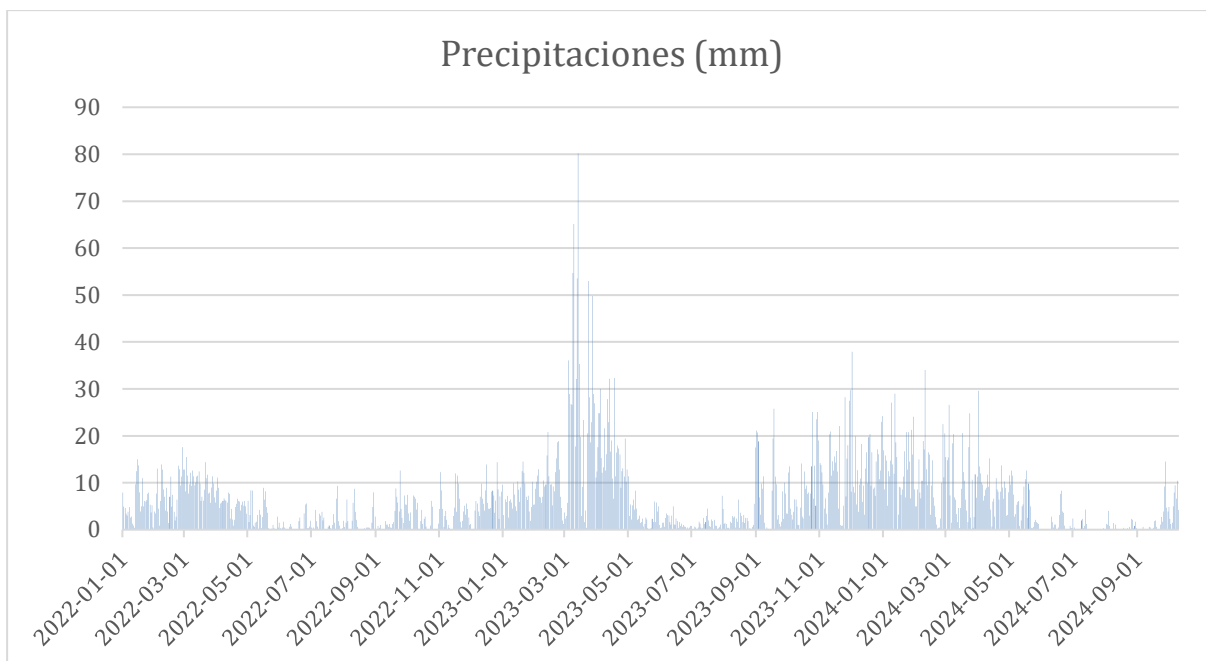


Figura 1.2. Precipitaciones máximas diarias en mm, distribuidas a lo largo del periodo 2022-2024.
 Fuente: Landviewer, disponible en: <https://cropmonitoring.eos.com/weather-history/field/9082407>.

La temperatura anual oscila entre un máximo de 20.0°C en verano y un mínimo de 0°C en invierno (Figura 1.3). Así mismo, presenta una humedad promedio de 60% durante casi todo el año, (Servicio aWhere).

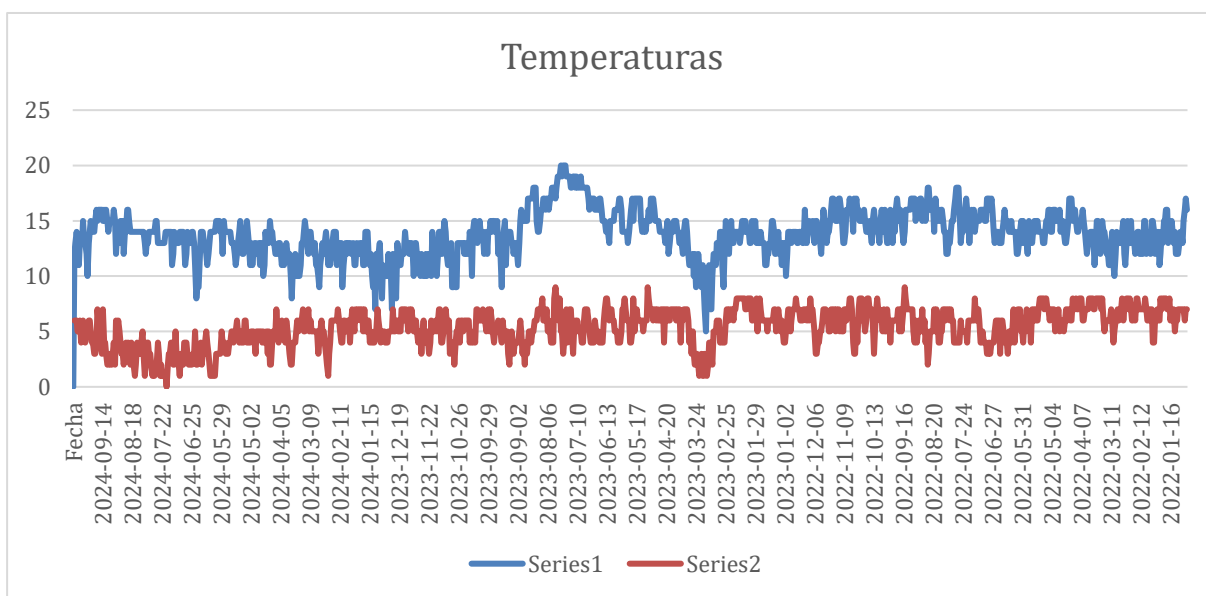


Figura 1.3. Temperaturas máximas y mínimas diarias, distribuidas a lo largo del periodo 2022-2024.
 Fuente: Landviewer, disponible en: <https://crop-monitoring.eos.com/weather-history/field/9082407>.

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.

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).

Erosión fluvial: La erosión fluvial se define como el trabajo continuo que realizan las aguas corrientes sobre la superficie terrestre, y se realiza en forma de arranque del material, abrasión fluvial, corrosión y atrición fluvial. Además, la erosión fluvial socava el valle en forma de «V», y también profundiza, ensancha y alarga el cauce; la intensidad de cada uno de estos procesos depende del estadio de desarrollo (Dávila 2006). Están relacionadas con los cambios de curso del río por la carga excesiva del río, como también en ríos en procesos de ensanchamiento.

Escarpe: Superficie vertical o semivertical 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.

Estabilidad de talud: La estabilidad de taludes es un análisis geotécnico utilizado para determinar la estabilidad de un talud natural o artificial, obteniendo el factor de seguridad mínimo. Todo esto con el fin de evitar accidentes que pueda involucrar pérdidas materiales y humanas. Esto es importante, ya que puede prevenir: Derrumbes de taludes debido a la

sobrecarga, daños en edificaciones por movimientos en el subsuelo, empujes excesivos en muros de contención y daños en cuerpos de pavimentos por deficiente soporte.

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

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

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

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

Geofísica: La geofísica es una ciencia derivada de la geología que trata del estudio de las propiedades físicas de la Tierra. Comprende aspectos como la investigación de la composición interna del planeta, el flujo de calor proveniente del interior de la Tierra, la fuerza de la gravedad que forma el campo gravitacional, la fuerza magnética de atracción, ejercida por un magneto ideal en el interior de la Tierra que crea el campo geomagnético, y la propagación de las ondas sísmicas a través de las rocas de la corteza terrestre. La geofísica contribuye a una ubicación adecuada de obras civiles y en la prevención de desastres naturales, asimismo permite optimizar procesos de exploración y extracción de minerales, agua y energía.

Hidrogeología. Es la ciencia que estudia el origen y la formación de las aguas subterráneas, así como su movimiento y características físicas, químicas y biológicas. Entre otros ámbitos, también estudia las formas de yacimiento, difusión, movimiento, régimen y reservas, interacción con los suelos y rocas, su estado (líquido, sólido y gaseoso) y las condiciones que determinan las medidas de su aprovechamiento, regulación y evacuación. También, desde el ámbito de la hidrogeología, se estudia el funcionamiento de los acuíferos al paso de las aguas subterráneas.

Macizo rocoso: Macizo rocoso: conjunto de matriz rocosa y discontinuidades. Presenta carácter heterogéneo, comportamiento discontinuo y normalmente anisótropo, consecuencia de la naturaleza, frecuencia y orientación de los planos de discontinuidad, que condicionan su comportamiento geomecánico e hidráulico.

Monitoreo: Vigilancia, oscultación (Arg, Bo). Actividad de medición sistemática de instrumentos instalados en una ladera y análisis de su comportamiento en términos de magnitud de desplazamientos, velocidad de desplazamiento, cambios de presión de poros y otras variables instrumentadas, con el objeto de establecer medidas preventivas, correctivas o de control.

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).

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).

Saturación: El grado de saturación refleja la cantidad de agua contenida en los poros de un volumen de suelo dado. Se expresa como una relación entre el volumen de agua y el volumen de vacíos.

Slide 6.0: Programa geotécnico que puede analizar tanto superficies circulares como no circulares. Se puede analizar una superficie en particular o se puede realizar la búsqueda de una superficie crítica con la finalidad de encontrar la superficie de falla con el menor factor de seguridad.

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

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

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

3. ASPECTOS GEOLÓGICOS

El análisis ingeniero - geológica realizado en el centro poblado Challhuayaco, se desarrolló en base a la información obtenida en campo (Figura 3.1), a escala 1/5 000, donde se presentan rocas sedimentarias del Cretácico y depósitos del Cuaternario que cubren gran parte de los afloramientos (Figuras 3.2, 3.3 y 3.4). Estos materiales a través de la cartografía y en base a la interpretación de imágenes aéreas drone (20 cm/px) e imágenes satelitales SPOT (6 m/px), se completa en el mapa geológico, presentado en el mapa 2: Anexo 1.

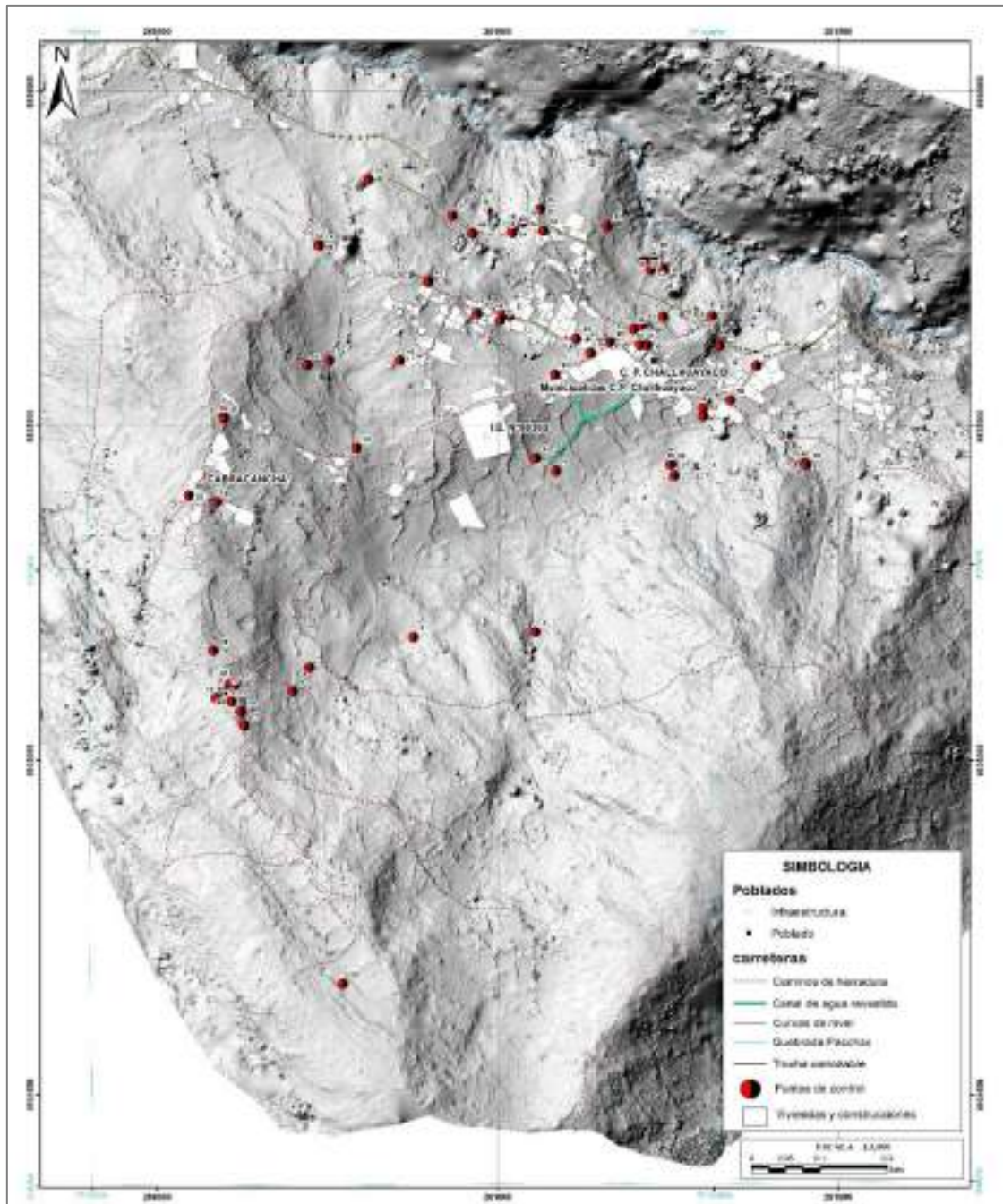


Figura 3.1. Mapa de puntos de control levantados en campo en el área de inspección Challhuayaco.

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

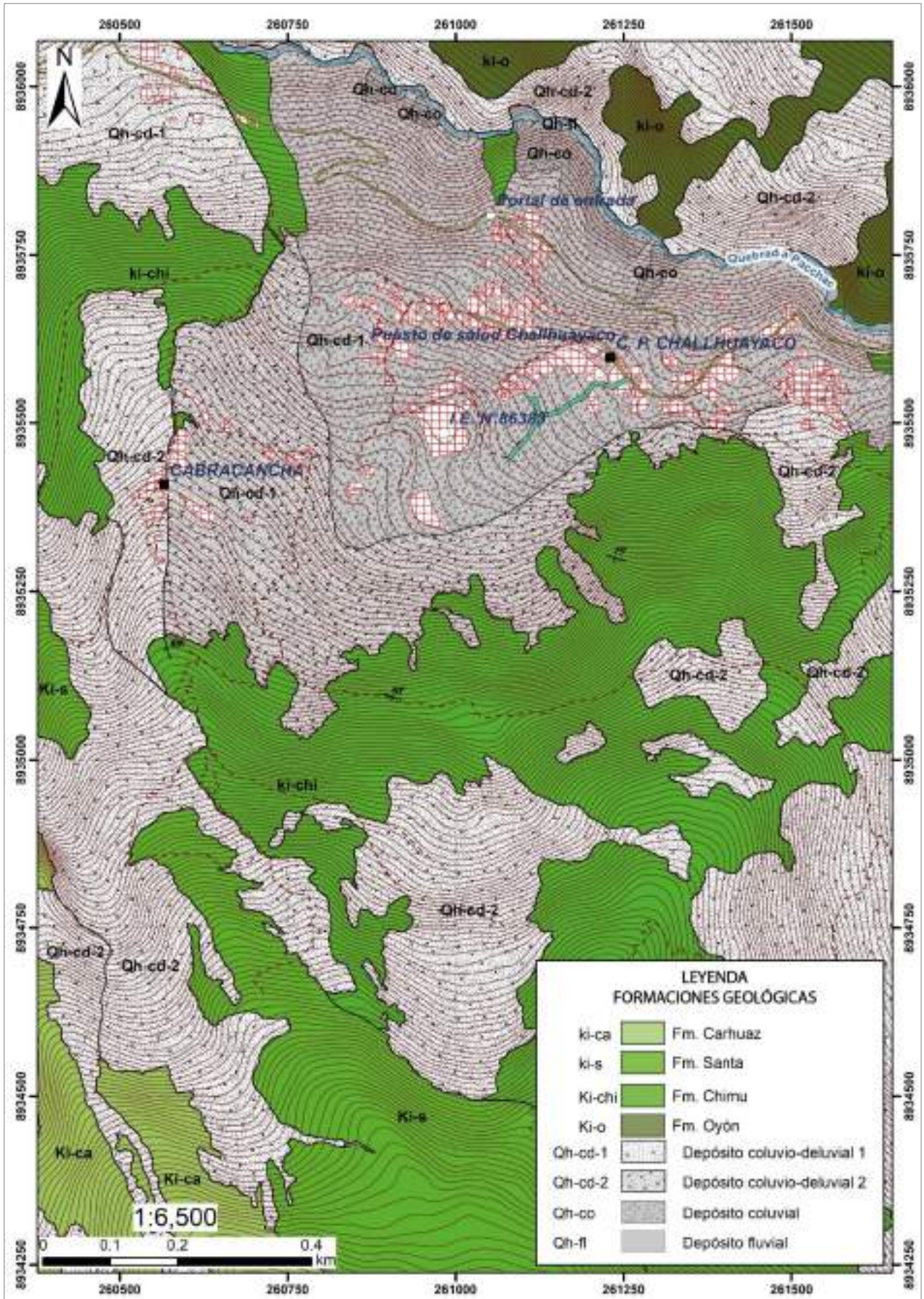


Figura 3.2. Mapa geológico del centro poblado Challhuayaco.

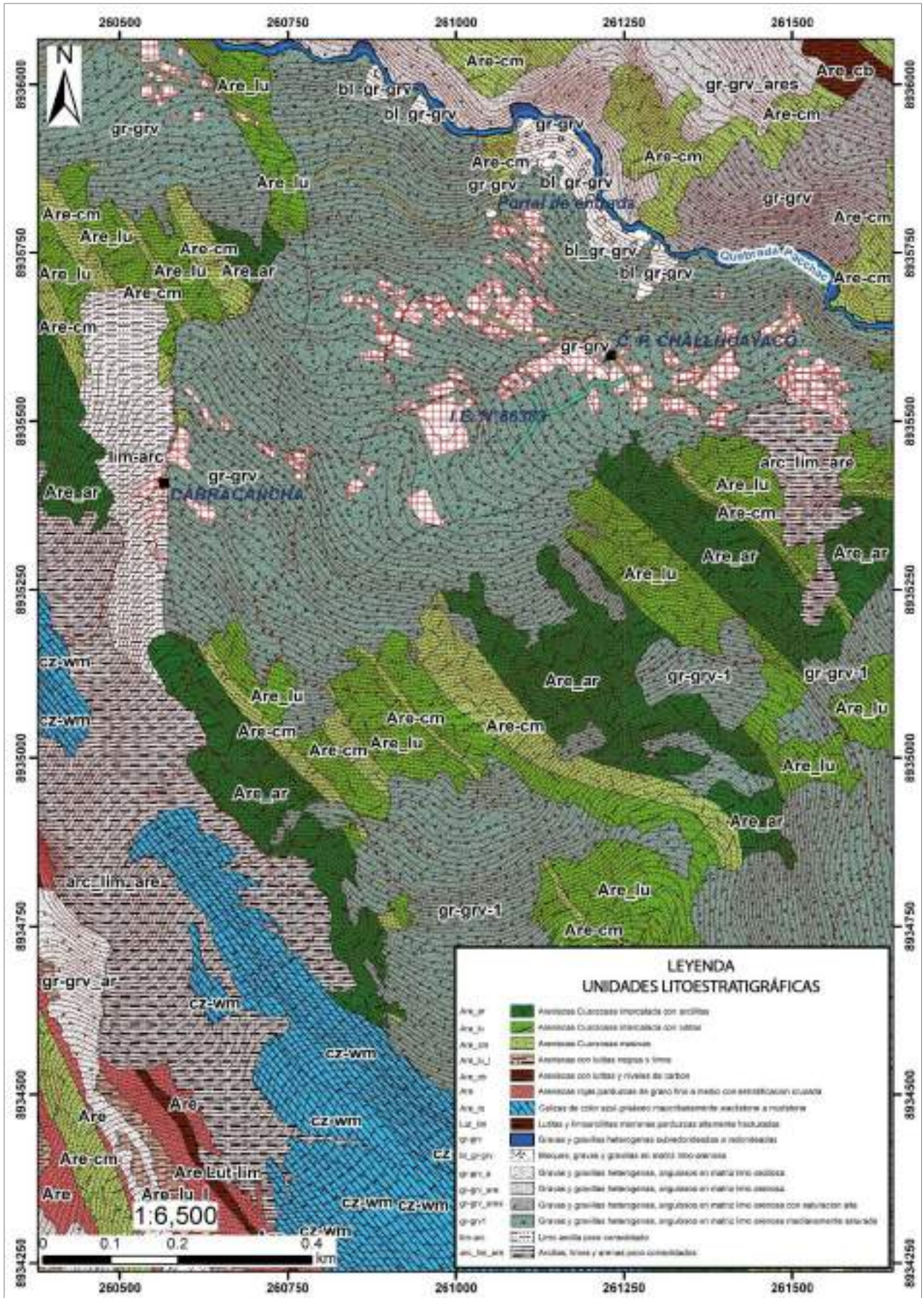


Figura 3.3. Mapa litológico del centro poblado Challhuayaco.

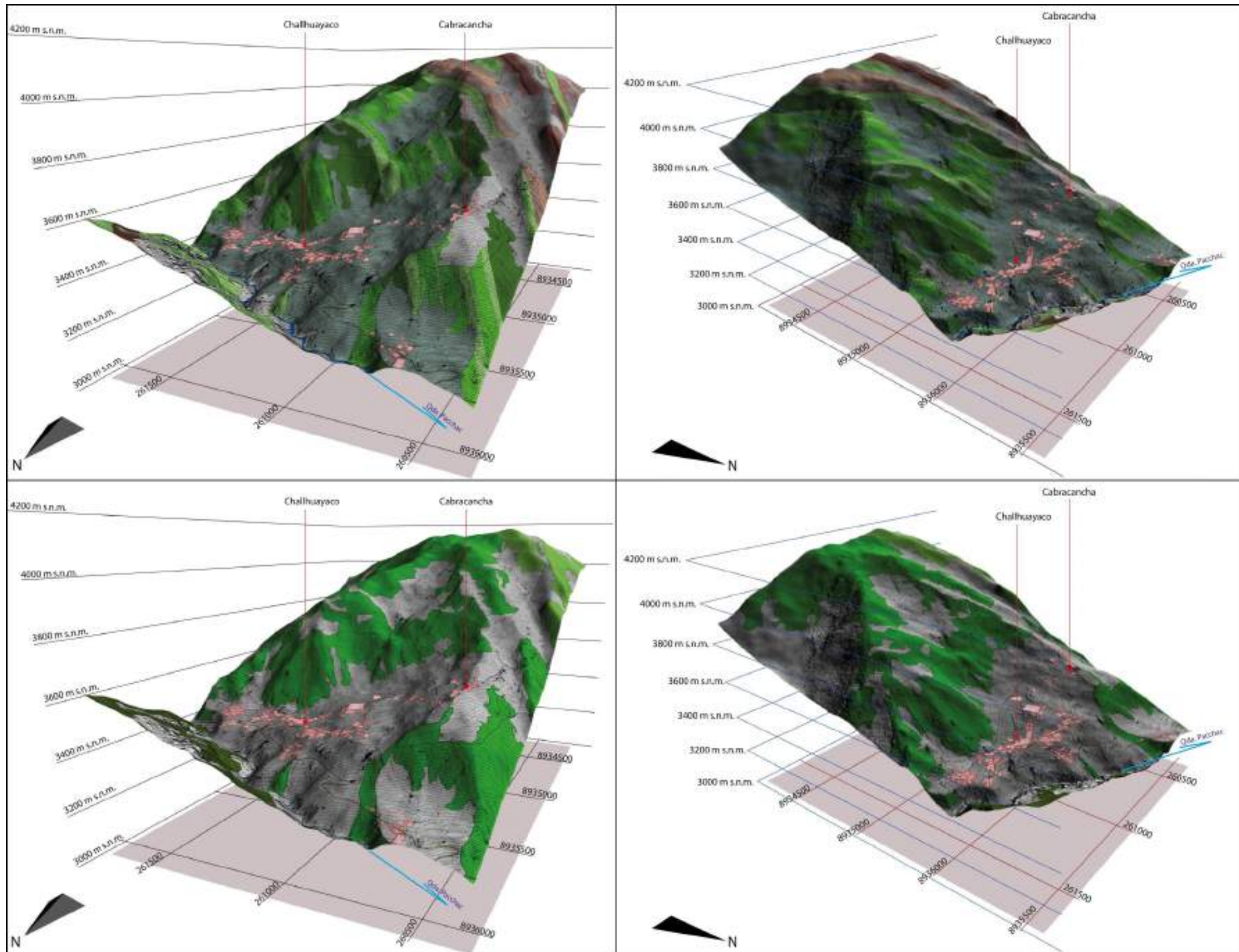


Figura 3.4. Vista 3D de la distribución espacial de las unidades litológicas (fila superior) y las formaciones geológicas en la fila inferior (la leyenda se detalla en la figura 3.2 y 3.3).

3.1. Unidades Litoestratigráficas

Las unidades litoestratigráficas que afloran en las laderas norte del centro poblado de Challhuayaco corresponden a rocas de origen sedimentario de las formaciones Oyón (Ki-o), Chimú (Ki-chi), Santa (Ki-sa) y Carhuaz (Ki-ca), 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 Norte de Challhuayaco desde la base de la quebrada Pacchac (Figura 3.3), el cual muestra de manera detallada la litología (Cuadro 3.1), espesores y niveles de intercalación.

Cuadro 3.1. Descripción de las unidades litológicas por unidad geológica en el área de inspección Challhuayaco.

Unidad Geológica	Abreviatura	Descripción litológica	Abreviatura
Depósito fluvial	Qh-fl	Gravas y gravillas heterogéneas subredondeados a redondeadas	gr-grv
Depósito coluvio-deluvial	Qh-co	Bloques, gravas y gravillas en matriz limo-arenosa	bl_gr-grv
	Qh-cd-3	Gravas y gravillas heterogéneas, angulosos en matriz limo arenosa medianamente saturada	gr-grv
		Gravas y gravillas heterogéneas, angulosos en matriz limo arenosa medianamente saturada	gr-grv
	Qh-cd-2	Gravas y gravillas heterogéneas, angulosos en matriz limo arenosa medianamente saturada	gr-grv
		Gravas y gravillas heterogéneas, angulosos en matriz limo arenosa medianamente saturada	gr-grv
		Gravas y gravillas heterogéneas, angulosos en matriz limo arenosa medianamente saturada	gr-grv
		Arcillas, limos y arenas poco consolidados	arc_lim_are
		Areniscas cuarzosas masivas	Are-cm
	Qh-cd-1	Bloques, gravas y gravillas en matriz limo-arenosa	bl_gr-grv
		Gravas y gravillas heterogéneas, angulosos en matriz limo arenosa con saturación alta	gr-grv
		Gravas y gravillas heterogéneas, angulosos en matriz limo arenosa medianamente saturada	gr-grv-1
		Gravas y gravillas heterogéneas, angulosos en matriz limo arcillosa	gr-grv_ar
		Gravas y gravillas heterogéneas, angulosos en matriz limo arenosa	gr-grv_are
Gravas y gravillas heterogéneas, angulosos en matriz limo arenosa		gr-grv_ares	
Limo arcilla poco consolidado		lim-arc	

		Arcillas, limos y arenas poco consolidados	arc_lim_are
		Arcillas, limos y arenas poco consolidados	arc_lim_are
Fm- Carhuaz	Ki-ca	Areniscas rojas parduzcas de grano fino a medio con estratificación cruzada	Are
		Areniscas cuarzosas masivas	Are-cm
		Areniscas con lutitas negras y limos	Are_lu_l
		Lutitas y limo arcillitas marrones parduzcas altamente fracturadas	Lut-lim
Fm. Santa	Ki-s	Calizas azul grisáceas mudstone a wackstone	Cz-mw
Fm. Chimú	Ki-chi	Areniscas cuarzosas masivas	Are-cm
		Areniscas cuarzosas intercalada con arcillitas	Are_ar
		Areniscas cuarzosas intercalada con lutitas	Are_lu
		Areniscas cuarzosas intercalada con lutitas	Are_lu
Fm. Oyón	Ki-o	Areniscas cuarzosas masivas	Are-cm
		Areniscas cuarzosas masivas	Are-cm
		Areniscas con lutitas y niveles de carbón	Are_cb

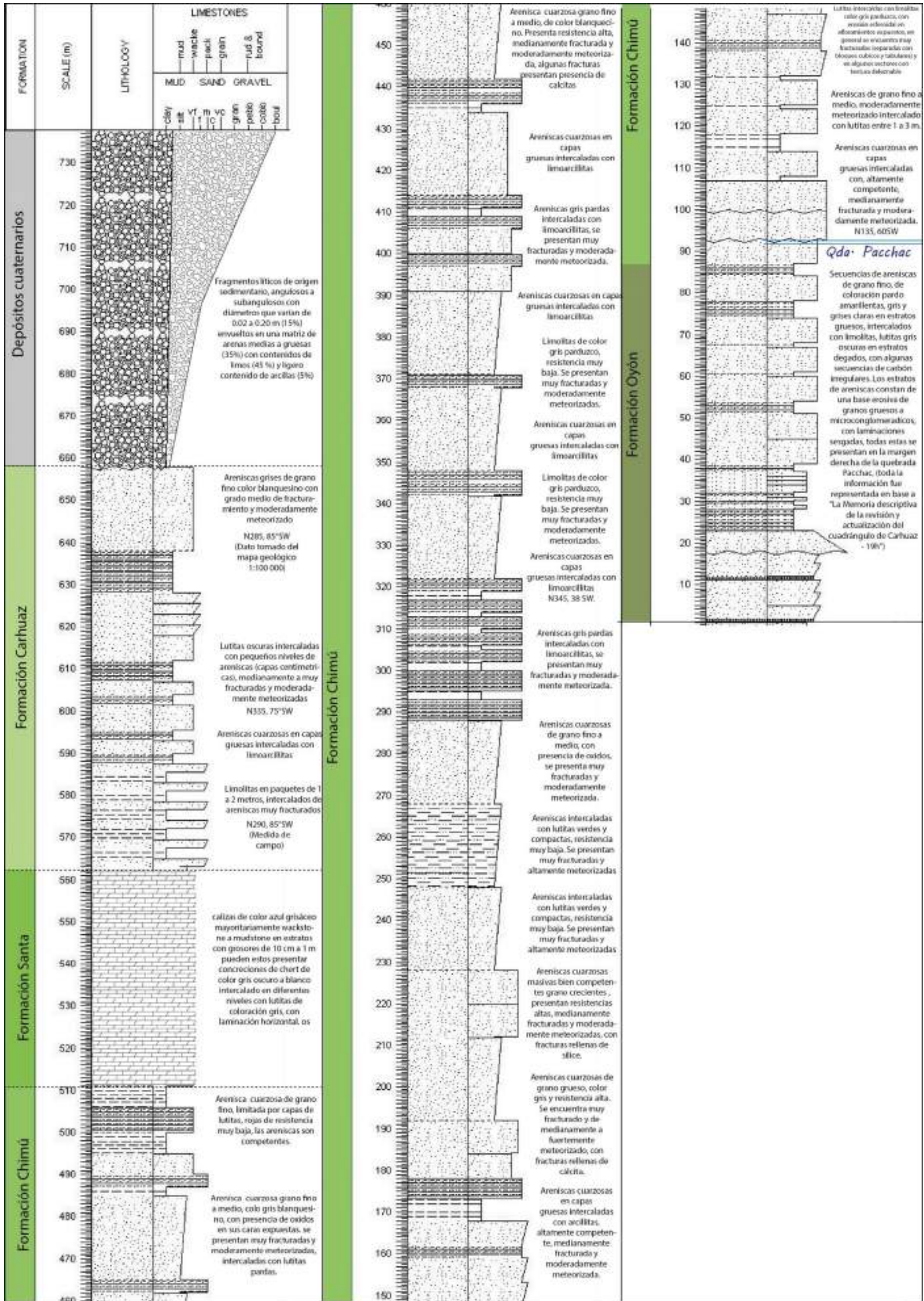


Figura 3.5. Columna estratigráfica levantadas en el flanco Norte de Challhuayaco.

3.1.1. Cretácico

El área de estudio está conformada por secuencias sedimentarias de la Formación Oyón y el Grupo Goyllarisquizga. En el flanco derecho de la quebrada Pacchac afloran rocas de la Formación Oyón, que consisten en secuencias de areniscas de grano fino 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.

- Formación Oyón (Ki-oy)

Descrita por Wilson (1963) como una secuencia de 100 m de capas de areniscas y lutitas intercaladas con mantos de carbón. Luego, Cobbing, E.J. (1973) lo describe como una Formación que ocurre en las zonas axiales de pliegues anticlinales, sin observar su base, estimando un grosor mayor a 400 m.

Los estratos de areniscas constan de una base erosiva de granos gruesos a microconglomeradas 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. Esta descripción geológica también se ve presente en la base de la columna estratigráfica. Cabe resaltar que esta Formación carece de menor cuidado en cuanto a una descripción local debido a que se encuentra en la margen opuesta del área de inspección (Figura 3.6).



Figura 3.6. Contacto entre las Formaciones Oyón y Chimú, en el cauce de la quebrada Pacchac.

- **Grupo Goyllarisquiza**

Este grupo está constituido por las formaciones Chimú, Santa y Carhuaz, las cuales se describen a continuación:

A. Formación Chimú (Ki-chi)

Infrayace a la Formación Oyón, siendo aparentemente su contacto en el cauce de la quebrada Pacchac de forma erosivo y/o discordante (Figuras 3.5 y 3.6); mientras que, su tope infrayace concordantemente a la Formación Santa.

En el área de estudio, está conformado por areniscas cuarzosas, color blanco grisáceo que se ordenan en estratos de 1 a 2 m de espesor continuos, conformando una base erosiva sobre el que se alternan areniscas con estratificación sesgada de espesores similares. Las areniscas de grano fino a grueso y contenido de óxidos en las partes superficiales, se intercalan con lutitas y limoarcillitas, muy fracturadas y meteorizadas. Estos estratos presentan dirección N290° y buzamiento de 80° SW (Figuras 3.7 y 3.8).

B. Formación Santa (Ki-s)

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.

Los estratos de esta Formación se presentan pseudo verticales con dirección de N290° y buzamientos de 85°, conforman paredes escarpadas en el borde de la ladera y la cima de Challhuayaco (Figura 3.10 y 3,11).

C. Formación Carhuaz (Ki-ca)

Descrita por Cobbing, E. J. (1978). Esta Formación yace concordante sobre la Formación Santa, está conformado por limo arcillitas y capas de arenisca cuarcífera medianamente meteorizada, y la parte superior está constituida por limo arcillitas rojas y limolitas de color pardo gris. Esta Formación normalmente tiene un espesor de ~600 m, pero Wilson, J. (1967) reporto espesores de más de 1500 m. En la zona de estudio se encuentra en la parte alta de Challhuayaco (viene a ser parte del núcleo de un sinclinal erosionado (Figuras 3.11 y 3.12).



Figura 3.7. Areniscas cuarzosas gris blanquecinas correspondientes a la Fm. Chimú.



Figura 3.8. Areniscas con estratificación sesgada con espesores similares intercaladas con lutitas y limolitas correspondientes a la Fm. Chimú.



Figura 3.9. Vista de areniscas con estratificación sesgada de la Fm. Chimú, que aflora en la parte media-baja de Challhuayaco.



Figura 3.10. Calizas intercaladas con lutitas correspondientes a la Fm. Santa.

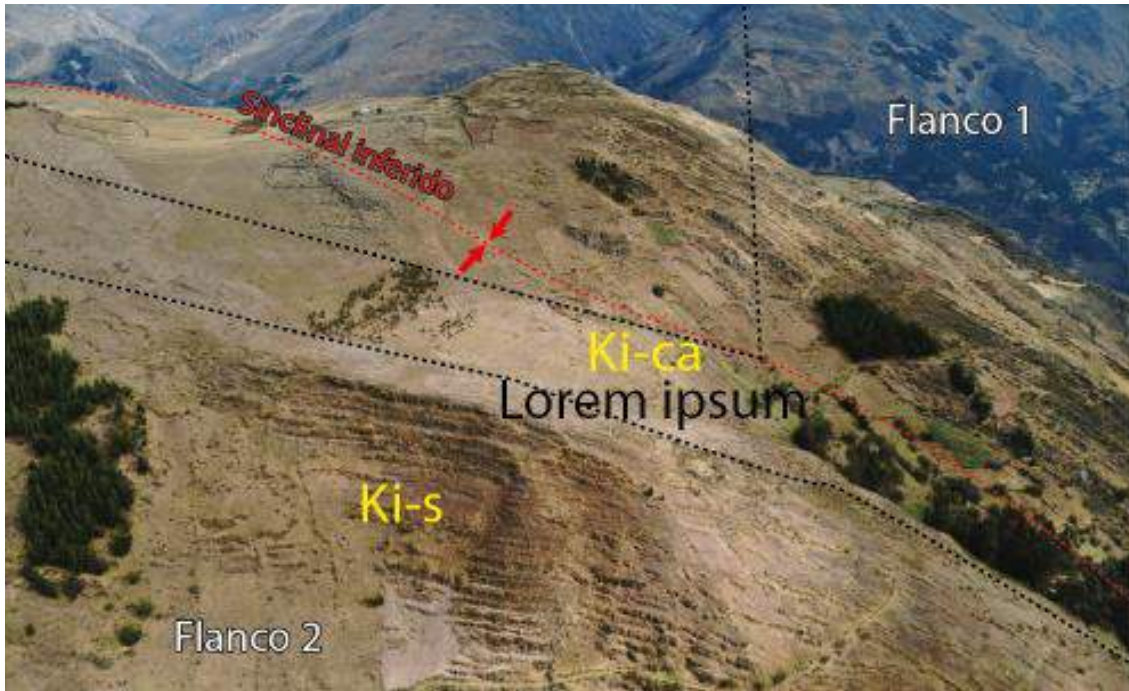


Figura 3.11. Contacto entre las formaciones Santa y Carhuaz, muestra el eje del pliegue sinclinal inferido en el mapa geológico.

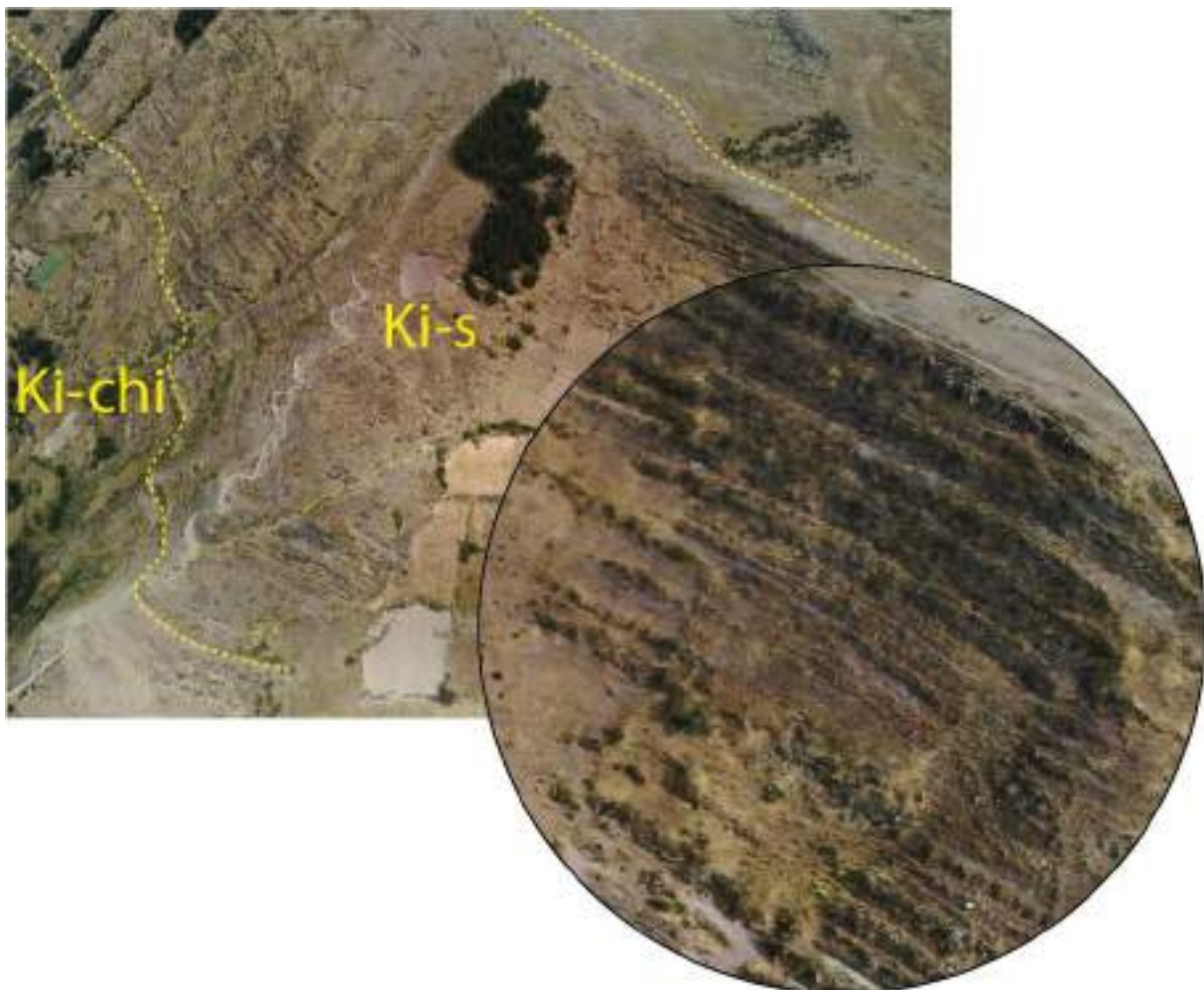


Figura 3.12. Contacto entre las formaciones Chimú y Santa.

3.1. Depósitos superficiales

3.1.1. Depósito coluvio-deluvial:

- Depósito coluvio-deluvial (Q-cd)

Este tipo de depósitos viene a ser una combinación entre materiales de origen coluvial (caídas de rocas, derrumbes y deslizamientos) y deluvial (procesos de erosión con bajo transporte), que se encuentran medianamente compactados. En la zona de estudio se identificó hasta dos tipos de depósito coluvio-deluvial debido a su proceso de formación:

Las 02 exploraciones del subsuelo, indican que el terreno se compone de arenas arcillo limosas con presencia de gravas (SC-SM). Las gravas son angulosas a subangulosas, de composición sedimentaria, con predominancia de areniscas cuarzosas blanquecinas y rojizas producto de la oxidación. Se observan también fragmentos calcáreos de color grisáceo.

Los materiales granulares del suelo se encuentran en un 24.35% mientras que lo finos que componen la matriz en un 75.65%. Esta condición de predominancia de matriz fina la califica como depósito matriz soportada. El límite líquido de la componente fina es de 19.40%, límite plástico de 13.1% e índice de plasticidad de 6.30%, es decir de plasticidad baja.

Depósito coluvio-deluvial 1 (Q-cd1), corresponde a los depósitos originados a partir de un deslizamiento de tipo rotacional, conformado por materiales detrítico previamente acumulados en la parte media y baja de la ladera (Figura 3.13 y 3.14). Son utilizados como terrenos de cultivo y zonas urbanas.

Depósito coluvio-deluvial 2 (Q-cd2), se presenta en la parte alta de la ladera y presenta una diferencia considerable de espesor en comparación con el depósito coluvio-deluvial 1. Estos depósitos son utilizados como terrenos de cultivo.

- Depósito coluvial (Q-co)

Está constituido por bloques angulosos a subangulosos generado por derrumbes y deslizamientos recientes en la margen izquierda de la quebrada Pacchac, estos depósitos están distribuidos de forma caótica y heterométrica, los bloques corresponden principalmente a areniscas cuarzosas de la Formación Chimú (Figura 3.15).

- Depósito fluvial (Q-fl)

Estos depósitos se encuentran a lo largo del cauce del río Pacchac, están compuestos de guijarros y fragmentos de rocas redondeados a subredondeados y arenas gruesas (Figura 3.15).



Figura 3.13. Depósito coluvio-deluvial 1, se observa la roca alterada y deformada que corresponde al cuerpo del deslizamiento, debido al gran fracturamiento de las rocas estas se utilizan como material agregado.



Figura 3.14. Depósito coluvio-deluvial 1, se observa fragmentos subangulosos envueltos en una matriz limosa.



Figura 3.15. Depósito cuaternarios coluvial y fluvial en la margen derecha de la quebrada Pacchac.

3.2. Contexto estructural

La construcción de la cordillera de los Andes y la formación de arcos volcánicos es debido al proceso de la subducción, donde, la placa de Nazca se subduce por debajo la placa Sudamericana desde ~50 Ma (Pardo-Casas y Molnar, 1987) a una tasa de convergencia de ~62 mm.yr⁻¹ (Villegas-Lanza et al., 2016). Esta dinámica produjo un engrosamiento de la corteza a largo plazo controlado por la depositación magmática y el acortamiento tectónico.

Cobbing et al., (1996) señalan que las fallas preexistentes marcaron el cambio del modo orogénico al modo cratogénico en la Cordillera Oriental. Siguiendo a la orogenia paleozoica le sucedió el cinturón orogénico Mesozoico que fue desplazado hacia el Oeste y las cuencas sedimentarias fueron desarrolladas en áreas negativas como resultado de movimientos a lo largo de bloques fallados de la corteza. Estas cuencas fueron llenadas por sedimentos derivados del bloque del Marañón y también del cratón de Brasil y por depósitos del vulcanismo resultado de la iniciación de una zona de subducción. Cobbing et al., (1996) también indican que la actividad volcánica fue intermitente durante el Jurásico superior y el Cretácico resultando en un eugeosinclinal ubicado en borde exterior del continente y por un miogeosinclinal sedimentario en el interior del continente (Figura 3.16). En este último se encuentra la cuenca Chavín controlado por fallas importantes en el complejo del Marañón.

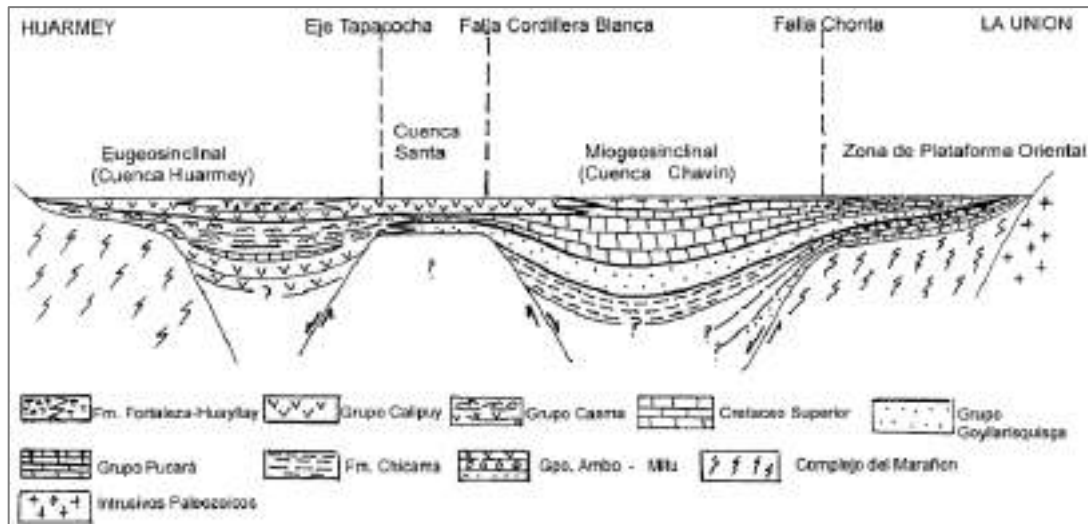


Figura 3.16. Esquema Diagramático de las relaciones Estratigráficas y Facies desde el Paleozoico Superior, Sección Huarmey - La Unión (Tomado de Cobbing et al., 1996).

Durante el Paleoceno el miogeosinclinal fue deformado por la orogenia Incaica y las estructuras se desarrollaron siguiendo la tendencia Andina (Cobbing et al., 1996). Como se observa en la zona de estudio y el callejón de Conchucos las rocas cretácicas correspondientes a la Formación Oyón y el Grupo Goyllarisquizga se encuentran plegadas y deformadas por diferentes episodios orogénicos durante el Cretácico, el Paleógeno y Neógeno (Figura 3.17).

Cobbing et al., (1996) señalan que es probable que en adición a la formación de amplios ondulamientos en el basamento se desarrollaron grandes fallamientos que se prolongaron hacia arriba y fueron efectivos en la formación de ejes de pliegues en la cobertura, además ellos continuaron su movimiento a través y después de la deformación de la cobertura y así dividieron los limbos de muchos pliegues con limbos fallados, que son las estructuras características dentro del Miogeosinclinal. De tal forma considera que la deformación en el Miogeosinclinal no pertenece estrictamente a pliegues de cobertura o a pliegues del basamento sino a una combinación de ambos.

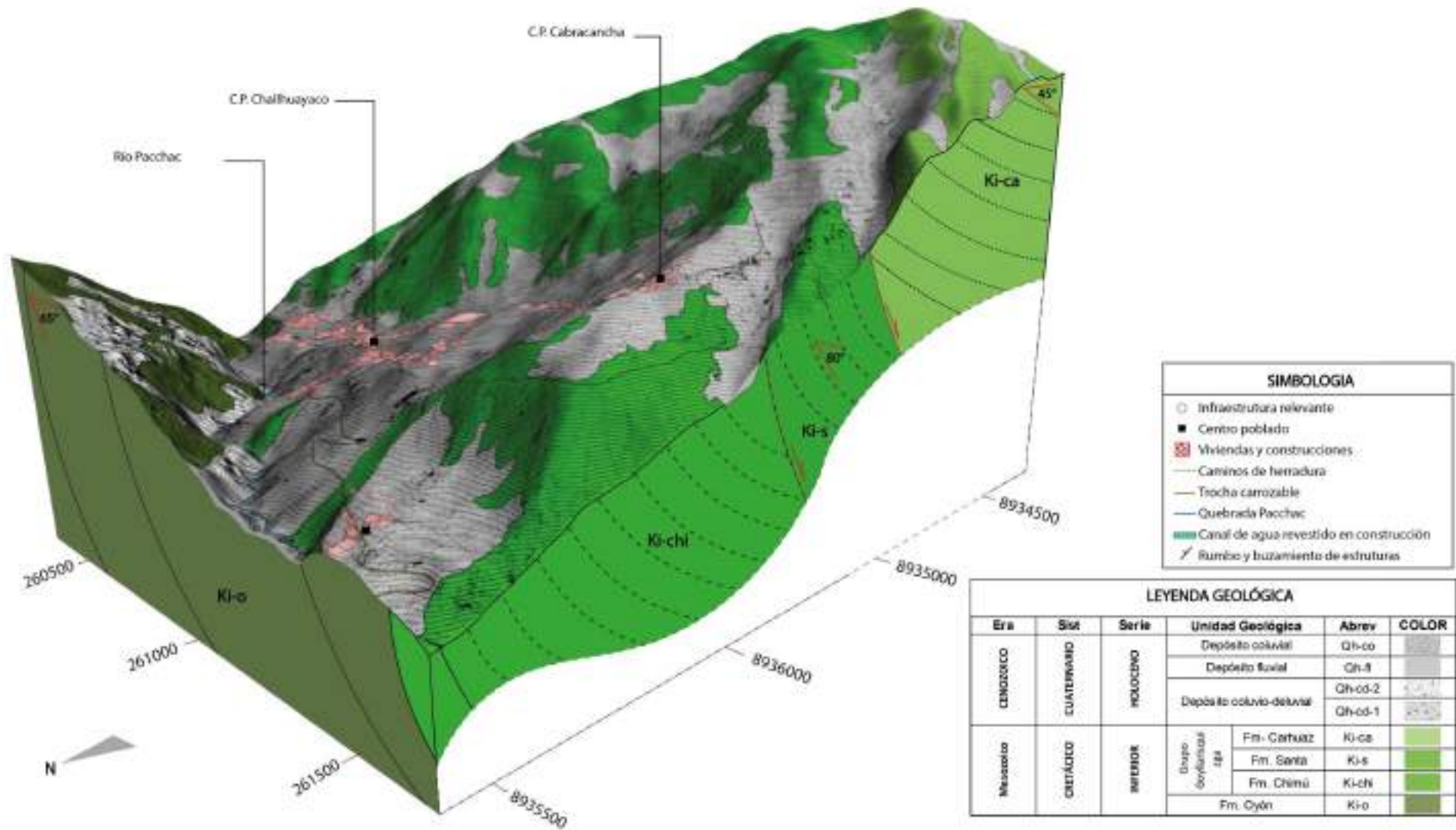


Figura 3.17. Análisis estructural inferido en Challhuayaco.

4. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS

4.1. Modelo digital de elevaciones

Un modelo digital del terreno (MDT), vienen a ser una representación tridimensional de la superficie terrestre a partir de datos geospaciales. Los valores describen la elevación del terreno, reflejando la topografía del área a estudiar sin incluir elementos sobre la superficie como edificaciones o vegetación.

El modelo digital del terreno viene a ser una herramienta versátil y proporciona una base fundamental para realizar análisis espaciales detallados y la generación de mapas temáticos.

Para este estudio se realizaron modelos de elevación digital a diferentes escalas de resolución. El primer modelo digital del terreno se realizó a partir de imágenes tomadas con vuelos drone, luego se ha realizado el procesamiento fotogramétrico utilizando el software Agisoft, llegando a obtener un modelo de elevación digital de 20 cm de resolución (Figura 4.1).

El segundo modelo de elevación del terreno se construyó a partir de imágenes Spot, llegando a obtener un modelo de elevación digital de 6 m de resolución.

Se utilizó estos dos modelos en conjunto para realizar todos los análisis y generar mapas temáticos.

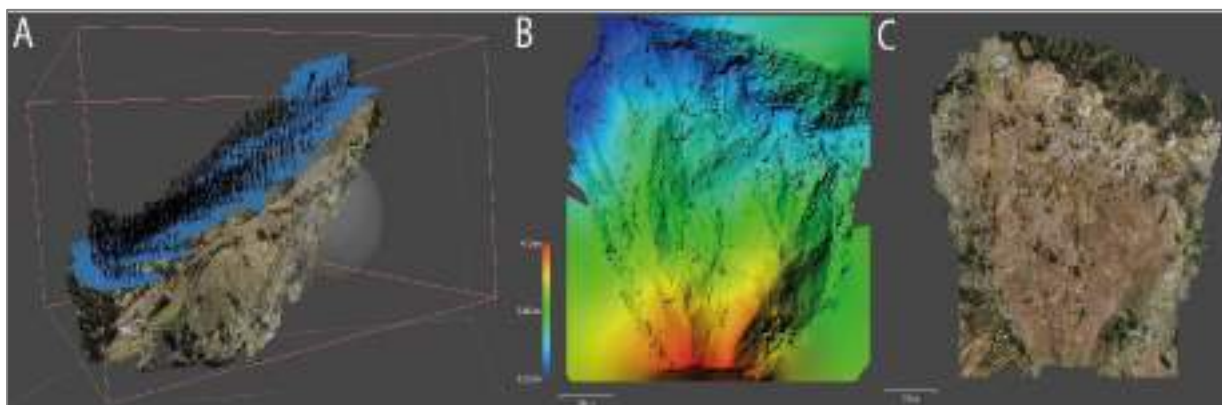


Figura 4.1. Generación de un modelo de elevación digital a partir de fotogrametría con Drone. a) Líneas de sobre vuelo y posición de la cámara y solapamiento de imágenes. b) Generación del Modelo de elevación digital (DEM) de 20 cm de resolución y c) Ortofoto.

Haciendo un análisis de la elevación del terreno, podemos observar que en la zona de estudio se tiene más de 1700 m de diferencia entre el fondo del valle del río Paccha y la cima de Challhuayaco (Figura 4.2).

Así también, el deslizamiento se encuentra a 80 m de diferencia del río Paccha, mientras que el C.P. Challhuayaco se ubica entre los 90 m y 180 m.

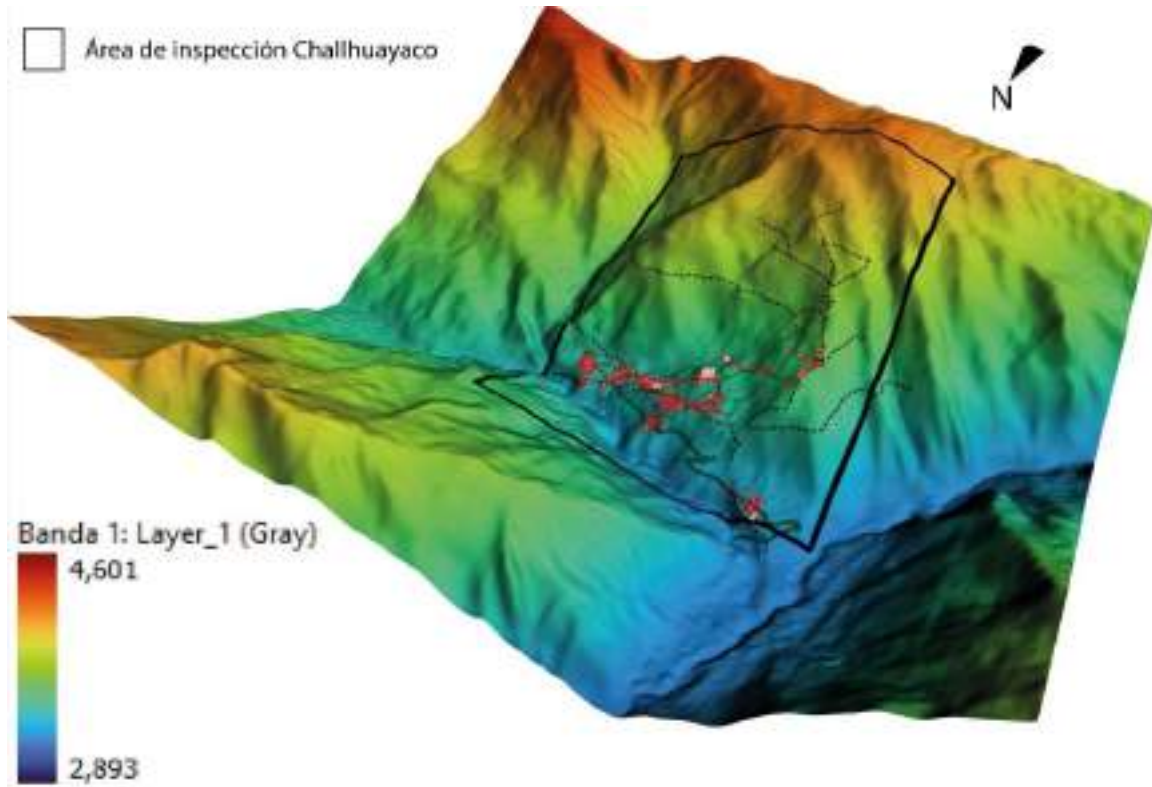


Figura 4.2. Mapa de elevación del terreno a partir del modelo digital de elevación (MDE) de 6 m de resolución, donde se puede observar que hay más de 1700 m de diferencia entre el valle del río Pacchac y la cima de la ladera Challhuayaco.

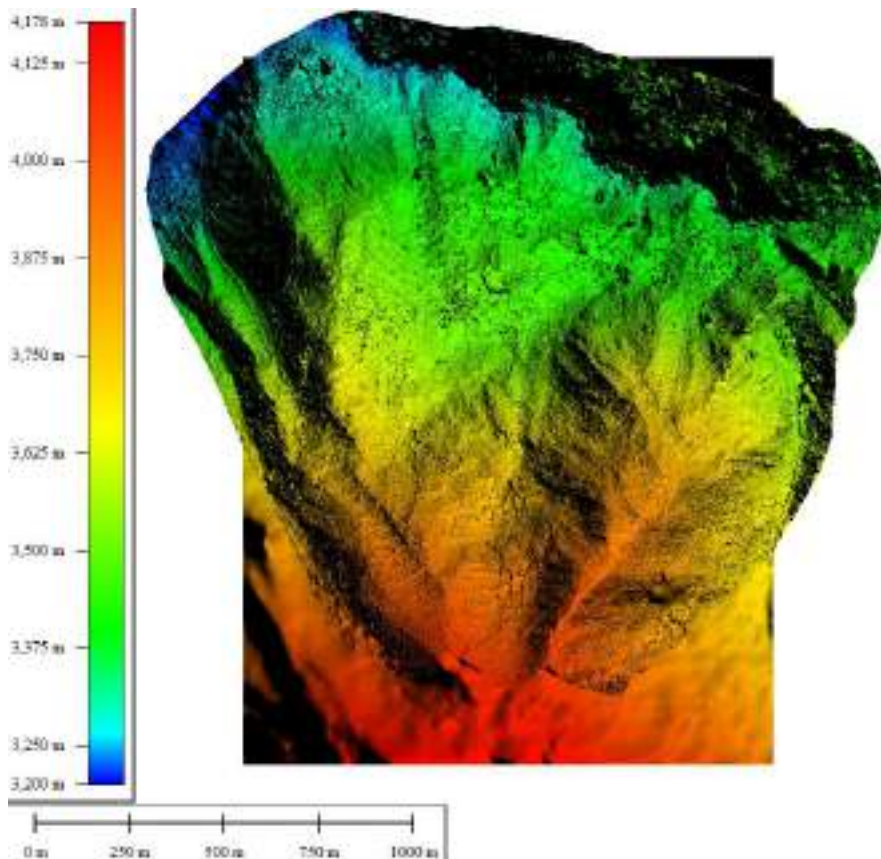


Figura 4.3. Combinación de MDE, de 20 cm y 6 m, para completar el área de trabajo.

4.2. Pendientes del terreno

La pendiente corresponde al grado de inclinación del terreno con respecto a una horizontal y es expresada en porcentaje (%) o grados (°). El mapa de pendientes (Figura 4.4) se elaboró con ayuda del software ArcGis, para el cual se utilizó como base el modelo digital drone (DEM) de 20 cm de resolución, cabe resaltar que, este modelo no cubre la parte alta de la ladera siendo completada con el modelo digital SPOT de 6m/px.

Se diferenciaron 6 rangos de pendientes como se detalla en el cuadro 4.1, donde el 46 % de la superficie topográfica del área de estudio presenta pendientes escapadas (25°-45°), el 27 % corresponde terrenos muy escarpados (>45°) y el 18% a pendientes fuertes (15°-25°). El resto de rangos de pendiente llano (0°-1°), suave (1°-5°) y moderada (5°-15°) solo alcanzan un total de 8.58%.

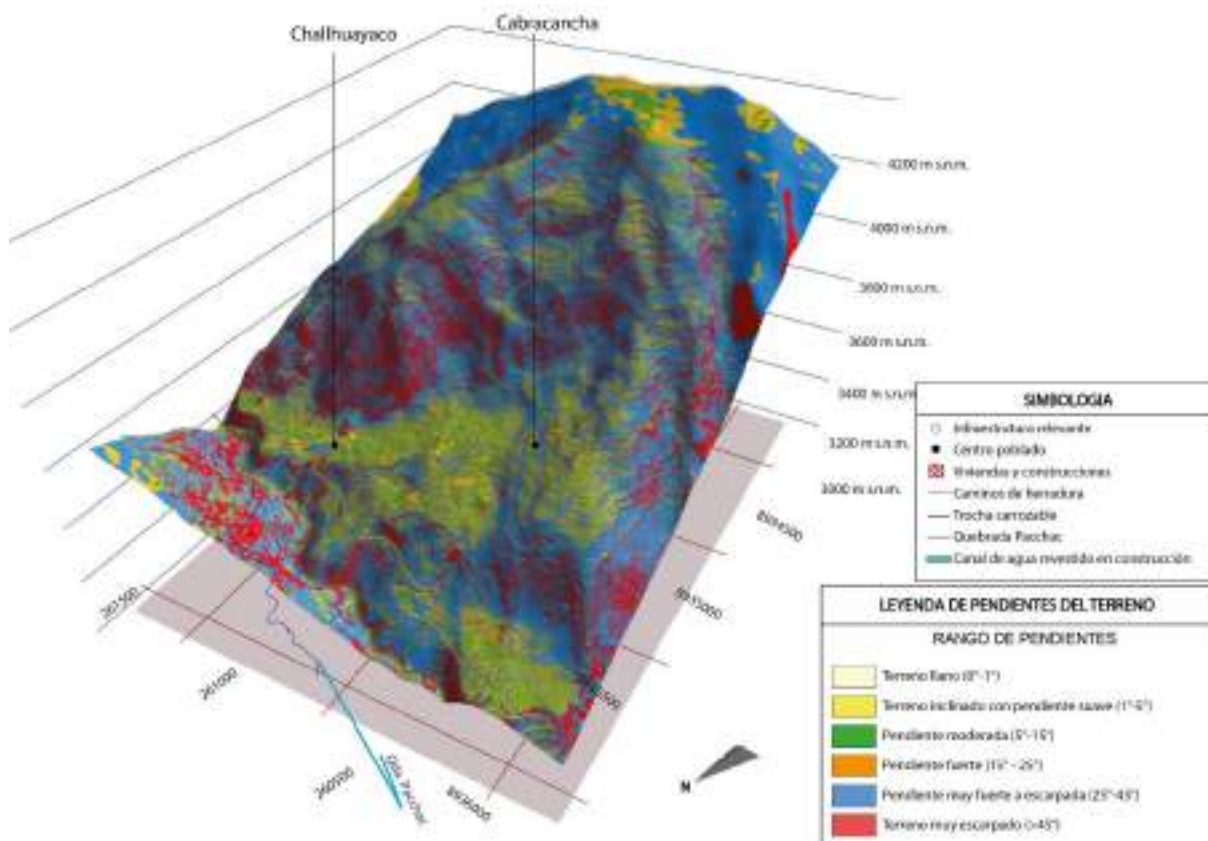


Figura 4.4. Mapa de pendiente del terreno. Se puede observar que gran parte del terreno presenta pendientes entre fuerte a muy escarpado ver Cuadro 4.1.

El centro poblado de Challhuayaco se encuentra asentado sobre pendiente que varía de suave (1°-5°) a moderada (5°-15°), delimitado al norte y sur por pendientes mayoritariamente escarpadas y muy escarpadas.

En base a la distribución del rango de pendientes los deslizamientos activos se dan en pendientes muy fuertes (25°-45°).

Cuadro 4.1. Rangos de pendiente del terreno (ver mapa 4.3).

Color	Rango de pendiente (°)	Superficie topográfica	Área (km ²)	Área (%)
	0° - 1°	Terreno llano	0.001	0.03
	1° - 5°	Terreno inclinado con pendiente suave	0.020	0.81
	5° - 15°	Pendiente moderada	0.189	7.73
	15° - 25°	Pendiente fuerte	0.440	18.02
	25° - 45°	Pendiente muy fuerte o escarpada	1.135	46.44
	> 45°	Terreno muy escarpado	0.659	26.96
Área total			2.44	100

4.3. Índice Topográfico de Humedad (TWI)

El Índice Topográfico de Humedad (Topographic Wetness Index, TWI) es una herramienta esencial en el análisis geodinámico porque proporciona información crítica sobre la distribución de la humedad del suelo, lo cual influye significativamente en diversos procesos geodinámicos. Utilizado para identificar zonas propensas a deslizamientos, el TWI destaca áreas con alta acumulación de humedad que pueden ser más susceptibles a movimientos del terreno, especialmente en pendientes inclinadas.

También es fundamental para monitorear los posibles procesos de erosión del suelo con posibilidad a evolucionar en deslizamientos, ya que áreas con mayor humedad pueden experimentar mayor erosión superficial. En ingeniería geotécnica, el TWI evalúa la estabilidad de taludes, identificando áreas de riesgo que requieren medidas de estabilización. Además, facilita la comprensión de procesos de infiltración y escorrentía, cruciales para modelar la dinámica del agua en el terreno y sus impactos geomorfológicos. En hidrogeología, ayuda a identificar zonas de recarga y descarga de acuíferos, esencial para la gestión de recursos hídricos subterráneos. Asimismo, el TWI es valioso en el análisis de la dinámica fluvial, particularmente en la formación de valles y meandros influenciados por la humedad del suelo. Integrando el TWI en modelos predictivos de cambios geodinámicos, se puede anticipar cómo los procesos naturales y las actividades humanas alterarán la geomorfología y la estabilidad del terreno a lo largo del tiempo, permitiendo una planificación y gestión más efectivas en la prevención de desastres naturales y la conservación del medio ambiente.

En el centro poblado de Challhuayaco, el análisis del Índice Topográfico de Humedad (TWI) revela que las aguas de escorrentía se concentran desde la cabecera de la ladera, separándose en la mitad de la ladera en dos flujos hacia el noreste y el noroeste. El punto divisorio entre estos flujos es una masa deslizada en el pasado, considerada una vertiente con depósito de deslizamiento (Figura 4.5). Esta diferencia de altitudes entre ambos pseudo cauces de flujo superficial y el depósito podría influir en la infiltración de aguas de escorrentía en la masa de deslizamiento antiguo, aumentando la probabilidad de saturación del suelo coluvio-deluvial. La acumulación de humedad en esta área puede desestabilizar la masa deslizada provocando reactivaciones en el cuerpo principal.

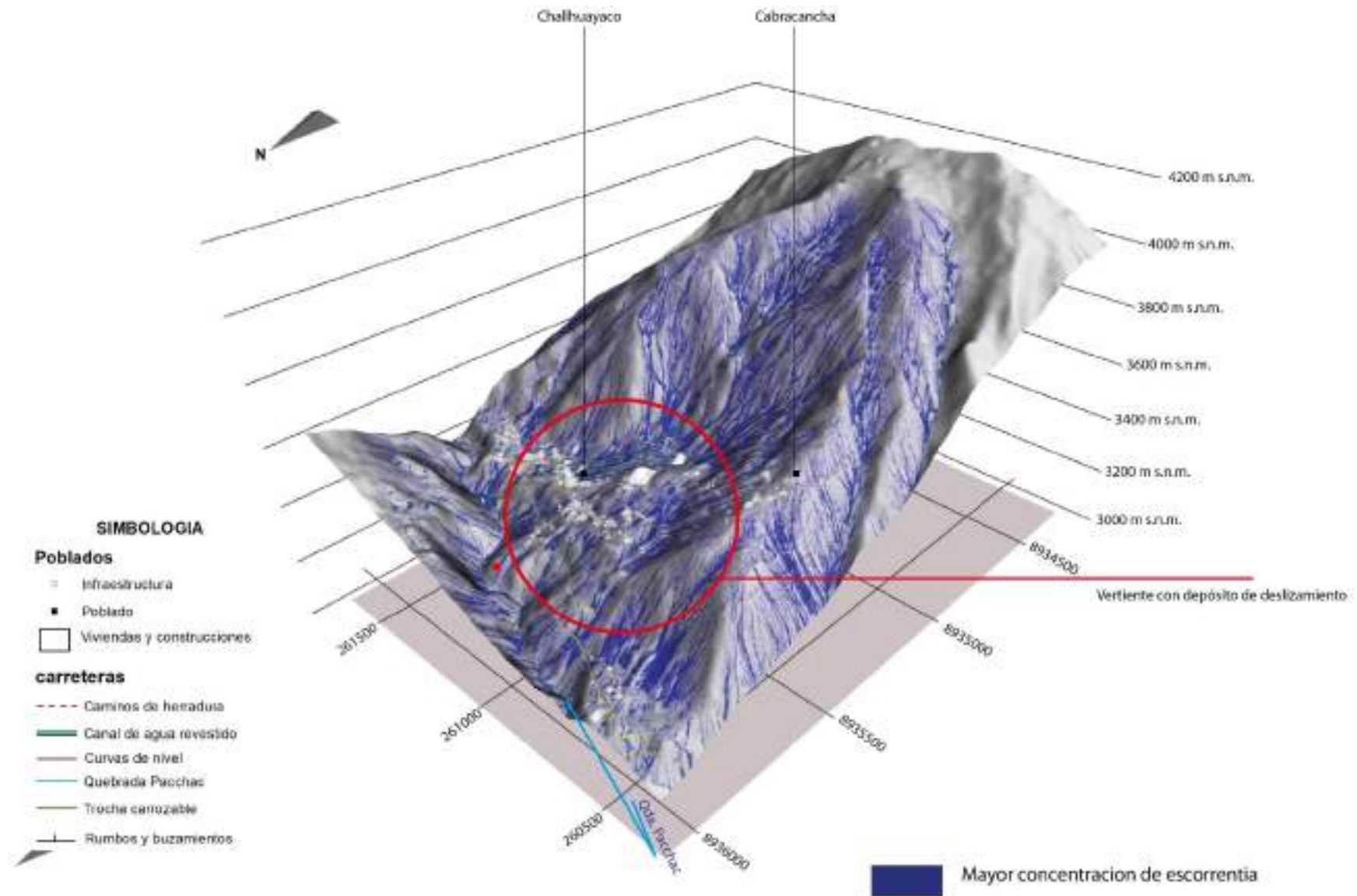


Figura 4.5. Diagrama de Índice topográfico de humedad, donde se observa las zonas con mayor acumulación de agua. en la zona de estudio.

4.4. Caracterización geomorfológica

Para la caracterización de las unidades geomorfológicas, 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 Challhuayaco se encuentra en la margen izquierda 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 (Figura 4.6).

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.

4.4.1. Unidad de montaña

Las montañas en la zona evaluada alcanzan alturas mayores a los 300 m respecto al nivel de base local (Villota, 2005) donde se reconocen cumbres y estribaciones producto de las deformaciones sufridas por la erosión y la influencia de otros eventos de diferente naturaleza. Se encuentran conformadas por alineamientos constituidos principalmente de rocas sedimentarias y disectadas por ríos y quebradas. Dentro de esta unidad se tienen las siguientes subunidades:

- **Subunidad de montaña estructural en roca sedimentaria (RME-rs).** Circunda por el lado sur al centro poblado Challhuayaco, tiene una altura promedio de 950 m respecto al nivel de base local (cauce de la quebrada Pacchac). Se dispone en dirección este-oeste modelando secuencias de las formaciones Oyón (margen derecha), Chimú, Santa y Carhuaz (margen izquierda), conformada por areniscas cuarzosas, calizas macizas, lutitas y limolitas. Presenta cimas alargadas y redondeadas, 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; además, según la geología regional esta montaña conforma el flanco izquierdo de un sinclinal siendo la cima de la montaña parte del núcleo, por lo cual los estratos se ven plegados.

4.4.2. Unidad de piedemonte

Corresponde a la acumulación de materiales provenientes de los procesos denudativos y erosionables que afecta las unidades de montaña, generalmente se encuentran en las laderas y piedemonte, en la zona de estudio se ha identificado 3 subunidades.

Estos tienden a nivelar hacia arriba la superficie de la tierra, mediante el depósito de materiales sólidos resultantes de la denudación de terrenos más elevados.

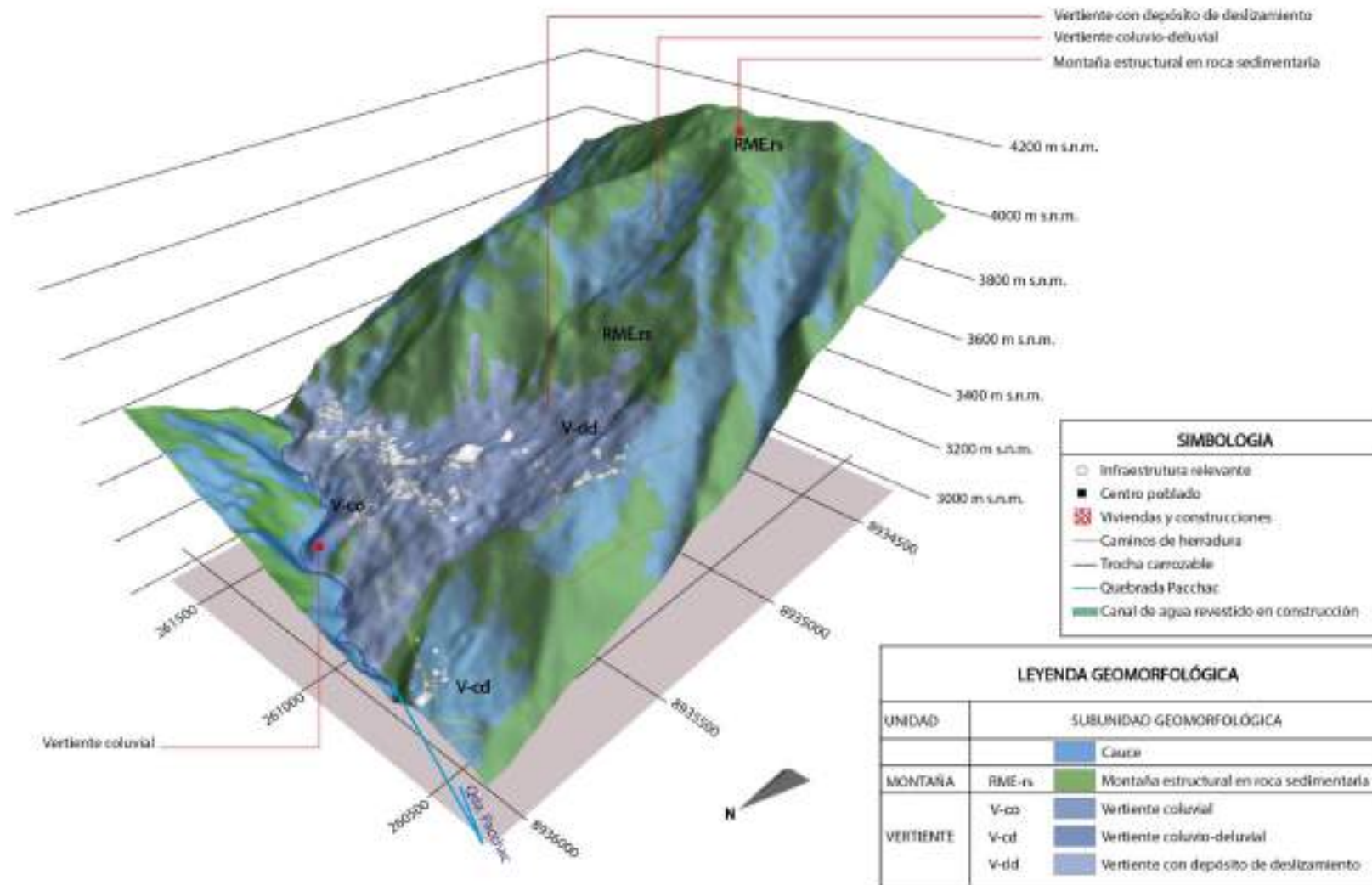


Figura 4.6. Diagrama de la distribuci3n de subunidades geomorfol3gicas de la zona de estudio.

- **Vertiente con depósito de deslizamiento (V-dd).** Se originó por movimientos en masa antiguos, específicamente deslizamientos rotacionales, que dejaron material detrítico en forma de superficies convexas, sobre la cual se encuentra asentado el centro poblado Challhuayaco. Esta vertiente presenta una topografía variada, con pendiente escarpada ($>45^\circ$) tanto en la parte alta como en la baja de la ladera, donde también predominan pendientes fuertes ($25^\circ-45^\circ$) y moderadas ($5^\circ-15^\circ$) en el área central, a la altura de la plaza central de Challhuayaco (Figura 4.7).

- **Vertiente coluvial (V-c).** Corresponde a zonas de activación geodinámica reciente en la margen izquierda de la quebrada Pacchac, caracterizadas por derrumbes en cuerpos de deslizamientos activos. Su configuración granulométrica es similar a la del depósito coluvio-deluvial, pero se diferencia en su nula compactación y en las formas de laderas de desprendimiento con pendientes escarpadas. Esta falta de compactación y las pendientes pronunciadas son indicativos de procesos recientes de inestabilidad, donde los materiales aún no han consolidado o estabilizado.

- **Vertiente coluvio deluvial (V-cd).** Los depósitos en la ladera norte de Challhuayaco corresponden a acumulaciones coluviales formadas por la intercalación de eventos geodinámicos, como derrumbes y deslizamientos, junto con eventos de meteorización deluvial con bajo transporte. Estos depósitos configuran laderas con pendientes escarpadas que oscilan entre 25° y 45° , y se encuentran mayoritariamente en la parte alta y media de la ladera. La combinación de estos procesos geodinámicos y la meteorización ha dado lugar a una topografía caracterizada por pendientes pronunciadas y materiales poco consolidados, lo que puede aumentar la susceptibilidad a futuros movimientos del terreno (Figura 4.8).



Figura 4.7. Unidades geomorfológicas de la zona de estudio. RME-rs: Subunidad de Montaña estructural en roca sedimentaria; V-dd: Vertiente con depósito de deslizamiento. Vista al Este.



Figura 4.8. Unidades geomorfológicas de la zona de estudio. RME-rs: Subunidad de Montaña estructural en roca sedimentaria; V-cd: Vertiente coluvio-deluvial. En la cima de la ladera oeste de Challhuayaco.

5. PELIGROS GEOLÓGICOS

Los peligros geológicos identificados en la zona de estudio (Figura 5.1), corresponden a movimientos en masa de tipo deslizamientos, movimientos complejos y derrumbes. Estos peligros son resultado del proceso de modelamiento del terreno, la presencia de 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. Las secciones AA' y BB' (Figuras 5.2, 5.3 y 5.4) muestran la geología y cómo se encuentran emplazados los diferentes procesos.

En este ítem realizaremos una descripción detallada de los diferentes tipos de peligros geológicos identificados en el C.P. Challhuayaco y alrededores:

5.1. Movimientos en masa

Los peligros asociados a movimientos en masa, son procesos geológicos que implican el desplazamiento de material terrestre, como rocas, suelo y escombros, cuesta abajo debido a la gravedad. Estos fenómenos son desencadenados por una combinación de factores naturales y antrópicos, a ello se suma la pendiente del terreno, la saturación del suelo por lluvias intensas, movimientos sísmicos, erosión y actividades antrópicas como la deforestación, mal manejo del agua de riego y la construcción inadecuada como cortes de talud para carreteras.

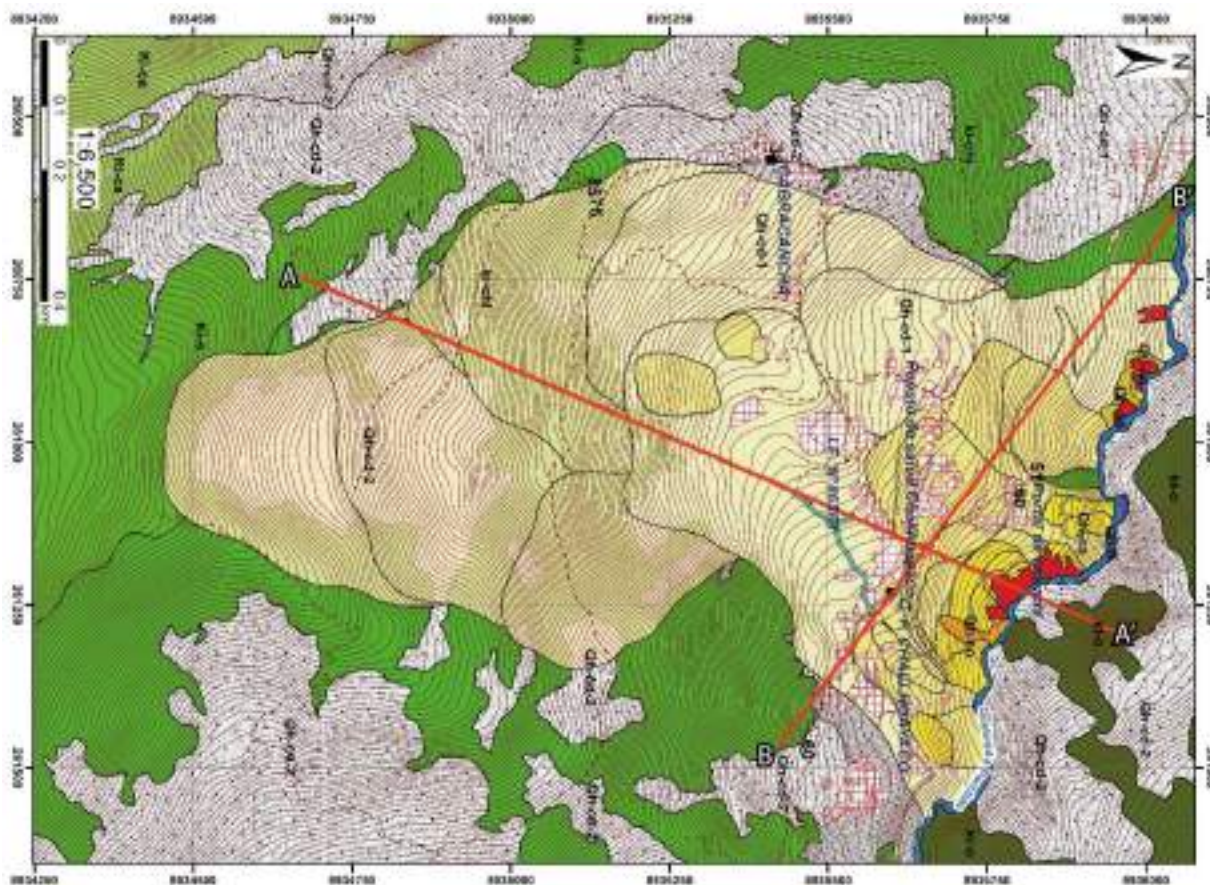


Figura 5.1. Cortes de perfil en mapa geológico y de peligros geológicos representado en las figuras 5.2 y 5.3.

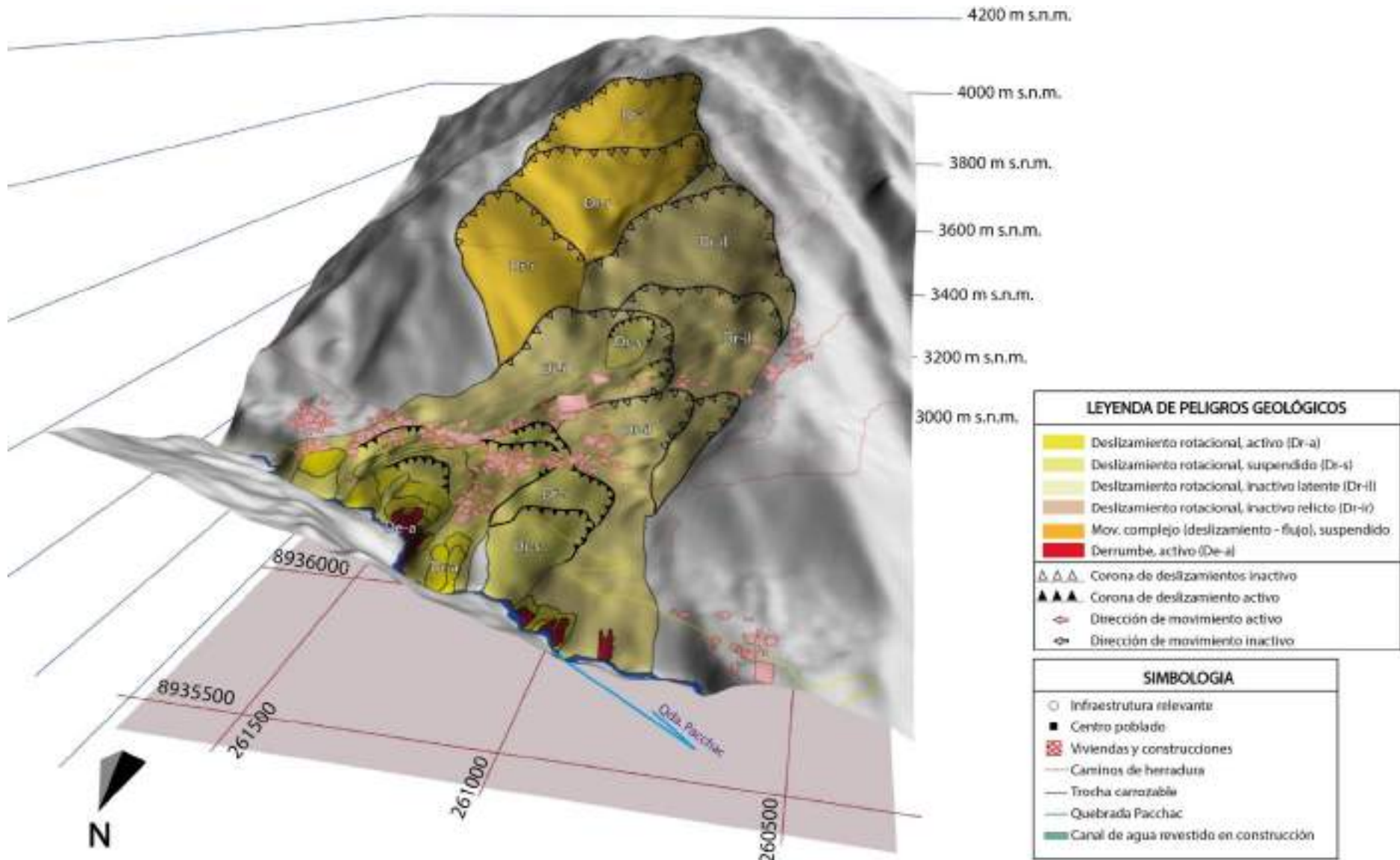


Figura 5.2. Cartografía de peligros geológicos.

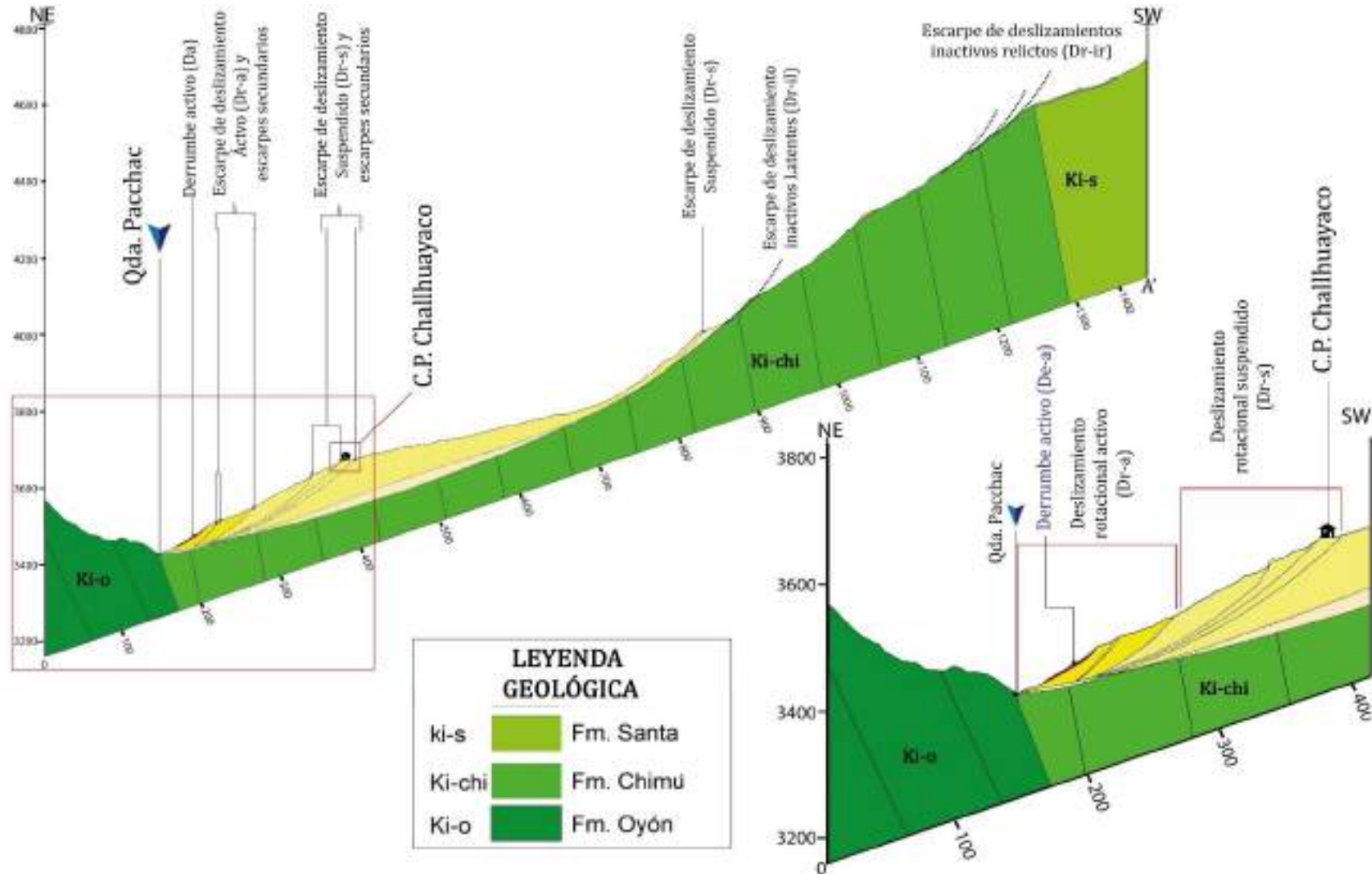


Figura 5.3. Perfil AA' en dirección suroeste – noreste, muestra el emplazamiento de deslizamientos antiguos y como estos han modelado el relieve de la ladera, en la parte baja se hallan deslizamientos suspendidos y en la parte baja se emplazan deslizamientos.

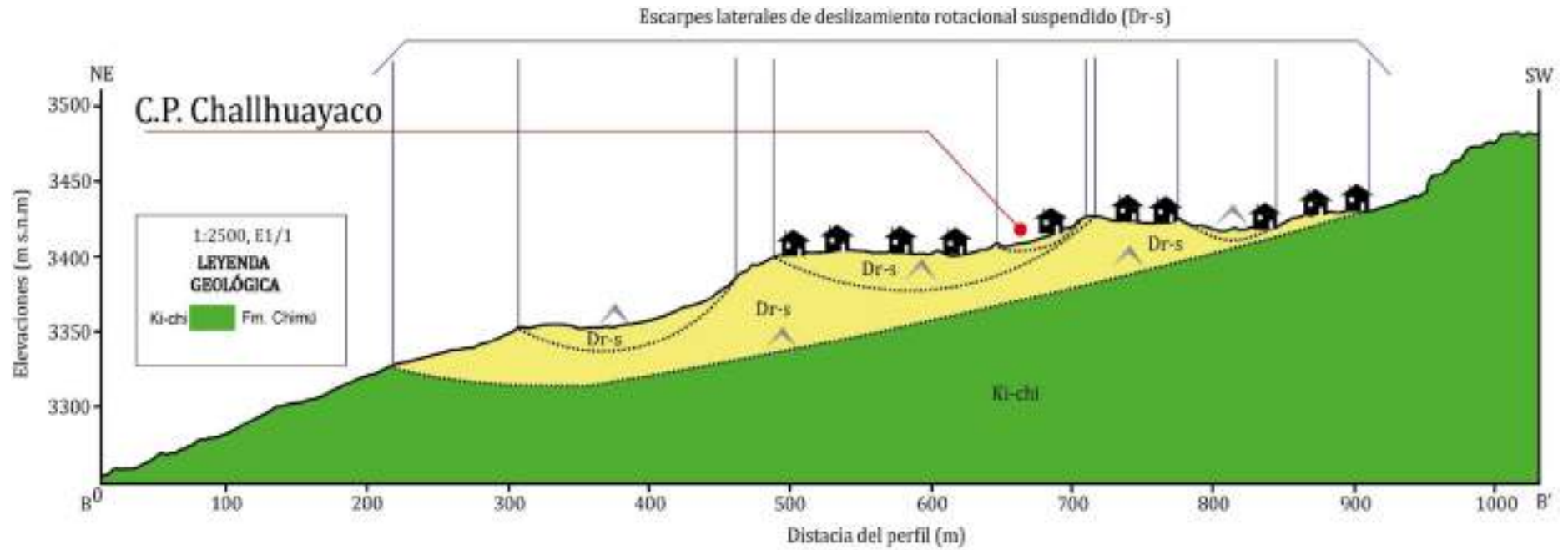


Figura 5.4. Perfil BB' de dirección sureste – noroeste, muestra el emplazamiento de deslizamientos suspendidos, sobre los que se asienta el centro poblado Challhuayaco.

Dentro de los procesos de movimientos en masa que se pudo identificar en la zona de estudio se tiene:

5.1.1. Deslizamientos

Los deslizamientos cartografiados en el área son numerosos desde deslizamientos inactivos como aquellos que se muestran geomorfológicamente en la parte alta de la ladera norte de Challhuayaco, latentes que vienen a ser deslizamientos ubicados en la parte media de la ladera, suspendidos, aquellos ubicados en la parte media-baja de la ladera y activos ubicados en la parte baja de la ladera.

- **Deslizamientos rotacionales inactivo relictos (Dr-ir).**

Los movimientos en masa de Challhuayaco son esencialmente deslizamientos de carácter rotacional, históricamente se puede apreciar la ocurrencia secuencial de por lo menos tres grandes eventos en el pasado con coronas en la parte alta del cerro Challhuayaco; estos habrían dado la forma actual de la ladera (cóncava), generando un depósito acumulado en la parte media – baja de la ladera, con posibilidad de represamiento de la quebrada Pacchac, que fluye de noroeste a sureste.

Estos deslizamientos fueron inferidos por sus huellas geomorfológicas en base al levantamiento fotogramétrico (DRONE Matrice 300pro RTK) y posterior modelo digital de elevaciones (20 cm/px). Actualmente, se puede considerar a estos deslizamientos como: “Relictos” por su tiempo de ocurrencia a la actualidad y cambios en sus factores condicionantes y desencadenantes, diferentes a la actualidad. Dentro de los deslizamientos identificados estos ocupan un área de 26.26 ha (31%), sus coronas se encuentran entre las alturas 4080 m s.n.m. y 3800 m s.n.m., con longitudes entre los 350 y 800 m, corresponden a movimientos masivos que configuraron la geomorfología actual de la ladera norte de Challhuayaco y crearon gran parte del material detrítico donde ahora se asienta el centro poblado.

- **Deslizamientos rotacionales inactivo latente (Dr-il).**

En la ladera norte de Challhuayaco, existen evidencias de reactivaciones de los eventos primigenios, considerados como “Inactivos latentes”, son masas de material detrítico y rocas deslizadas cuyo movimiento ha cesado, y cuyos depósitos han sido erosionados parcialmente depositándose como material detrítico coluvio-deluvial en la parte media, aquí se asienta parte de la población de Challhuayaco. Se identificaron 07 eventos de este tipo, en un área de 43.07 ha, con coronas entre los 3500 m s.n.m. y 3800 m s.n.m.

- **Deslizamientos rotacionales suspendido (Dr-s).**

Estos deslizamientos dominan la parte media y baja de la ladera, abarcan un área de 9.88 ha (12%), sus coronas se encuentran entre las cotas 3480 m s.n.m. y la base de la quebrada Pacchac. Son desplazamientos recientes en el tiempo, reactivados en temporadas de lluvias y susceptibles a sufrir nuevos movimientos, debido a la potencia del material detrítico existente, y sobre todo la saturación del suelo por la excedencia de aguas de manantiales y control bajo de la escorrentía superficial en la ladera. En estos cuerpos se han registrado agrietamientos transversales en el terreno y viviendas relacionados a posibles movimientos estacionales, que serán confirmados con los puntos de monitoreo.

El deslizamiento más representativo de este se registra en el perfil “A-A”, cuyo último movimiento se produjo el año 2024 (figura 5.5), este cuerpo presenta 02 escarpas secundarias inferiores a la ladera, consideradas también suspendidos. El principal daño se registró en la posta de salud de Challhuayaco (Figura 5.6.), ubicada a 150 m de la vía asfaltada principal y por lo menos 10 viviendas con paredes agrietadas.

La actividad temporal de este deslizamiento hace “no viable” la construcción de infraestructuras importantes en áreas colindantes sin implementar medidas correctivas en la ladera para su estabilización y sin su posterior control “monitoreo”, para verificar la funcionalidad de dichas medidas correctivas, este es el caso del terreno para la construcción de una nueva posta de salud (Tabla 5.1 y Figura 5.7).

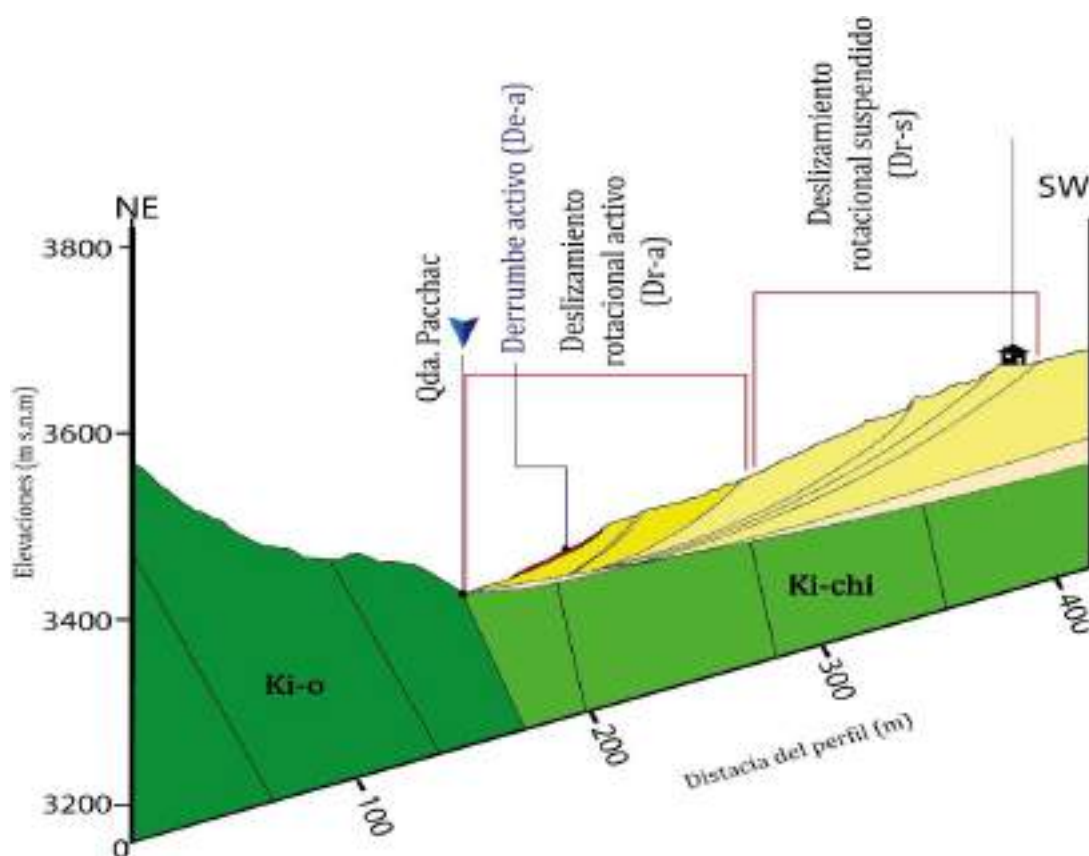


Figura 5.5. Perfil AA' (sección) parcial de la parte baja de la ladera.

Tabla 5.1. Coordenadas del terreno propuesto para la construcción de un nuevo puesto de salud.

Vértice	UTM - WGS84 - Zona 18S		Geográficas	
	Este	Norte	Latitud	Longitud
1	261416	8935605	-9.622159°	-77.173984°
2	261441	8935610	-9.622119°	-77.173758°
3	261448	8935587	-9.622324°	-77.173699°
4	261422	8935578	-9.622407°	-77.173933°



Figura 5.6. Daños en el puesto de salud de Challhuayaco.



Figura 5.7. Terreno propuesto para la reubicación del puesto de salud.

- **Deslizamientos rotacionales activos (Dr-a).**

Los deslizamientos que se ubican en la parte baja de la ladera norte de Challhuayaco se caracterizan por presentar escarpes con altura de hasta 5 m, con reactivaciones o la formación de escarpes secundarios más pequeños, de entre 2 y 3 m inferiores a la escarpa principal. La inestabilidad constante de estas laderas provoca movimientos continuos que, a su vez, reactivan deslizamientos suspendidos en la parte superior. Este proceso ocurre de manera secuencial, en cadena, donde el movimiento en la parte baja desencadena el desplazamiento en la parte superior, actuando como un mecanismo interconectado. Es decir, cuando se mueve la base de la ladera, induce el movimiento de los niveles superiores, generando una retroalimentación de la inestabilidad en toda la ladera (avance de forma retrogresivo).

Estos deslizamientos ocupan un área de 2.95 ha (3.5%) entre la altura de 3380 m s.n.m. y la base de la quebrada Pacchac. En los frentes de avance de estos deslizamientos se han identificado seis derrumbes, producto de la inestabilidad del pie de avance, además de un movimiento complejo (deslizamiento-flujo suspendido).



Figura 5.8. Grieta en la parte baja de la ladera en cuerpos de deslizamientos activos, con movimiento hacia el noreste. Coordenadas UTM WGS84: 261212, 8935745.



Figura 5.9. Grieta en viviendas en la parte baja de la ladera en cuerpos de deslizamientos suspendidos con movimiento hacia el Noreste. Coordenadas UTM 261342, 8935539.



Figura 5.10. Muros destruidos en viviendas ubicadas en cuerpos de deslizamientos suspendidos con movimiento hacia el noreste. Coordenadas UTM WGS84: 261302, 8935527.



Figura 5.11. Muros y barandas inclinadas en dirección de los movimientos de deslizamientos hacia el Noreste. Coordenadas UTM WGS84: 261200, 8935645.



Figura 5.12. Muros con agrietamientos en dirección de los movimientos de deslizamientos hacia el Noreste. Coordenadas UTM WGS84: 261003, 8935658.

6. INVESTIGACIONES GEOFISICAS

6.1. Métodos geofísicos

Estos métodos son considerados 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. Existen diferentes técnicas geofísicas para el estudio del subsuelo, en este estudio utilizaremos la técnica de tomografía eléctrica.

6.1.1. 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).

El arreglo Polo-Dipolo es muy utilizado para tener buena información del subsuelo, para este ensayo se utilizó el Resistivímetro GRX8-32 (GDD Instruments)

6.1.2. 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. Así mismo, se utilizó el Sismógrafo GEODE 24 canales.

6.2. Adquisición de datos

Para los estudios de prospección geofísica en el centro poblado Challhuayaco se realizó 01 línea de tomografía eléctrica, con dipolos de 17,5 m. En el cuadro 6.1 se muestra las coordenadas de inicio y fin de la línea de tomografía eléctrica (LTE) y refracción sísmica (LRS), en el sistema UTM 18S.

Cuadro 6.1. Coordenadas de inicio y fin de las secciones de refracción sísmica (LRS) y Análisis multicanal de ondas superficiales (MASW) de la zona de Challhuayaco.

LÍNEA TOMOGRAFIA ELECTRICA	ESTACION INICIO	ESTE (UTM 18S)	NORTE (UTM 18S)	ELEVACION msnm	ESTACION FINAL	ESTE (UTM 18S)	NORTE (UTM 18S)	ELEVACION msnm	LONGITUD (m)
LRS-01	-3	261414.26	8935603.8	3416.34	72	261487.95	8935596.69	3422.47	75
LRS-02	-3	261433.53	8935606.64	3413.06	72	261469.5	8935540.17	3431.37	75
Punto de MASW		ESTE (UTM 18S)	NORTE (UTM 18S)	ELEVACION msnm					
MASW-CH-01		261449.64	8935600.39	3418.15					
MASW-CH-02		261450.8	8935574.73	3421.54					

La línea LTE-CH-01 de Challhuayaco, tuvo una longitud de dipolo variable al igual que la longitud de la línea. El alcance en profundidad fue superior a los 100 m de profundidad. La ubicación de la línea de Tomografía Eléctrica se aprecia en la Figura 6.1. Para el caso de las secciones de refracción sísmica, las longitudes fueron de 75 m, con un alcance en profundidad de 30 m, al igual que el MASW.

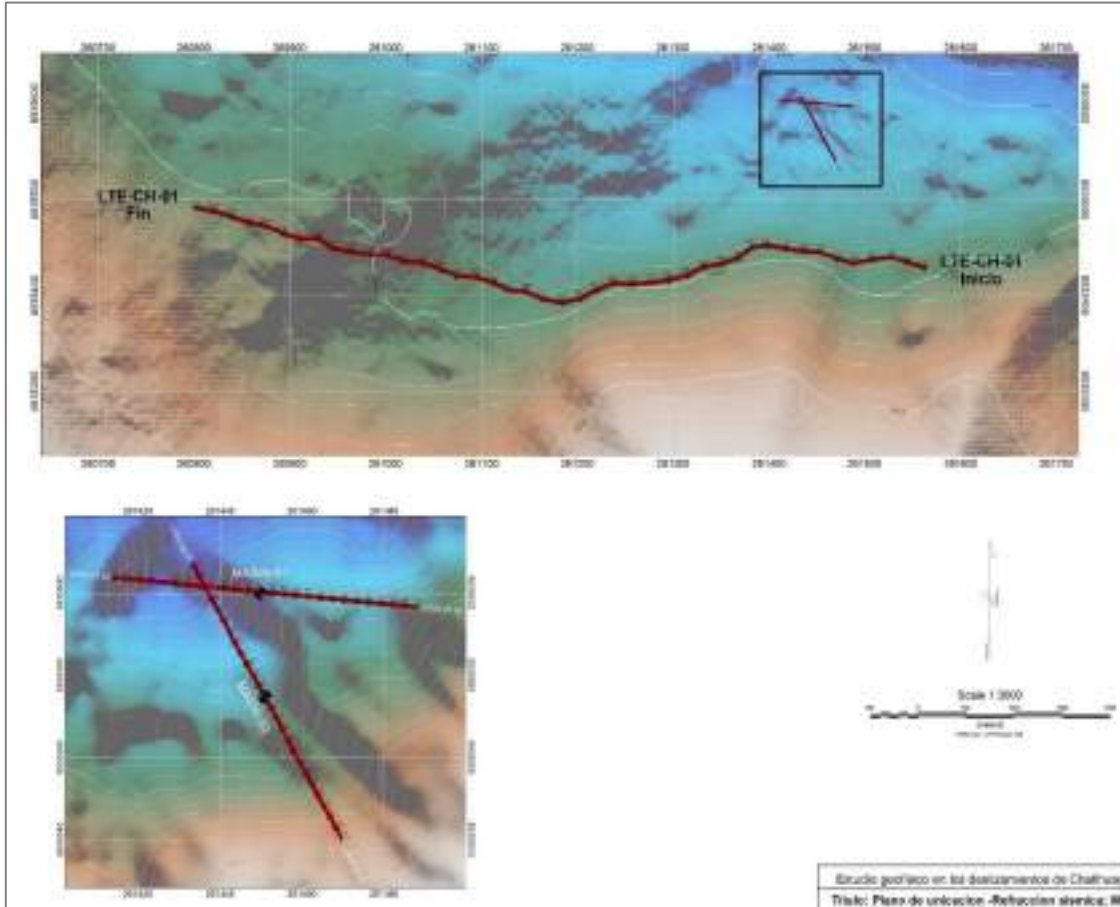


Figura 6.1. Plano de ubicación de líneas de Tomografía eléctrica, refracción sísmica y MASW en el centro poblado de Challhuayaco.

6.3. 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 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 pseudo resistivos, se obtienen secciones con resistividades (Ohm*m) reales, donde se puede hacer la interpretación correspondiente.

La información de refracción sísmica y MASW, fue invertida en el software, Seisimager, obteniendo secciones 2D con valores de velocidad de onda sísmica primaria V_p , y secciones 1d de la velocidad de onda de corte V_s .

6.4. Resultados e interpretación

6.4.1. Tomografía eléctrica

a. LTE-CH-01

Sección orientada de este a oeste ubicado sobre el centro poblado Challhuayaco, con una longitud aproximada de 760 m de longitud y profundidad máxima de investigación de 120 m. Muestra valores de resistividad eléctrica entre 1 y 3000 Ohm.m.

Los valores altos representado en tonos rojos (>1000 Ohm.m), estarían relacionados con materiales de tipo suelo/rocas impermeables. Los superficiales (primeros 20-30 m) podrían relacionarse con suelos secos, principalmente de la parte central hacia el final de la sección. Los valores ubicados en la parte superficial del inicio de la sección a la parte central y en profundidad (debajo de los 20 a 30 m de profundidad) representarían posibles materiales de tipo roca, ya sea como bloques de roca o el mismo basamento (Figura 6.2).

Los valores bajos de resistividad eléctrica en tonos azules y verdes (<100 Ohm.m) representan materiales de tipo suelo/rocas permeables con contenido de agua. Aquellos con disposición de tipo capa, podría representar una zona de flujo debido a la pendiente, se pueden ver de la mitad hacia la parte final de la sección. Por otro lado, se puede apreciar una disposición de estos valores que se conectan de manera vertical, los cuales podrían estar representados por estructuras permeables de tipo falla que llevan fluidos desde la superficie hasta los niveles más profundos, tal como se ve delimitado en líneas rojas discontinuas; se aprecian principalmente en la parte inicial y hasta la parte media de la sección. Aquellos valores en profundidad podrían estar relacionados con acuíferos profundos.

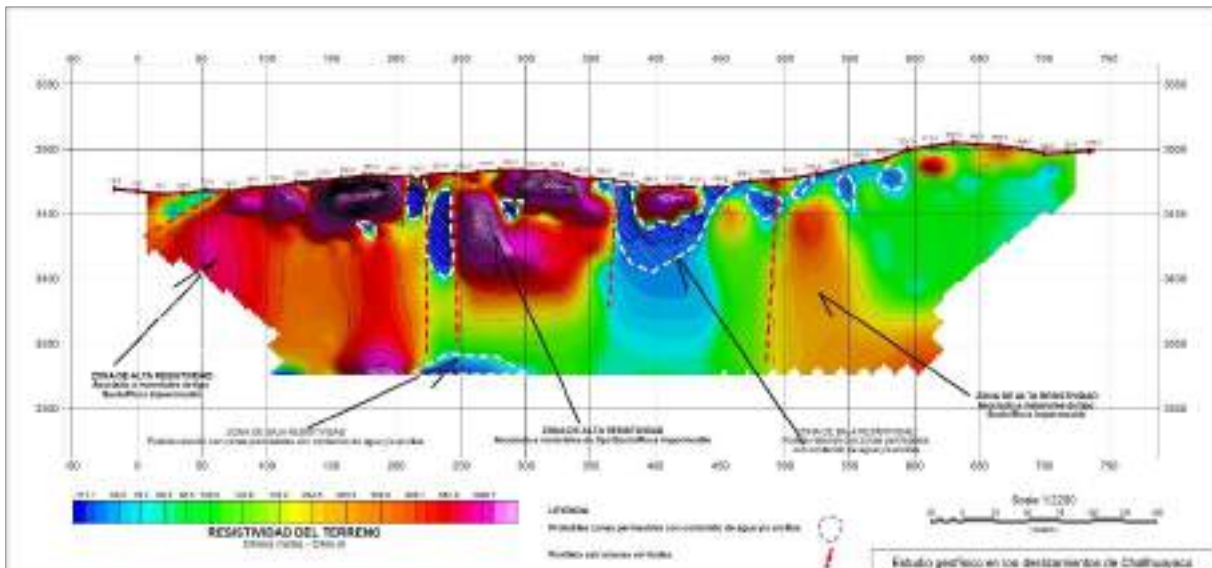


Figura 6.2. Sección de resistividad eléctrica LTE-CH-01.

6.4.2. Refracción sísmica y MASW

a. LRS-CH-01 – MASW-M-01

Sección orientada de oeste a este ubicado sobre el terreno destinado para la ubicación del centro de salud del poblado Challhuayaco, con una longitud de casi 75 m de longitud y

profundidad máxima de investigación de 30 m. Muestra valores de Vp distribuidos en tres capas:

- Capa 1 (Vp = 400 a 1200 m/s): Espesor de 2 a 7 m. Relacionado con materiales de tipo suelo firme a suelo denso.
- Capa 2 (Vp = 1200 a 1700 m/s): Espesor de 4 a 12 m. Relacionado con materiales de tipo suelo denso a suelo muy denso.
- Capa 3 (Vp = 1700 a 1900 m/s): Espesor indefinido. Relacionado con materiales de tipo suelo muy denso.

El MASW-M-01 se ubica en la parte media de la sección de refracción sísmica, el resultado obtenido muestra lo siguiente:

Vs30= 418.5 m/s, relacionado con una clasificación de suelo tipo C: Suelo muy denso y roca muy suave, según NEHRP. Tipo de suelo S2: Suelos intermedios, según la norma E.0.30.

Tres capas:

- Capa 1 (Vs = 249 a 289 m/s): Espesor de 3.7 m. Relacionado con materiales de tipo suelo firme.
- Capa 2 (Vs = 323 a 392 m/s): Espesor de 7.3 m. Relacionado con materiales de tipo suelo denso.
- Capa 3 (Vs = 433 a 593 m/s): Espesor indefinido. Relacionado con materiales de tipo suelo muy denso.

Cuadro 6.2. Parámetros dinámicos obtenidos a partir de la RS y MASW.

PARÁMETROS SÍSMICOS					PARAMETROS DINAMICOS							
CAPA	Vp	Vp prom	Vs	Vs prom	Razon de Poisson (v)	Razon de Poisson (v)	Densidad Estimada (d)	Densidad Estimada (d)	Módulo de Corte (G)	Módulo de Corte (G)	Módulo de Young (E)	Módulo de Young (E)
(m)	(m/s)	(m/s)	(m/s)	(m/s)	Capa	Promedio	kg/m3	Promedio	Tn/m2	Promedio	Tn/m2	Promedio
0.0	636.3	678.977	249.101	263.225	0.41	0.411	1491.5	1515.544	944.03	1078.089	2661.23	3042.008
1.1	677.3		251.423		0.42		1515.0		976.82		2774.32	
2.3	723.4		289.150		0.40		1540.1		1313.42		3690.48	
3.7	913.4	1329.325	323.302	360.516	0.43	0.456	1632.6	1786.811	1740.61	2393.822	4972.53	6982.823
5.3	1468.0		357.089		0.47		1838.2		2390.83		7022.11	
7.0	1468.0		369.228		0.47		1838.2		2556.14		7495.79	
8.9	1468.0		392.445		0.46		1838.2		2887.71		8440.86	
11.0	1723.7	1800.719	433.008	516.290	0.47	0.455	1913.5	1934.479	3659.50	5311.509	10732.01	15438.614
13.2	1770.8		464.551		0.46		1926.4		4240.57		12408.27	
15.6	1817.8		489.212		0.46		1939.1		4733.69		13831.47	
18.1	1818.4		511.294		0.46		1939.3		5171.05		15069.21	
20.9	1818.4		530.361		0.45		1939.3		5563.92		16174.44	
23.7	1818.9		543.827		0.45		1939.4		5850.48		16977.13	
26.8	1818.9		564.882		0.45		1939.4		6312.27		18263.01	
36.4	1818.9		593.182		0.44		1939.4		6960.59		20053.38	

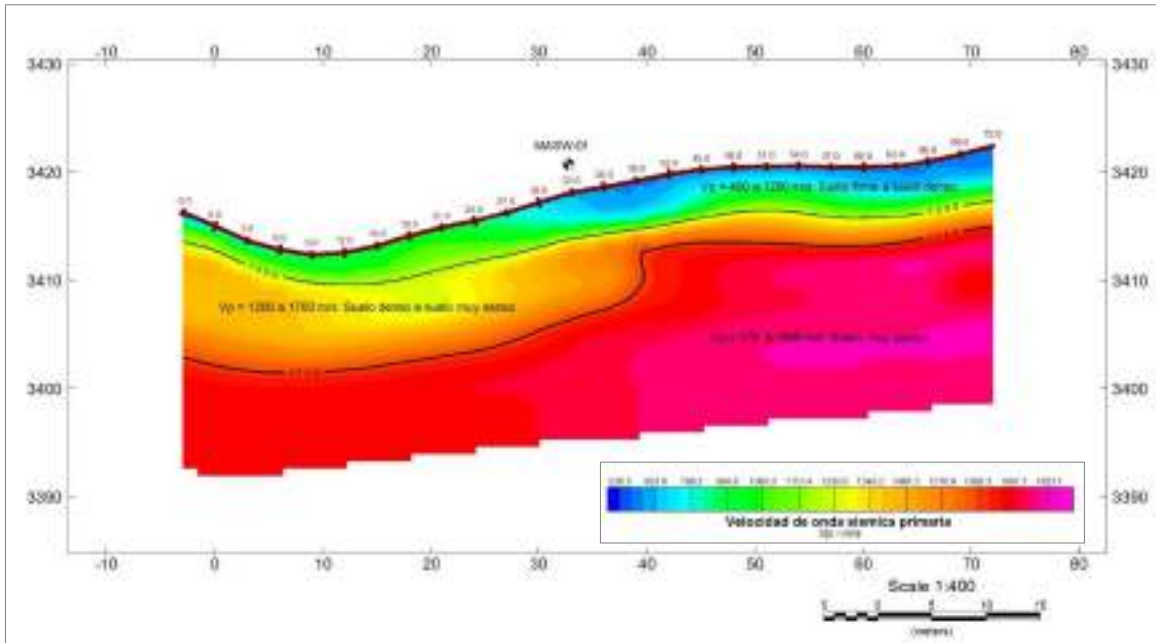


Figura 6.3. Sección de Velocidad de onda sísmica primaria V_p LRS-M-01, obtenido de la refracción sísmica.

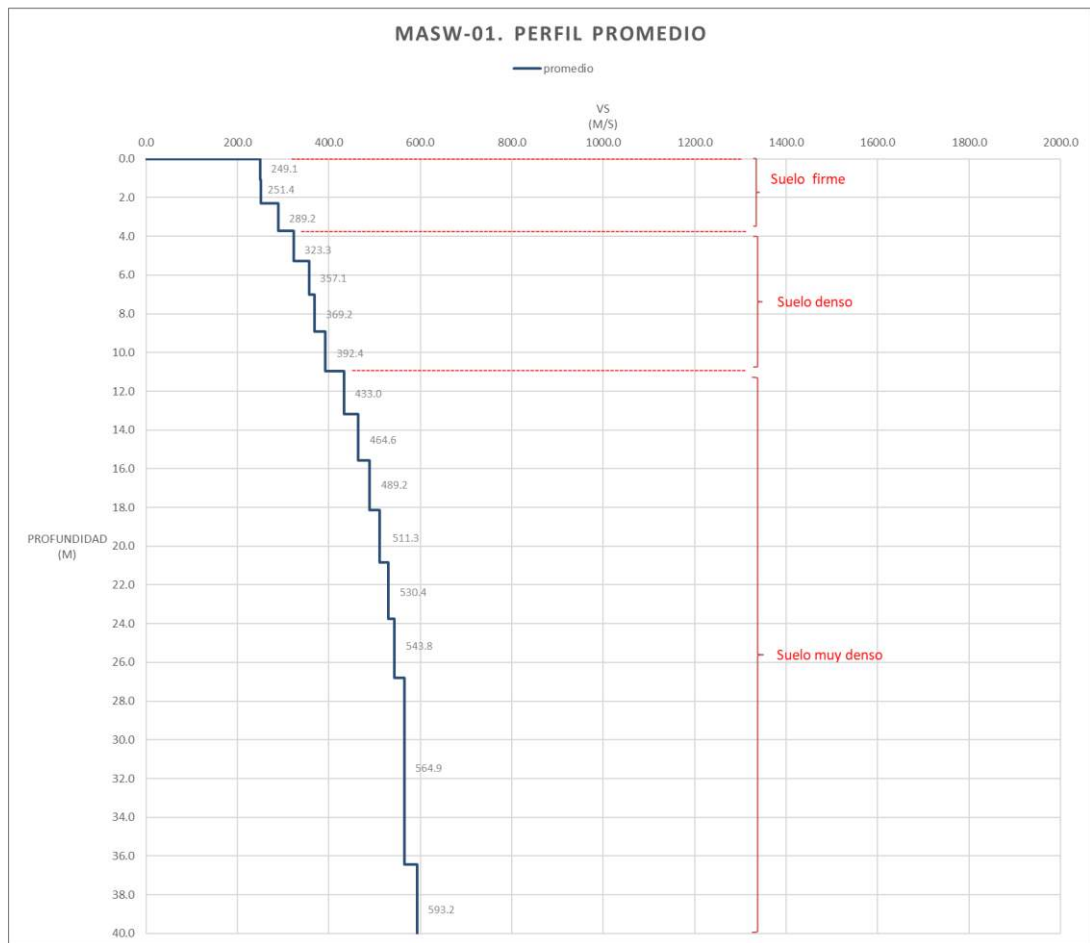


Figura 6.4. Sección de Velocidad de onda sísmica de corte V_s MASW-M-01, obtenido del MASW.

b. LRS-CH-02 – MASW-M-02

Sección orientada de noroeste a sureste ubicado sobre el terreno destinado para la ubicación del centro de salud del poblado Challhuayaco, con una longitud de casi 75 m de longitud y profundidad máxima de investigación de 30 m. Muestra valores de Vp distribuidos en tres capas:

- Capa 1 (Vp = 400 a 1200 m/s): Espesor de 2 a 7 m. Relacionado con materiales de tipo suelo firme a suelo denso.
- Capa 2 (Vp = 1200 a 1700 m/s): Espesor de 4 a 12 m. Relacionado con materiales de tipo suelo denso a suelo muy denso.
- Capa 3 (Vp = 1700 a 2600 m/s): Espesor indefinido. Relacionado con materiales de tipo suelo muy denso y que podría alcanzar nivel de roca de basamento.

El MASW-M-01 se ubica en la parte media de la sección de refracción sísmica, el resultado obtenido muestra lo siguiente:

Vs30= 414 m/s, relacionado con una clasificación de suelo tipo C: Suelo muy denso y roca muy suave, según NEHRP. Tipo de suelo S2: Suelos intermedios, según la norma E.0.30.

Tres capas:

- Capa 1 (Vs = 261 a 275 m/s): Espesor de 3.7 m. Relacionado con materiales de tipo suelo firme.
- Capa 2 (Vs = 327 a 381 m/s): Espesor de 7.3 m. Relacionado con materiales de tipo suelo denso.
- Capa 3 (Vs = 401 a 637 m/s): Espesor indefinido. Relacionado con materiales de tipo suelo muy denso.

Cuadro 6.3. Parámetros dinámicos obtenidos a partir de la RS y MASW.

PARÁMETROS SÍSMICOS					PARAMETROS DINAMICOS							
CAPA	Vp	Vp prom	Vs	Vs prom	Razon de Poisson (v)	Razon de Poisson (v)	Densidad Estimada (d)	Densidad Estimada (d)	Módulo de Corte (G)	Módulo de Corte (G)	Módulo de Young (E)	Módulo de Young (E)
(m)	(m/s)	(m/s)	(m/s)	(m/s)	Capa	Promedio	kg/m3	Promedio	Tn/m2	Promedio	Tn/m2	Promedio
0.0	506.7	541.478	261.652	266.381	0.32	0.339	1409.0	1432.105	983.92	1037.885	2594.07	2780.883
1.1	534.7		261.646		0.34		1428.0		997.17		2677.52	
2.3	583.0		275.843		0.36		1459.3		1132.57		3071.06	
3.7	806.4	1583.269	323.662	360.381	0.40	0.460	1582.6	1853.301	1690.99	2491.063	4748.29	7302.580
5.3	1604.3		359.726		0.47		1879.5		2480.76		7310.95	
7.0	1842.2		376.576		0.48		1945.6		2814.22		8319.93	
8.9	2080.1		381.562		0.48		2005.6		2978.28		8831.15	
11.0	2080.1	2329.407	401.211	476.915	0.48	0.478	2005.6	2061.328	3292.94	4891.623	9751.56	14456.528
13.2	2107.1		413.493		0.48		2012.1		3508.95		10386.30	
15.6	2134.2		450.247		0.48		2018.5		4173.76		12326.85	
18.1	2520.0		489.827		0.48		2104.1		5149.35		15245.85	
20.9	2520.0		534.028		0.48		2104.1		6120.60		18073.99	
23.7	2615.1		572.680		0.47		2123.7		7104.16		20954.61	
26.8	2615.1	2615.083	617.430	627.448	0.47	0.469	2123.7	2123.674	8257.79	8530.108	24285.85	25068.524
36.4	2615.1		637.466		0.47		2123.7		8802.43		25851.20	

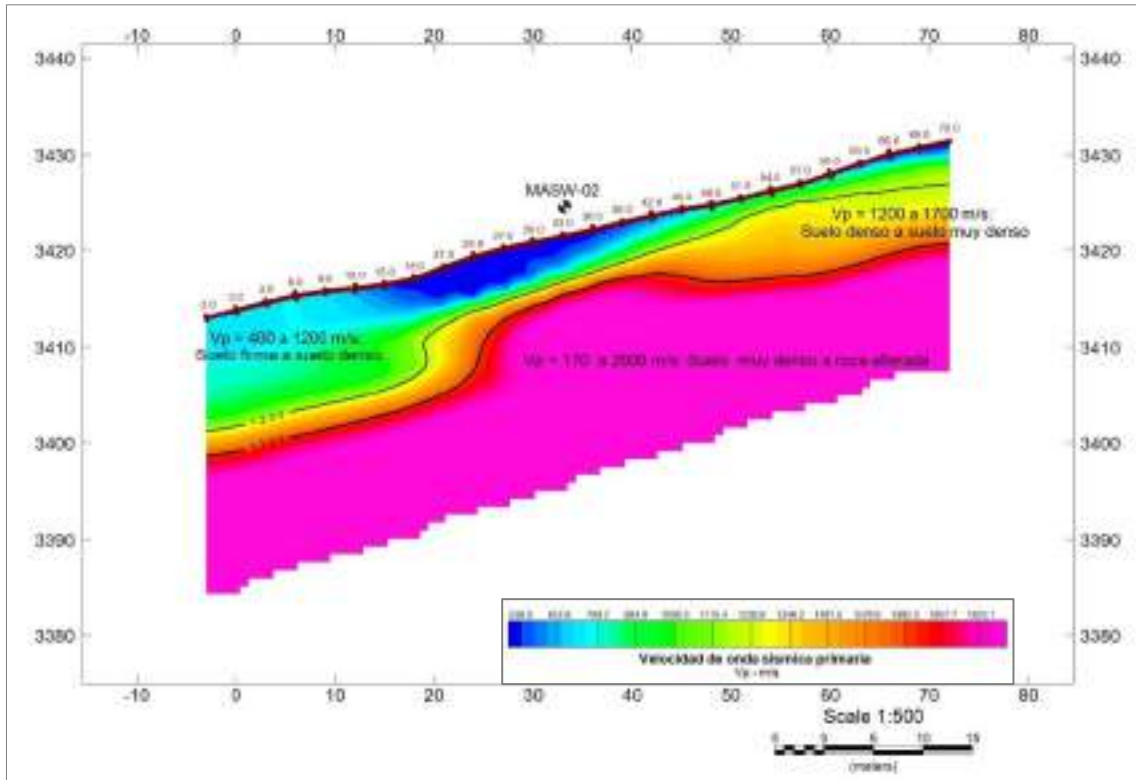


Figura 6.5. Sección de Velocidad de onda sísmica primaria V_p LRS-M-02, obtenido de la refracción sísmica.

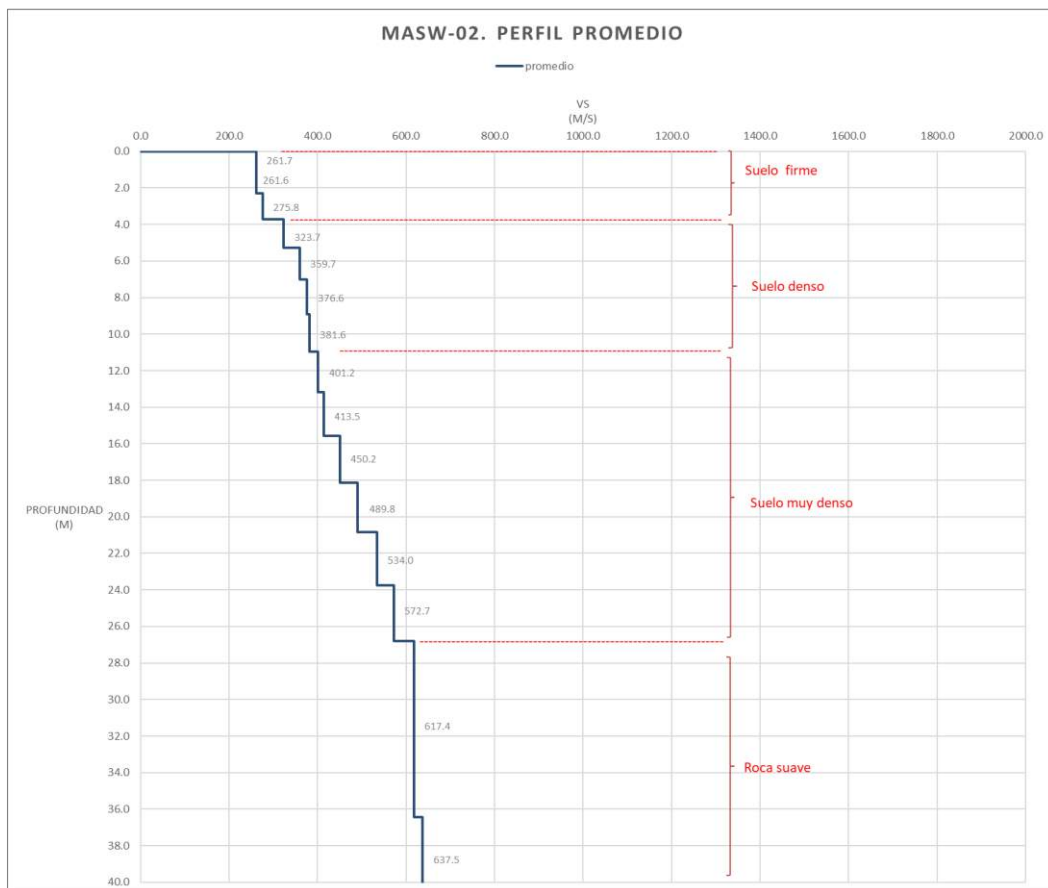


Figura 6.6. Sección de Velocidad de onda sísmica de corte V_s MASW-M-02, obtenido del MASW.

7. ASPECTOS HIDROGEOLÓGICOS

El estudio hidrogeológico se enfocó en la identificación y caracterización de las aguas subterráneas (manantiales) y superficiales, en este caso denominados como puntos de control. Este análisis proporcionó información sobre el nivel freático, las características del flujo y los parámetros fisicoquímicos. Además, se realizaron ensayos de infiltración y geofísica (tomografía eléctrica y refracción sísmica) para identificar las zonas saturadas y comprender el comportamiento del flujo subterráneo.

Durante el mapeo hidrogeológico, se localizaron puntos de agua subterránea, con caudales menores a 1 l/s. Existen canales revestidos que transportan agua desde las pozas de captación de los manantiales cercanos a la IE N°86383 hacia las áreas de riego ubicados en el cuerpo de deslizamiento.

7.1. Evidencias de fuentes de agua

Para la recopilación de datos hidrogeológicos, se realizó una campaña de inventario de fuentes en el centro poblado de Challhuayaco y en el caserío Cabracancha del 11 al 13 de junio de 2024. La información fue obtenida mediante el uso de un dispositivo multiparámetro portátil de la marca HANNA HI 9828, que permitió medir diversos parámetros fisicoquímicos, conductividad eléctrica, sólidos disueltos totales, temperatura, potencial de hidrógeno y potencial de reducción de oxidación.

Durante la campaña, se identificaron un total de quince (15) fuentes de agua subterránea y superficial, que comprende manantiales, manantiales captados y puntos de control. A continuación, se presenta un cuadro detallado de estas fuentes (Cuadros 7.1, 7.2 y Figura 7.1):

Cuadro 7.1. Resumen de tipos de fuentes de agua.

Tipo de fuente	Total
Manantial	12
Punto de control	3
Total	15

Cuadro 7.2. Resumen del inventario de fuentes en el centro poblado Challhuayaco y caserío Cabracancha.

N°	Código	UTM (WGS 84)		Altitud (msn m)	Tipo de fuente	Fecha	Parámetros hidráulicos y fisicoquímicos				
		Este	Norte				Q (L/s)	T°	pH	CE (µS/cm)	TDS (ppm)
1	498996-031	260699	8935103	3664	Manantial Captado	12/06/2024	0.08	16.4	8.4	324	163
2	498996-032	260723	8935139	3652	Manantial	12/06/2024	--	19.6	7.1	316	159
3	498996-033	260876	8935184	3601	Manantial Captado	12/06/2024	--	17.3	7.7	288	144
4	498996-034	261055	8935192	3600	Punto de control	12/06/2024	0.40	12.1	7.3	72	36
5	498996-035	261086	8935433	3480	Manantial Captado	12/06/2024	--	15.8	6.7	347	174
6	498996-036	261018	8935665	3435	Manantial Captado	13/06/2024	0.40	16.0	7.7	691	345
7	498996-037	261056	8935452	3474	Manantial Captado	13/06/2024	0.32	15.5	6.7	418	209
8	498996-038	260753	8935598	3469	Manantial Captado	14/06/2024	0.06	14.8	8.0	371	186
9	498996-039	260720	8935591	3484	Manantial	14/06/2024	0.05	14.6	7.2	388	194
10	498996-040	261243	8935664	3388	Manantial	14/06/2024	0.05	14.9	7.8	655	327
11	498996-041	261022	8935789	3381	Manantial	14/06/2024	--	13.3	7.9	515	258
12	498996-042	260933	8935814	3364	Punto de control	14/06/2024	--	15.0	7.8	529	264
13	498996-043	261332	8935581	3405	Manantial Captado	14/06/2024	0.51	15.1	7.2	445	222
14	498996-044	261326	8935620	3400	Manantial	14/06/2024	0.08	13.9	8.2	650	325
15	498996-045	261225	8935734	3390	Punto de control	14/06/2024	0.10	14.7	8.5	589	295

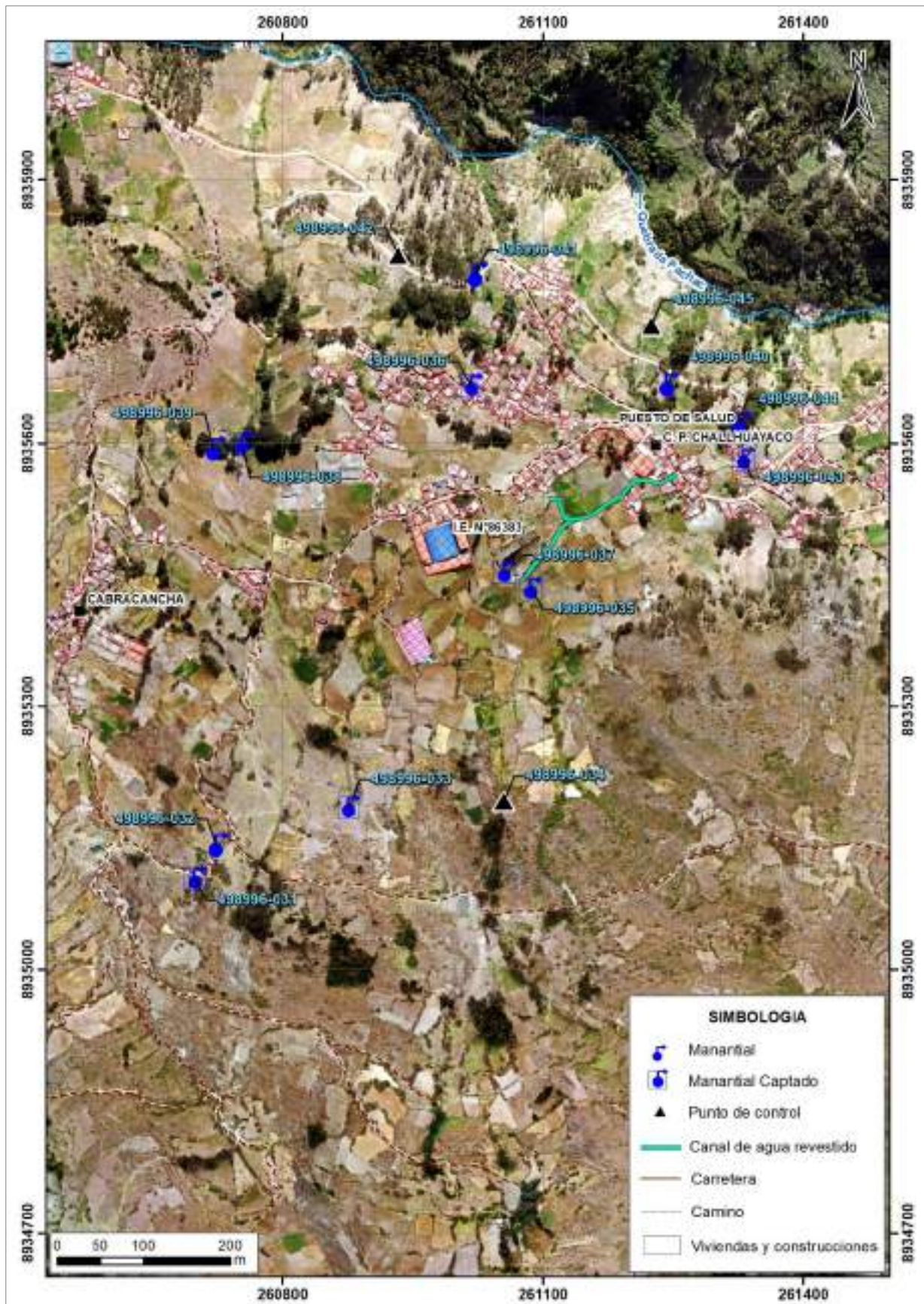


Figura 7.1. Mapa de inventario de fuentes de agua.

7.1.1. Manantiales

Los manantiales emergen en la parte alta del caserío Cabracancha y en el poblado de Challhuayaco, ambos asentados sobre depósitos coluvio-deluviales. Además, se observan manantiales con bajo caudal y zonas húmedas a lo largo de la carretera que conduce a Challhuayaco y cerca de la quebrada Pacchac.

El manantial captado 498996-031 (Figura 7.2), que aflora en rocas de la Formación Chimú, se utiliza para fines agrícolas. Este tiene un caudal de 0.08 l/s, un pH alcalino de 8.38 y una C.E. de 324 $\mu\text{S}/\text{cm}$.



Figura 7.2. A, B) Captación de agua con estructura de concreto, correspondiente al manantial con código 498996-001.

En las proximidades de la I.E. N° 86383 se encuentran los manantiales 498996-035 y 498996-037, que surgen de depósitos coluvio-deluviales y están siendo captados, ambos presentan pH de 6.6, C.E. de 347 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y 418 $\mu\text{S}/\text{cm}$ respectivamente (Figura 7.3).



Figura 7.3. A y B) Manantial de código 498996-037, es captado para uso agrícola.

En la parte baja del caserío Cabracancha aflora el manantial 498996-038, se encuentra captado y cuenta con una estructura de concreto, así como un canal que deriva el agua hacia otra poza de gran extensión. Presenta gran cantidad de agua almacenada para fines agrícolas y mantiene un flujo constante durante todo el año. Además, sus valores de pH son de 7.9 y la conductividad eléctrica (C.E.) es de 371 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Figura 7.4).



Figura 7.4. Manantial con código 498996-038 presenta agua almacenada.

7.1.2. Puntos de control

Se recopiló información de tres puntos de control, uno de ellos con código de inventario 498996-004 proviene del reservorio de agua ubicado en la parte alta y sus aguas discurren a través de una quebrada de reducido caudal (0.4 l/s) que se extiende hasta la IE N°86383. Así también, el punto de control con código 498996-045, proveniente de la parte media de la ladera, discurre ladera abajo formando erosión en surcos cercanos a las zonas de deslizamientos y derrumbes activos, lo que podría contribuir en la inestabilidad de la ladera (Figura 7.5).



Figura 7.5. Fuente de agua de código 498996-045 utilizado para riego, con un caudal bajo.

7.2. Parámetros hidráulicos

7.2.1. Ensayos de infiltración

Se realizaron seis ensayos de infiltración en los depósitos coluvio - deluviales para evaluar la tasa de infiltración de los depósitos y rocas circundantes en el caserío Cabracancho y el centro poblado Challhuayaco (Figura 7.6).

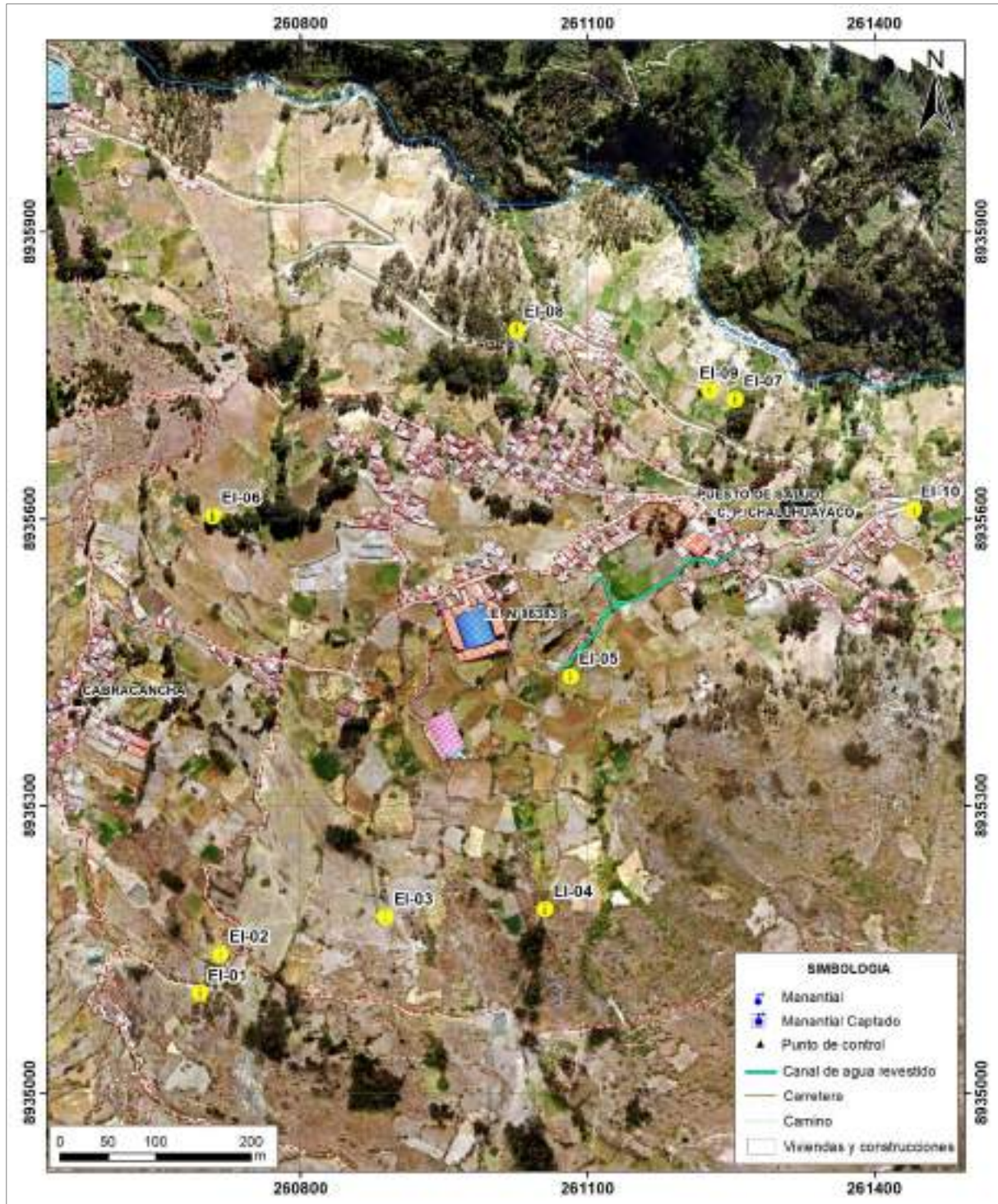


Figura 7.6. Distribución de los ensayos de infiltración.

El análisis incluyó la comparación de las tasas de descenso, las cuales se representan mediante gráficos de dispersión, que se ilustra en el gráfico 7.1.

El flujo del agua subterránea ocurre a través de los espacios en medios porosos conocido como permeabilidad primaria, este tipo de flujo es característico se suelos compuesto de bloques, cantos, grava arcillosa, arena y limos.

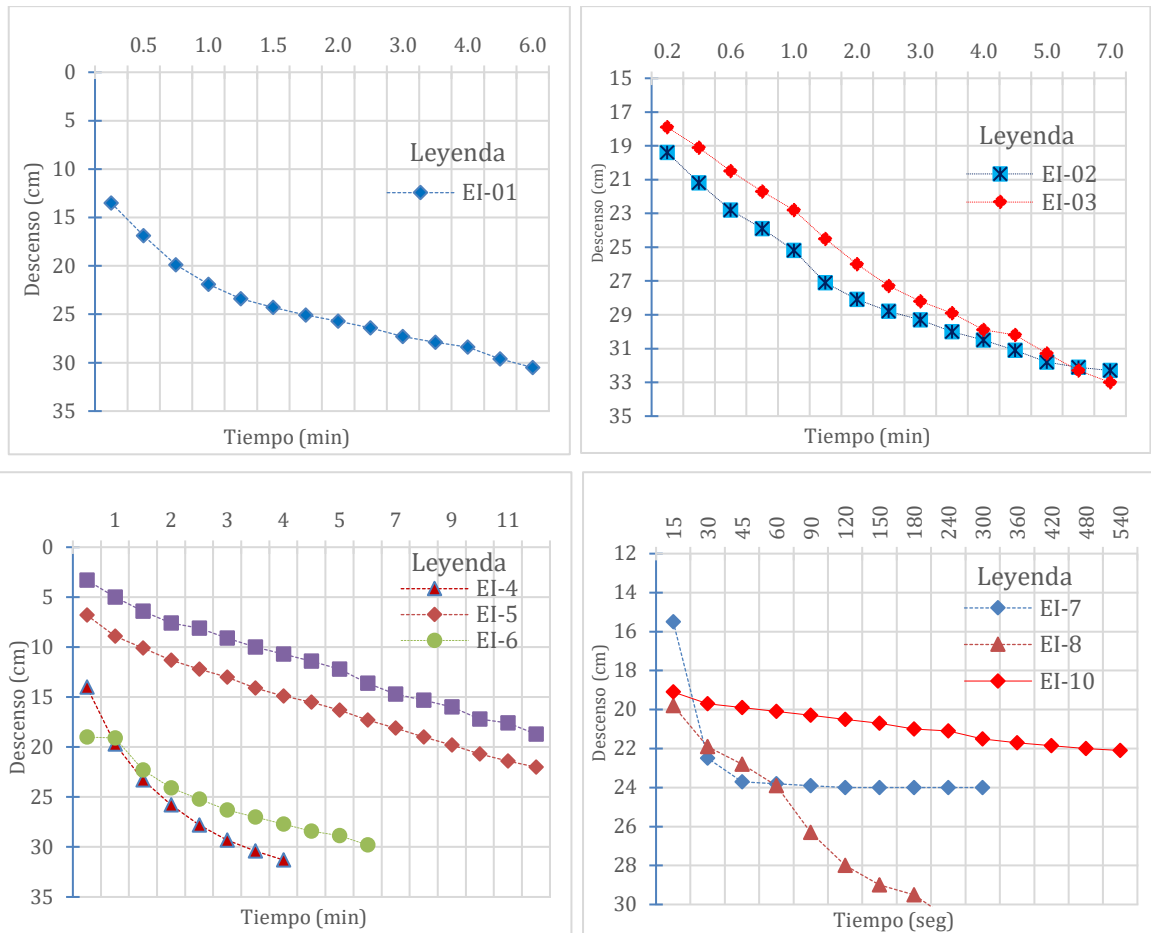


Gráfico 7.1. Análisis de descenso con respecto al tiempo de ensayos de infiltración.

7.2.2. Conductividad Hidráulica

Se utilizó el software Aqtsolv para calcular la conductividad hidráulica en 10 ensayos de infiltración (Figura 7.7). Estos cálculos proporcionan información sobre las propiedades hidráulicas de los depósitos coluviales y coluvio-deluviales.

Los depósitos coluvio-deluviales, compuesto por grava, con matriz de limos, se encuentran en el rango de $1.00E-02$ m/d a $2.00E-01$ m/d. (0.01 a 0.2 m/d); mientras que, los suelos areno limosos con gravas presentan permeabilidades de $1.50E-01$ a $2.10E-01$ m/d (0.15 a 0.21 m/d), en función de su granulometría, tamaño y distribución de las partículas del suelo y grado de transporte, y pueden variar dependiendo del tipo de litología, corresponden a suelos de “baja a moderada” permeabilidad.

La tasa de infiltración en las areniscas intercaladas con lutitas y limolitas de la Formación Chimú varía entre $1.50E-01$ a $1.60E-01$ m/d (0.15 a 0.16 m/d), clasificándolas como algo permeable (Tabla 7.1).

Tabla 7.1. Clasificación hidrogeológica según los valores de conductividad hidráulica (K).

Valores (m/día)	Permeabilidad									
	10 ⁻⁶ 10 ⁴	10 ⁻⁵	10 ⁻⁴	10 ⁻³	10 ⁻²	10 ⁻¹	1	10	10 ²	10 ³
Calificación	Impermeable		Poco permeable		Algo permeable		Permeable		Muy permeable	
Clasificación hidrogeológica	Acuicludo		Acuitardo		Acuífero pobre		Acuífero medio a bueno		Acuífero	
Tipos de material	Arcilla compacta Granito		Limoarenoso Limo Arcilla limosa		Arena fina Arena limosa Caliza fracturada		Arena limpia Grava Arena fina		Grava limpia	

Fuente: Benítez, 1963.

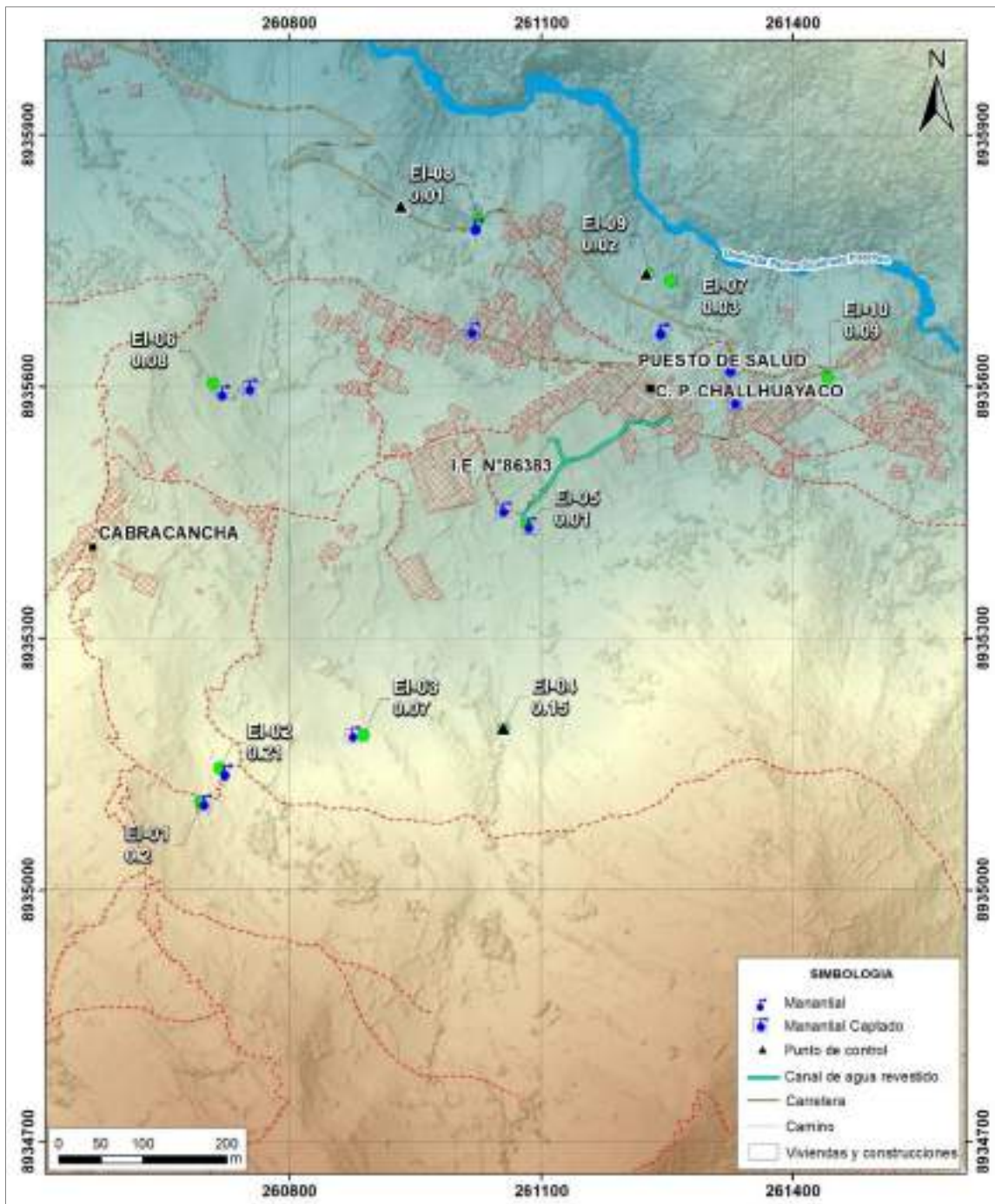


Figura 7.7. Mapa de distribución de la conductividad hidráulica de los ensayos de infiltración.

7.3. Caracterización Hidrogeológica

En esta sección, se analiza la hidrogeología desde una perspectiva litológica. Es fundamental identificar las principales unidades litológicas presentes en la zona de estudio (Figura 7.8).

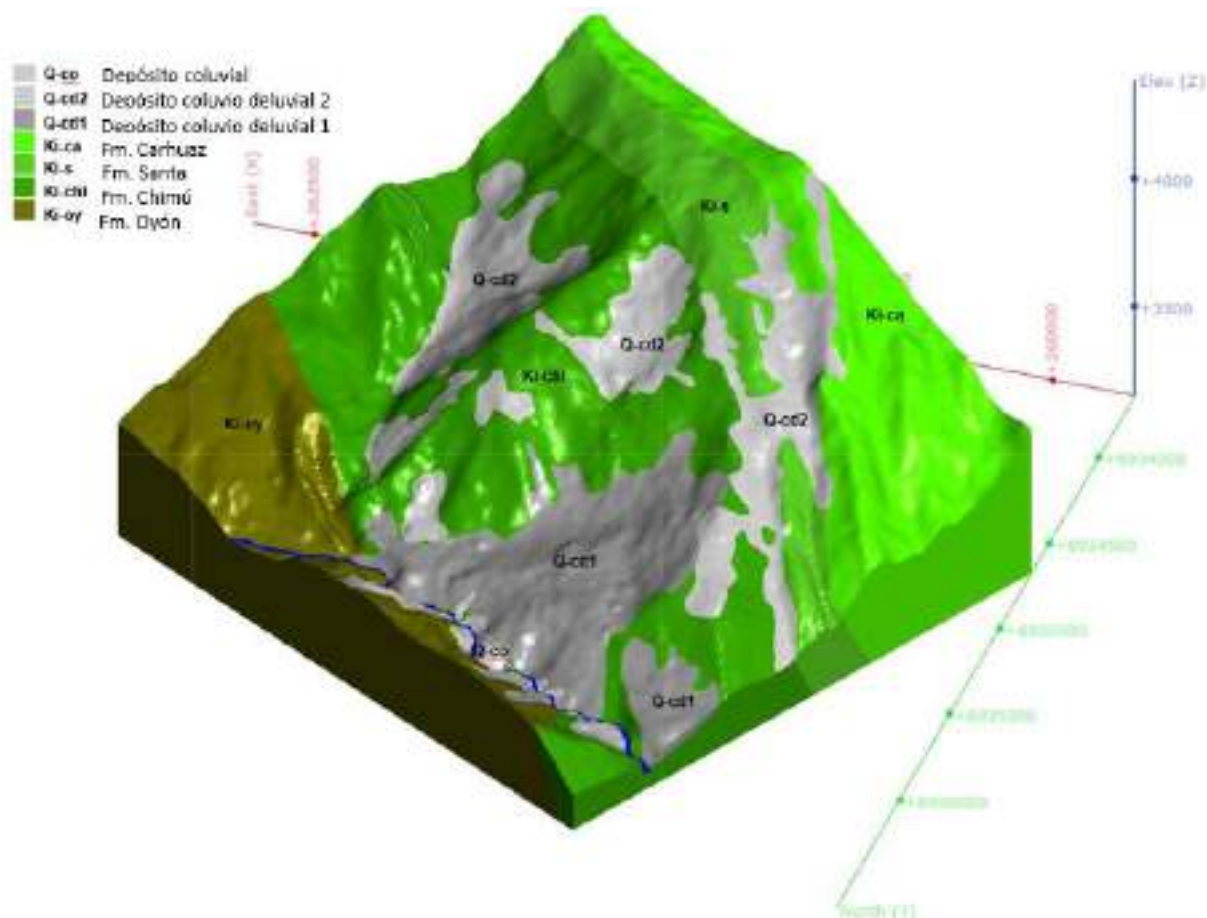


Figura 7.8. Unidades litológicas que afloran en el área de estudio.

7.3.1. Unidades hidrogeológicas

Las unidades hidrogeológicas, basadas en sus características hidráulicas e hidrodinámicas, están asociadas con las unidades geológicas y/o litológicas, los depósitos coluvio-deluviales que incluyen cantos, gravas, arenas y limos interactúan directamente con los acuíferos, estos depósitos, formados por la acumulación de sedimentos, facilitan la infiltración del agua de lluvia y, por lo tanto, contribuyen a la recarga del acuífero poroso no consolidado (Cuadro 7.3); además, los manantiales con código de inventario 498996-005, 498996-007, 498996-008 y 498996-009 que emergen cerca del caserío Cabracancho y de la IE N° 86383 (498996-005 y 498996-007) tienen un flujo subterráneo desde la parte alta en dirección a la quebrada Pacchac, por lo que, estas zonas tienen formaciones más permeables (Figura 7.9).

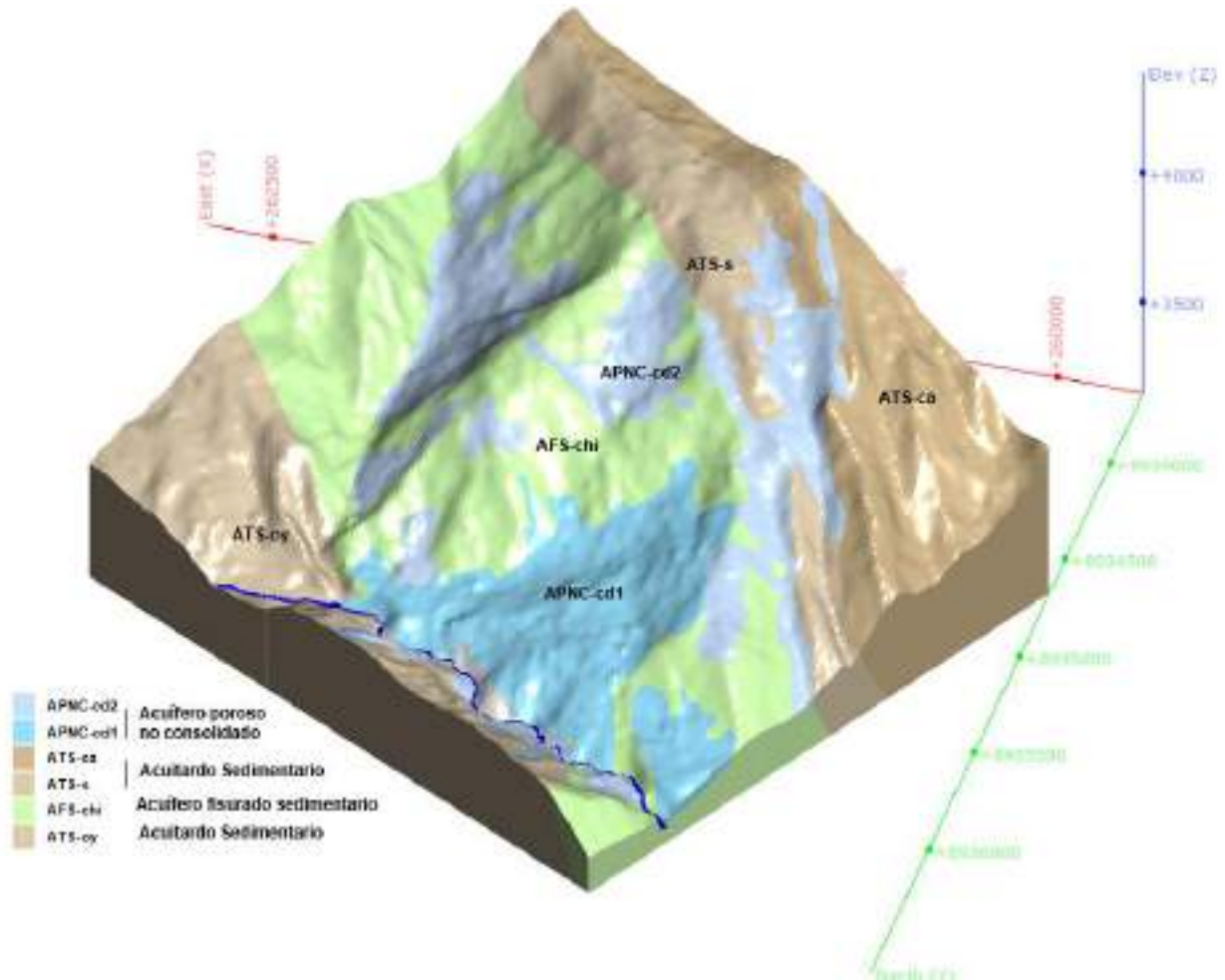


Figura 7.9. Unidades hidrogeológicas que afloran en el área de estudio.

La caracterización hidrogeológica está en base a las propiedades de almacenamiento y transmisibilidad de los flujos subterráneos dentro de una Formación geológica, así por ejemplo tenemos en la siguiente figura 10 un acuífero poroso no consolidado conformado por cantos, gravas, arenas y limo, y un acuífero fisurado sedimentario que está conformado por areniscas intercaladas con niveles de limolitas y lutitas de la Formación Chimú.

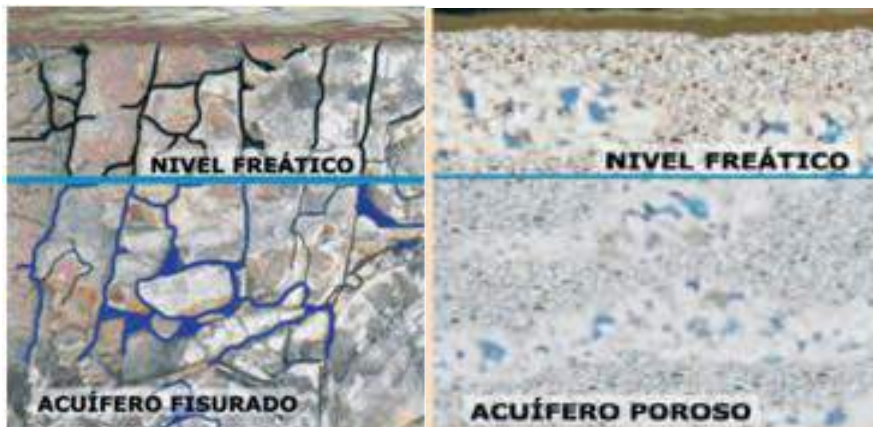


Figura 7.10. A) Medio poroso no consolidado (coluvio-deluviales) B) Medio fisurado, fracturado (areniscas).

Cuadro 7.3. Caracterización hidrogeológica según las formaciones geológicas.

Formación geológica	Litología	Unidad hidrogeológica	Código
Depósitos cuaternarios	Material coluvial: Bloques, cantos, gravas, arenas y limos.	Acuífero poroso no consolidado	APNC
	Material coluvio-deluvial 1: Grava con arena y arcilla		
	Material coluvio-deluvial 2: Arena arcillo-limosa con grava		
Formación Carhuaz	Limoarcillitas, capas de areniscas cuarcíferas. Limoarcillitas y limolitas	Acuitardo sedimentario	ATS
Formación Santa	Calizas de color azul grisáceo. Lutitas de coloración gris y de fina laminación horizontal		
Formación Chimú	Areniscas blancas macizas intercalado con niveles de limolitas y lutitas	Acuífero fisurado sedimentario chimú	AFS
Formación Oyón	Areniscas y lutitas intercalados con mantos de carbón. Lutitas gris oscuras en estratos delgados.	Acuitardo sedimentario	ATS

a. Acuíferos

En el área de estudio se identificaron dos tipos de acuíferos, el primero denominado acuífero poroso no consolidado y el segundo acuífero fisurado sedimentario.

Acuífero poroso no consolidado: Este tipo de acuífero está representado por unidades de depósitos cuaternarios, tales como los depósitos coluviales y coluvio-deluviales estos se encuentran emplazados en el cuerpo del deslizamiento suspendido e inactivo latente. Están compuestos por una mezcla de materiales no consolidados, como gravas en matriz limosa, cantos y arenas. La estructura porosa y permeable de estos acuíferos permite el flujo y almacenamiento de agua subterránea de manera eficiente.

Acuífero fisurado sedimentario: Este acuífero se caracteriza por la presencia de fracturas o fisuras de la Formación Chimú, que circunda el poblado de Challhuayaco por el lado SE-SW. Estos acuíferos permiten el almacenamiento y el flujo de agua subterránea, a diferencia de los acuíferos porosos no consolidados, la permeabilidad de esta unidad está determinada en gran medida por la extensión, apertura y conectividad de las fisuras dentro de la roca.

b. Acuitardos

En la zona de estudio, los acuitardos sedimentarios están representados por las formaciones Carhuaz, Santa y Oyón, están conformadas de limoarcillitas, lutitas y niveles de limolitas estos materiales presentan una baja permeabilidad, lo que significa que actúan como barreras significativas para el flujo de agua subterránea. La baja permeabilidad impide un movimiento eficiente del agua a través de estos acuitardos, desempeñando el papel de capas de retención que limitan la transmisión vertical de agua entre los acuíferos.

7.4. Mapa hidrogeológico

En el mapa hidrogeológico, se evidencia que el caserío Cabracancha y el centro poblado Challhuayaco se localizan sobre una unidad hidrogeológica definida como acuífero poroso no consolidado. Respecto a las direcciones de flujo, el agua subterránea se desplaza desde las zonas de recarga ubicados en la parte alta del sector de Cabracancha (cerro Pituco), que se sitúan en áreas elevadas y con mayor capacidad de infiltración, hacia las zonas de descarga, localizadas en terrenos más bajos, a lo largo de quebradas y cursos de agua cerca de la quebrada Pacchac. La topografía del terreno, junto con las características de los depósitos coluvio-deluviales, influye en esta dinámica, estableciendo trayectorias de flujo preferenciales que se alinean con las pendientes del terreno y las formaciones geológicas (Figura 7.11).

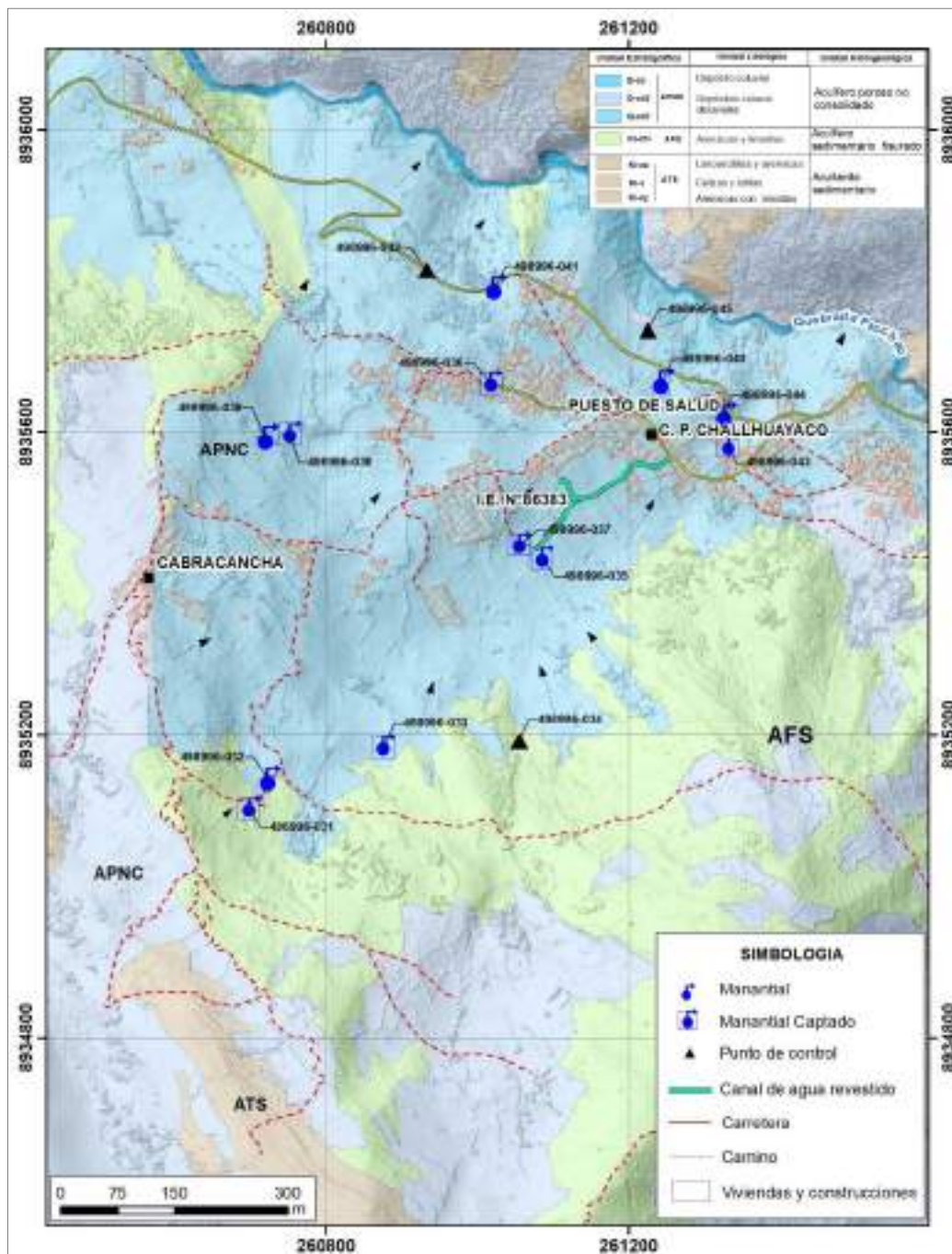


Figura 7.11. Mapa hidrogeológico del área de estudio.

Durante los períodos de alta precipitación, la saturación de los depósitos puede incrementar el volumen de agua subterránea, aumentando así la probabilidad de reactivación de los movimientos en masa, especialmente en áreas donde los flujos subterráneos muestran surgencias con caudales considerables sobre todo en época de lluvia.

En la parte baja, muy cerca de la quebrada Pacchac, se encuentran depósitos coluviales, denominados acuíferos porosos no consolidados, compuestos por bloques, gravas, arenas y limos, esta unidad es susceptible a movimientos en masa.

En las proximidades de la institución educativa N°86383, se observan varios manantiales con caudales permanentes, lo que sugiere la existencia de un nivel freático que satura esa área.

7.5. Modelo hidrogeológico conceptual

Para el desarrollo del modelo hidrogeológico conceptual del área de estudio, se ha utilizado la cartografía del mapa hidrogeológico como base y para obtener el modelo se utilizó el software Leapfrog Geo 5.1. La figura 7.12 y 7.13 ilustra el modelo hidrogeológico, facilitando el análisis de la dinámica del agua subterránea y superficial en relación con los fenómenos de deslizamientos presentes en el área de estudio. En este sentido para evaluar la interacción entre los componentes hidrogeológicos y los procesos geomorfológicos, permitiendo una mejor comprensión de los riesgos asociados con los movimientos en masa y la gestión efectiva de los recursos hídricos.

Los depósitos coluvio-deluviales, caracterizados por su composición de material poroso no consolidado, actúan como acuíferos y se recargan principalmente a través de la infiltración de agua durante los períodos de precipitación en los meses de enero, febrero y marzo. La sobresaturación de estos depósitos puede dar lugar a generar desplazamientos y formación de grietas en el terreno, contribuyendo a la inestabilidad y a la potencial generación de movimientos en masa. De acuerdo con el inventario realizado y al mapeo hidrogeológico se puede mencionar que las áreas más propensas a derrumbes y deslizamientos son las que se ubican en la margen de la quebrada Pacchac.

El nivel freático muestra surgencias en diferentes zonas del área de estudio, se manifiesta de forma superficial en las proximidades de la IE N°86383, este nivel puede experimentar fluctuaciones significativas debido a variaciones estacionales en la recarga hídrica y a su interacción con los depósitos coluvio-deluviales; mientras que, a lo largo de la carretera se observaron los manantiales 498996-040 y 498996-041 los cuales afloran en zonas inestables, lo que nos evidencian un nivel freático superficial.

El modelo considera la influencia de la topografía local y la estructura geológica subyacente en la dinámica del flujo de agua subterránea. Se identificó zonas de recarga y descarga, y se analizó la dirección preferencial del flujo subterráneo, la cual está condicionada por la pendiente del terreno, la permeabilidad de los depósitos coluvio - deluviales (bloques, cantos, gravas, arenas y limos), las areniscas intercaladas con limolitas y lutitas de la Formación Chimú, y las zonas de descarga que son los flujos subterráneos cercanos a la quebrada Pacchac (Figuras 7.12 y 7.13).

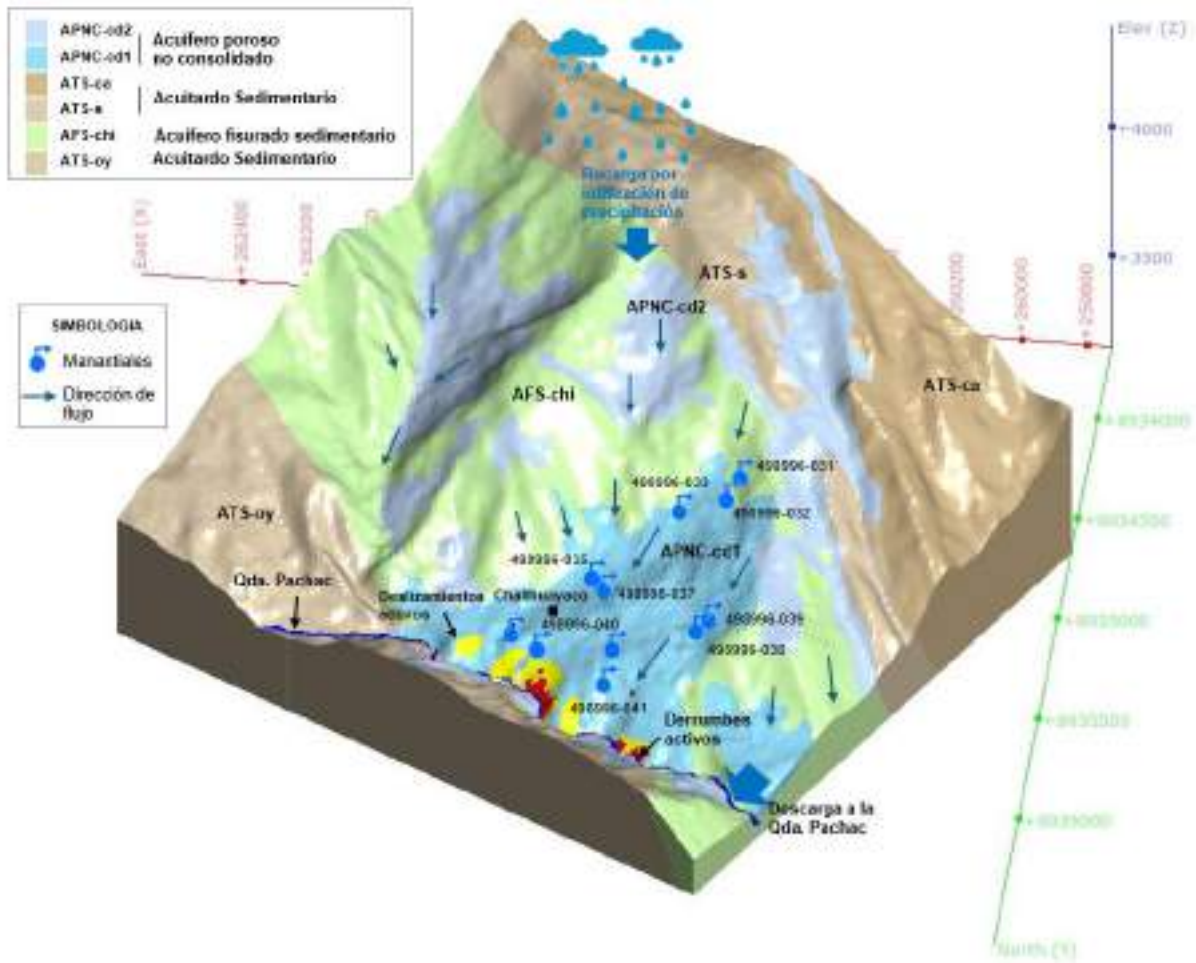


Figura 7.12. Modelo hidrogeológico conceptual del área de estudio.

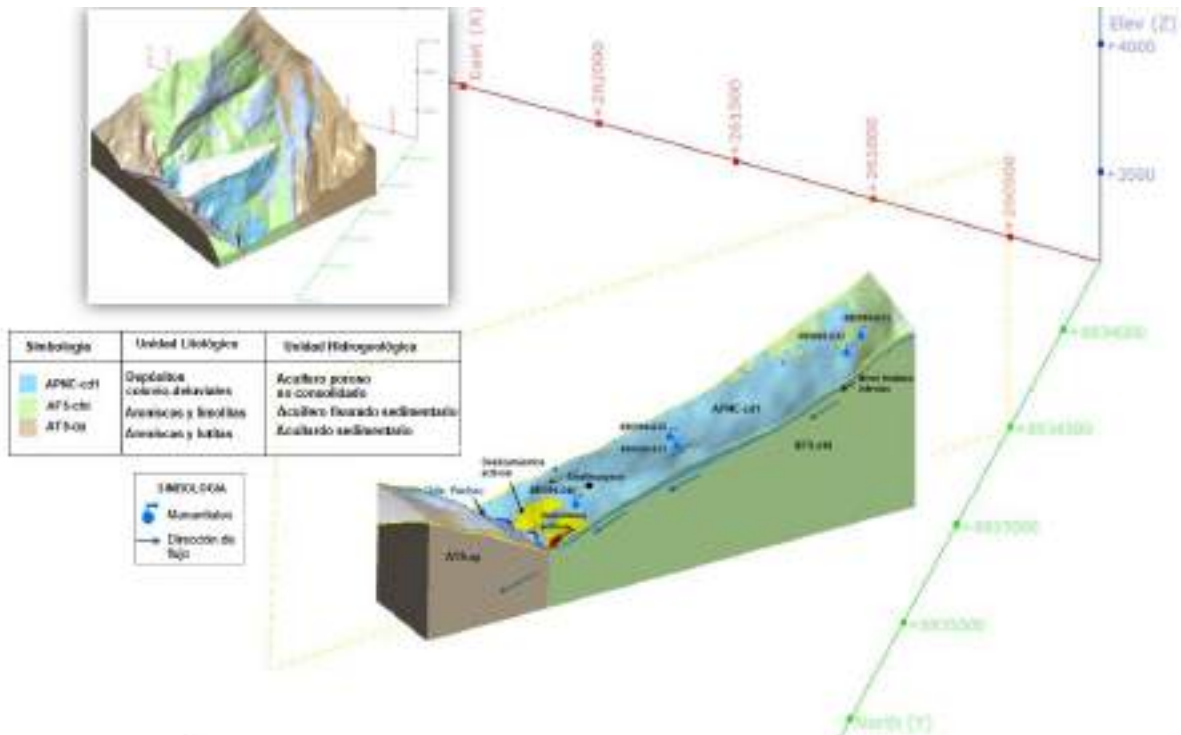


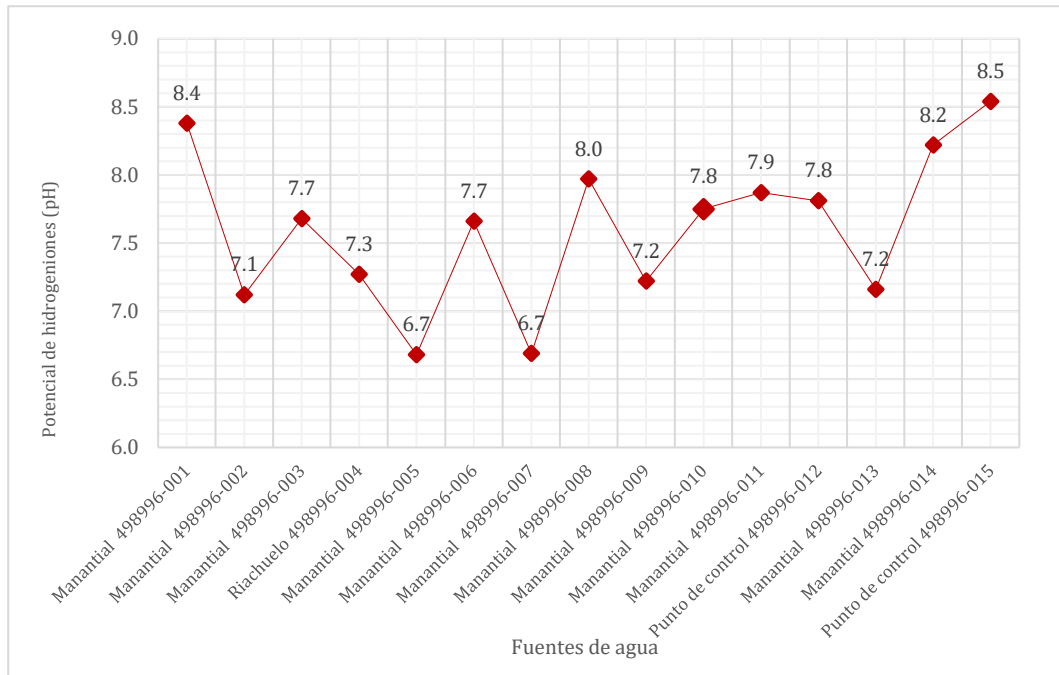
Figura 7.13. Corte transversal del modelo hidrogeológico conceptual.

7.6. Parámetros fisicoquímicos

7.6.1. Variación de Potencial de Hidrogeniones (pH)

Este parámetro se midió in situ en las 15 fuentes de agua, se muestra en el siguiente gráfico que el pH osciló entre 6.7 y 8.5 (Gráfico 7.2).

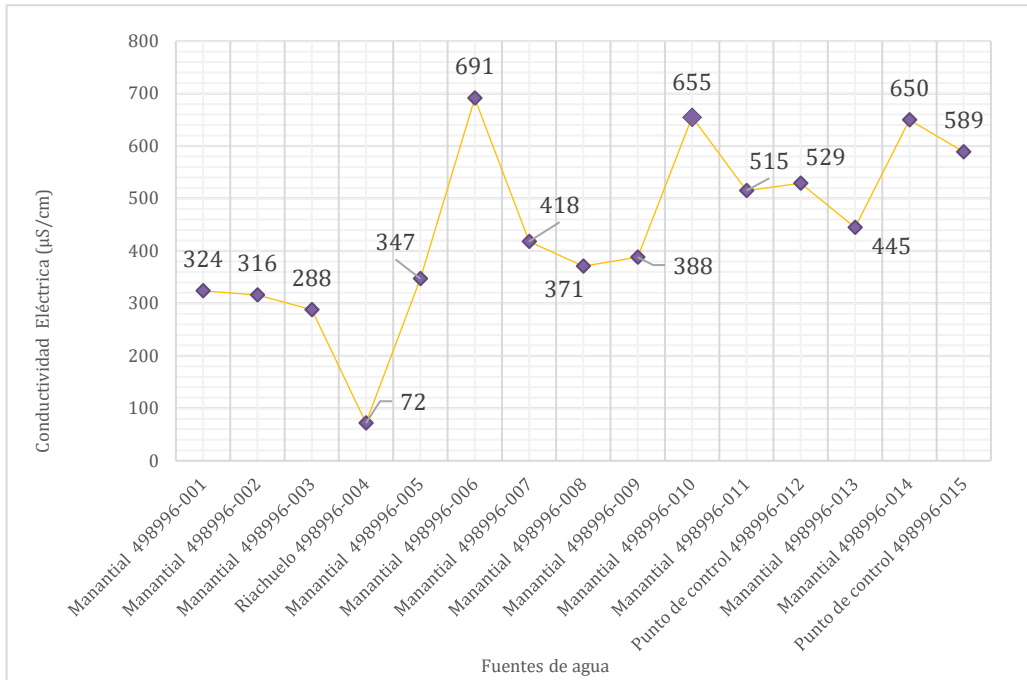
Gráfico 7.2. Variación de pH.



7.6.2. Variación de Conductividad Eléctrica (CE)

La conductividad eléctrica puede variar debido a factores estacionales como temperatura y precipitación, que afectan la concentración de sales y minerales disueltos en el agua. Durante las lluvias, el agua superficial tiende a diluirse, lo que puede reducir temporalmente la conductividad. En contraste, en épocas secas, la acumulación de sales disueltas suele aumentar, elevando así la conductividad del agua. En la zona de estudio, los valores de conductividad fluctúan entre 72 y 691 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Gráfico 7.3).

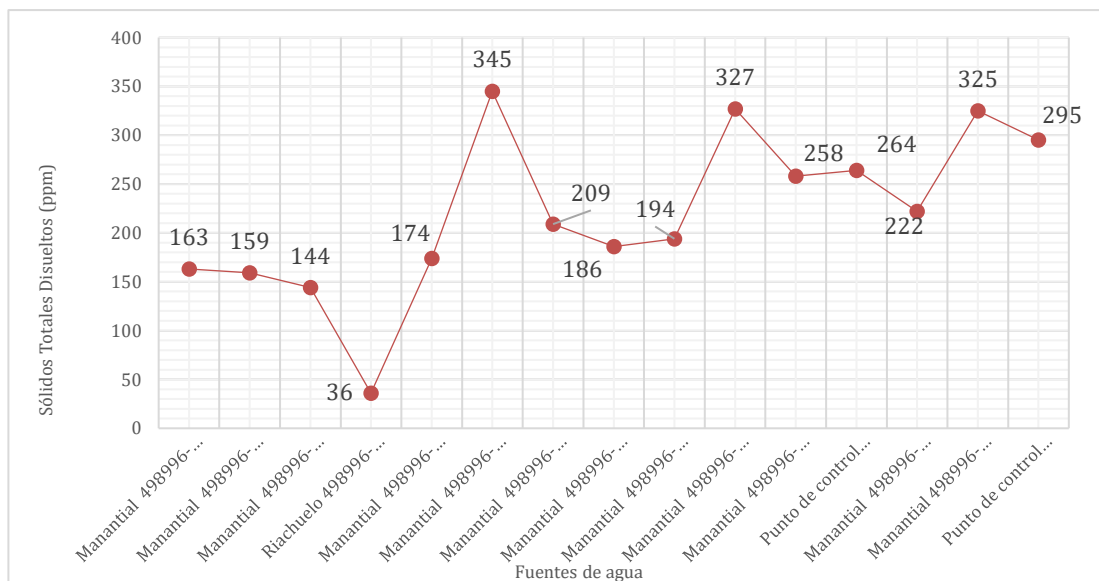
Gráfico 7.3. Variación de la conductividad eléctrica.



7.6.3. Sólidos Disueltos Totales (TDS)

Las variaciones en los TDS se encuentran entre 36 y 345 ppm, estas nos brindan información de cambios en la composición química del agua debido a factores naturales y antropogénicos, las actividades humanas también pueden influir significativamente en los niveles de TDS, presentan valores de 327 y 345 ppm en los manantiales 498996-010 y 498996-006 (Gráfico 7.4).

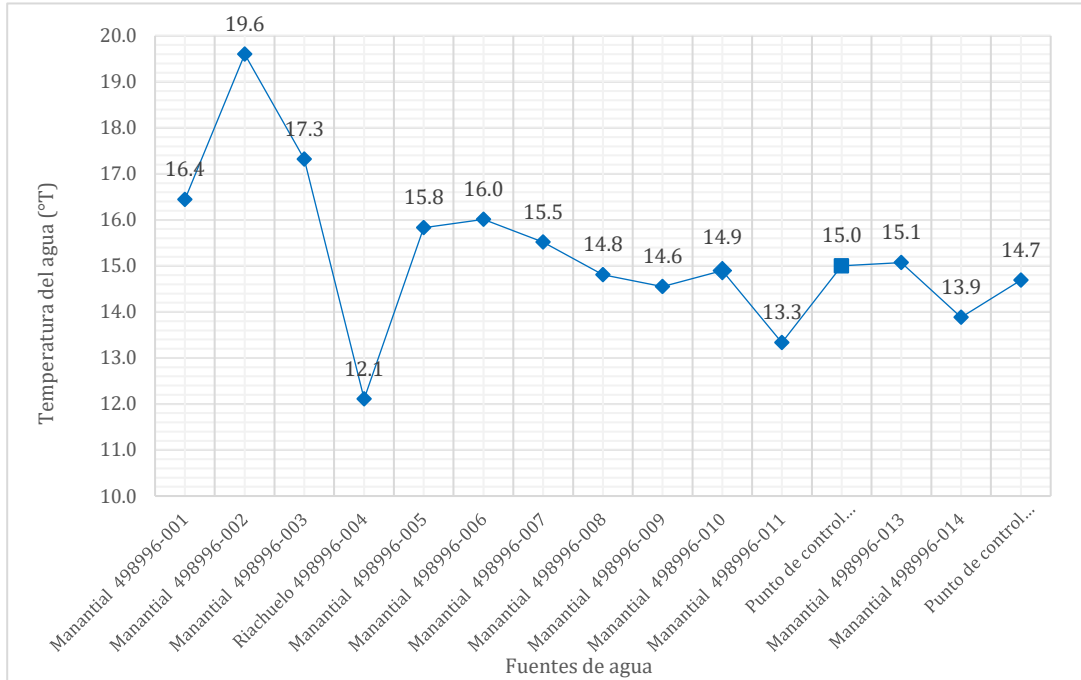
Gráfico 7.4. Variación de TDS y CE en las fuentes de agua del inventario.



7.6.4. Temperatura

Los datos registrados en el inventario revelan que las fuentes de agua tienen temperaturas que oscilan entre 12.1 y 19.6 °C (Gráfico 7.5).

Gráfico 7.5. Variación de la temperatura en las fuentes de agua del inventario.



8. ASPECTOS GEOTECNICOS

8.1. Clasificación geomecánica del macizo rocoso

El macizo rocoso es un medio discontinuo, complejo, con un comportamiento geomecánico que debe ser considerado como un conjunto. En la zona de estudio, se ha analizado el macizo rocoso conformado principalmente por areniscas cuarzosas de la Formación Chimú, debido a la influencia que tuvo en la ocurrencia de movimientos en masa de Challhuayaco. Estas rocas se han clasificado a partir de observaciones realizadas en campo, a través de ventanas estructurales, que nos permitió estimar la calidad del macizo rocoso.

El macizo rocoso se analizó según la clasificación geomecánica Rock Mass Rating (R.M.R), también conocida como la clasificación de Bieniawski (1973-1989) y la corrección al S.M.R. Slope Mass Rating (Romana, 1985-1996) aplicado a taludes.

Los parámetros utilizados para la clasificación RMR, son:

- Resistencia a la compresión simple: número de golpes con el martillo de geólogo (picota)
- Grado de fracturación del macizo: ensayo RQD.
- Espaciado de las discontinuidades: separación entre diaclasas (m).
- Condiciones de las discontinuidades: rugosidad, continuidad, relleno, bordes.
- Condiciones hidrogeológicas: humedad.

Al resultado de cada uno de los parámetros se le asigna un valor (según tablas establecidas) y se suman todos ellos para obtener el índice de calidad RMR sin correcciones. A este valor se le debe restar un factor de ajuste en función de la orientación de las discontinuidades, para nuestro caso de estudio se le aplicó un valor de 5.

8.1.1. Caracterización geomecánica de las discontinuidades

Los criterios que se tuvieron en cuenta para la descripción y clasificación se encuentran ligados a las definiciones de cada uno de los parámetros mencionados anteriormente, siendo la discontinuidad uno de los parámetros más importantes, ya que estas superficie de no continuidad de un macizo rocoso, son separadas a lo largo de espacios abiertos y/o cerrados los cuales son aprovechados para el relleno de cualquier otro mineral o alteración química presentes o circundantes por el agua, humedad y meteorización.

En la zona de estudio se han realizado tres ventanas geomecánicas, específicamente sobre afloramiento rocosos de la Formación Chimú. La caracterización realizada nos muestra un RMR de 65, al realizar la corrección se obtiene un valor de 60, lo que nos indica que es un macizo de regular calidad geotécnica.

En la fotografía 8.1 se describe las características del macizo rocoso, que presenta estratificación con orientación al sureste. Las fracturas presentan 3 familias de discontinuidades.

El espaciamiento entre sus fracturas varía de 0.2 a 0.6 m, dentro de las aberturas se tiene relleno de suelo arenoso duro, con persistencia de 1 a 3 m y superficies rugosas (cuadro 8.1).

En cuanto a la meteorización, el macizo rocoso se encuentra moderadamente meteorizada, es decir menos de la mitad del material esta descompuesto. El macizo rocoso se presenta seco.



Fotografía 8.1. Vista de la estación 10, conformada por areniscas, intercaladas con niveles de lutitas de la Formación Chimú.

Cuadro 8.1. Valoración realizada en rocas de la Formación Chimú.

VALORACION DEL MACIZO ROCOSO (R.M.R.)										
PARAMETROS	RANGO DE VALORES								VALORACIÓN	
	VALOR ESTIMADO									
Resist. COMPRESION UNIAxIAL (Mpa)	> 250 (15)	100 - 250 (12)	X	50 - 100 (7)	25 - 50 (4)	<25 (2), <5 (1), <1 (0)		1	12	
RQD (%)	90 - 100 (20)	75 - 90 (17)		50 - 75 (13)	25 - 50 (8)	X	< 25 (3)	2	8	
ESPACIAMIENTO (m)	> 2 (20)	0,6 - 2,0 (15)		0,2 - 0,6 (10)	X	0,06 - 0,2 (8)	< 0,06 (5)	3	10	
CONDICION DE LAS JUNTAS	PERSISTENCIA	<1m. (6)	1-3 m. (4)	X	3-10m. (2)	10-20 m. (1)	> 20 m. (0)	4A	4	
	ABERTURA	Cerrada (6)	<0.1mm. (5)		0.1-1mm. (4)	X	1 - 5 mm (1)	> 5 mm (0)	4B	4
	RUGOSIDAD	Muy Rugosa (6)	Rugosa (5)	X	Lig. Rugosa (3)	Lisa (1)	Espejo de falla (0)	4C	5	
	RELLENO	Limpia (6)	Duro < 5mm (4)	X	Duro > 5mm (2)	Suave < 5 mm (1)	Suave > 5 mm (0)	4D	4	
ALTERACION	Sana (6)	Lig. Meteor. (5)		Mod. Meteor. (3)	X	Muy Meteor. (2)	Descompuesta (0)	4E	3	
AGUA SUBTERRANEA	Seco (15)	X	Húmedo (10)	Mojado (7)	Goteo (4)	Flujo (0)		5	15	
VALOR TOTAL RMR (Básico)								(Suma de valoración 1 a 5) =		65
RMR CORREGIDO	TALUDES	Muy Favorable (0)		Favorable (-5)	5	Regular (-25)	Desfavorable (-50)	Muy desfavorable (-60)	60	
CLASE DE MACIZO ROCOSO (Según RMR Corregido)										
RMR	100 - 81	80-61	60-41	40-21	20 - 0					
TIPO	I	II	III	IV	V	III				

8.2. Propiedades físicas de los suelos

En este ítem, se describe las propiedades de los suelos coluvio deluviales identificados en la zona de estudio. La condición física de estos suelos determina, la rigidez y la fuerza de sostenimiento; así como, la capacidad de drenaje, almacenamiento de agua y la plasticidad.

Textura del suelo: En el centro poblado Challhuayaco, el suelo presenta textura arenoharinoso.

Estructura del suelo: Los depósitos coluvio deluvial 1 y 2 (Q-cd1 e Q-cd2) identificados en la zona de estudio, se presentan de manera masiva.

Porosidad del suelo: De acuerdo a las definiciones anteriores, esta propiedad es consecuencia de la textura y estructura del suelo, donde los poros o vacíos se pueden expresar relacionando el volumen de vacíos y el total de la muestra.

Densidad o peso específico. La densidad de las muestras del depósito coluvio deluvial 1 nos da valores de 1.80 – 1.86 (Tabla 8.1) lo cual nos indica que son suelos de consistencia media a dura. Mientras que, los suelos del depósito coluvio deluvial 2 varía de 1.80 a >1.80, lo que nos infiere que son suelos duros a muy duros.

Tabla 8.1. Propiedades de suelos finos.

Suelos finos	Densidad seca γ_d (g/cm ³)	Humedad w (%)
Muy blandos	<1,40	>55
Blandos	1,40-1,55	40-55
Consistencia media	1,55-1,70	25-40
Duros	1,70-1,80	15-25
Muy duros	>1,80	<15

Fuente: González, 2002.

Fricción interna: La fricción En la zona de estudio, el ángulo de fricción ha sido determinado a través de ensayos triaxiales CU, obteniendo un ángulo de 27.90. Este valor puede depender del tamaño de los granos, forma de los granos, distribución de los tamaños de granos y densidad.

Cohesión Para este caso se encuentra considerada como una medida de adherencia entre las partículas que conforman el suelo. De acuerdo a la mecánica de suelos, el valor de cohesión nos permite representar la resistencia al cortante producida por la adherencia de partículas. Para el caso de suelos granulares no se tiene adherencia lo que implica que el valor de cohesión es igual a 0, y pueden ser llamados suelos no cohesivos.

En el centro poblado Challhuayaco, los suelos catalogados como depósito coluvial 1 presentan una cohesión de 2.10 kpa, lo que nos indica la adherencia de las partículas.

8.3. Clasificación del suelo

Los tipos de materiales que componen el suelo de Challhuayaco han sido clasificados de acuerdo a dos sistemas de clasificación: Asociación Americana de Funcionarios Estatales de Carreteras y Transporte (AASHTO) y el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS).

En el cuadro 8.3 se presentan los resultados del análisis granulométrico realizado en el centro poblado, según la clasificación de SUCS y AASHTO. El muestreo de estos suelos se ha realizados a través 02 trincheras, ubicados en cortes de carretera y en planos de escarpe de deslizamientos. Las muestras analizadas de las trincheras TC-1 y TC-2, corresponden a arenas arcillo limosas con presencia de gravas (SC-SM), cuadro 8.2.

Cuadro 8.2. Resultado de las muestras analizadas en el centro poblado Challhuayaco.

MUESTRAS		CONTENIDO DE HUMEDAD	GRANULOMETRIA		LIMITES DE CONSISTENCIA			PESO VOLUMÉTRICO	TRIAXIAL			
Código	Profundidad	Humedad Natural (%)	Clasificación SUCS	Clasificación AASHTO	Limite Líquido	Limite Plástico	Índice de Plasticidad	Densidad natural(gr/cm3)	Cohesión efectiva (Kpa)	Angulo de fricción efectiva(°)	Cohesión Residual(Kpa)	Angulo de fricción Residual(°)
TC-1	4	5.2	Arena arcilloso limosa con grava SC-SM	A-4 Suelo limoso	19.4	13.1	6.3	1.81	2.1	27.9	1.6	26.4
TC-2	4	5.3	Arena arcilloso limosa con grava SC-SM	A-4 Suelo limoso	19.4	14.3	5.1	1.86				

8.3.1. Límites de Atterberg

Conocido también como límites de consistencia, se basa en la naturaleza del material y el comportamiento de suelos finos pasados por el tamiz No. 40 con diferente contenido de agua. Como resultado se puede tener un suelo en estado sólido, semisólido, plástico y líquido. Estos límites se utilizan para identificar y clasificar el suelo.

Índice de plasticidad (IP)

Se denomina a la diferencia entre el límite líquido y plástico, el cual representa un grado satisfactorio de plasticidad del suelo, y que permite distinguir los materiales que conforman un tipo de suelo (Tabla 8.2).

En el centro poblado Challhuayaco los índices de plasticidad obtenidos varían de 5.1% a 6.3%, lo que nos indica que son suelos catalogados de baja plasticidad.

Tabla 8.2. Valores referenciales del IP y del tipo de suelo.

Tipo de suelo	Valores del índice de plasticidad (IP)
Suelos desmenuzables	$IP < 1$
Suelos débilmente plásticos	$1 \leq IP < 7$
Suelos medianamente plásticos	$7 \leq IP < 15$
Suelos altamente plásticos	$IP \geq 15$

Fuente: (Puy Santín, 2005).

1.1. Análisis químico

Los ensayos químicos realizados en las calicatas TC.1 y TC-2, muestran los siguientes resultados (Cuadro):

- Los resultados de los ensayos de cloruros de las muestras TC-1, TC-2, muestran que los niveles de ataques son no perjudiciales (%cloruros < 0.15%; según norma E0.60), por lo que no hay riesgos de lixiviación en el acero de refuerzo de CA, riesgo insignificante
- Los resultados de los ensayos de sulfatos de las muestras TC-1 y TC-2, muestran que los ataques son no perjudiciales (%sulfato < 0.10%; según norma E0.60), por lo que se puede usar cemento portland tipo I sin riesgos al deterioro químico, riesgo insignificante

Cuadro 8.3. Resultados de los ensayos químicos en las muestras TC1 y TC2.

ANÁLISIS QUIMICO		
Sales solubles (%)	Cloruros (%)	Sulfatos (%)
0.0798	0.0118	0.0296
0.084	0.0197	0.0276

9. EVALUACIÓN DE LAS CONDICIONES DE ESTABILIDAD

El presente capítulo contiene los resultados obtenidos de los distintos análisis de estabilidad de taludes, aplicado en 3 secciones, considerándose los más críticos (figura 9.1).

Las investigaciones efectuadas en superficie y subsuperficial, nos darán el conocimiento de la geometría del área, su alcance en profundidad y la determinación de sus parámetros físicos mecánicos, obtenidos de los ensayos de laboratorio, los que nos dicen de su constitución interna y alcance, para encontrar soluciones adecuadas y económicamente viables. El análisis de estabilidad considera el tipo de material de cada sector, constituidos por depósitos coluvio-deluviales. El método aplicado para este análisis es el de equilibrio límite.

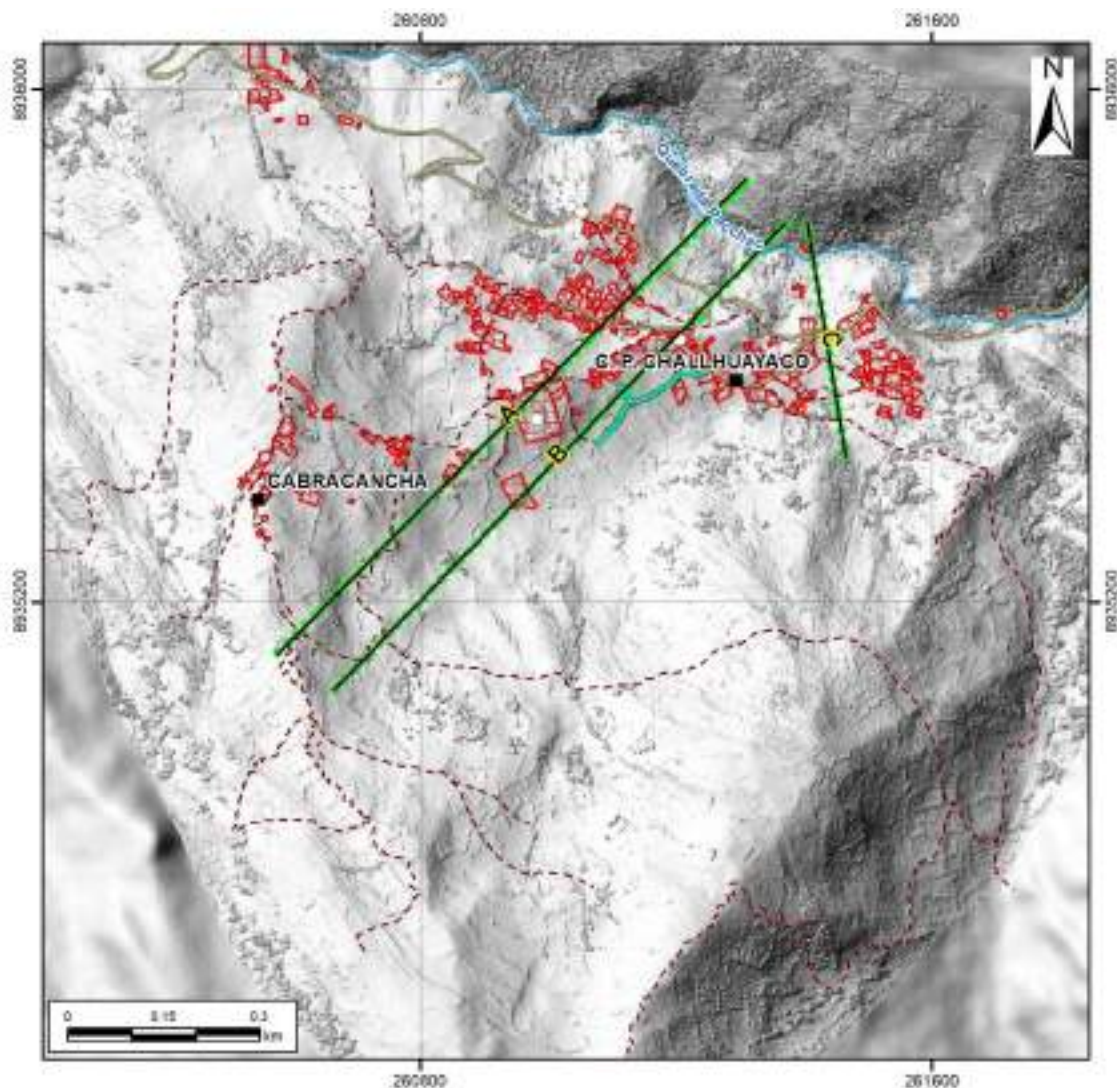


Figura 9.1. Ubicación de los perfiles en planta.

9.1. Estabilidad de taludes en suelos

Para el cálculo de los factores de seguridad al corte, se emplearon diversos métodos de análisis de estabilidad. El método simplificado de Bishop (1955) y Jambu (1956), basado en la determinación, mediante el análisis de equilibrio límite, de la relación entre la resistencia disponible del suelo al corte y el esfuerzo cortante requerido para mantener el equilibrio límite a lo largo de superficies que definen un mecanismo potencial de falla (círculos de falla).

Utilizando los criterios, hipótesis y modelo matemático antes indicados, los cálculos relativos al análisis de estabilidad de taludes se realizaron empleando un programa de cómputo geotécnico de reconocida confiabilidad (programa de ROCKSCIENCE SLIDE V.6) lo que posibilita estudiar, detalladamente una gran variedad de configuraciones alternativas para obtener una sección de diseño optimizada, aceptable tanto desde el punto de vista de la seguridad.

El programa analiza la estabilidad de taludes tomando en cuenta las propiedades del suelo (cohesión y ángulo de fricción), las características geométricas del talud y las variables desencadenantes de deslizamiento (nivel de agua).

Los parámetros correspondientes a las propiedades de los materiales que componen los taludes, requeridos para el análisis de estabilidad son los siguientes:

- Peso unitario húmedo (h)
- Peso unitario saturado (sac)
- Cohesión
- Ángulo de fricción interna

Los valores de estos parámetros se han seleccionado teniendo en consideración los resultados de los diversos ensayos de campo y de laboratorio, para la evaluación de las condiciones geológicas y geotécnicas de la estabilidad de los taludes evaluados.

9.1.1. Metodología de análisis

Para el análisis de estabilidad de taludes se ha empleado exclusivamente el método simplificado de Bishop (1955) y Jambu (1956), debido a que, en general, los valores de los factores de seguridad obtenidos mediante dicho método para superficies de falla circulares difieren en un 5% a 10% por defecto (es decir, dando un margen conservador de seguridad) de los valores obtenidos empleando métodos rigurosos de análisis (tales como el de Spencer o el de Morgenstern – Price). Por tanto, para fines prácticos, los métodos escogidos son satisfactorios.

9.1.2. Factor de seguridad y análisis de estabilidad

La estabilidad de la ladera está dada por su propio peso, el cuál debe de proporcionar un adecuado factor de seguridad. La evaluación de todas las condiciones que pueden lograr que la ladera falle; está en función de estímulos externos (carga hidráulica, sísmica, entre otros) y de las condiciones internas propias del material (pérdida de resistencia). El análisis arroja un Factor de Seguridad (FS) que indica la relación de las fuerzas que impiden el deslizamiento (propiedades de resistencia) entre las fuerzas que favorecen el deslizamiento.

Se establece como FS mínimo para un análisis de estabilidad física los siguientes valores (cuadro 9.1), según la norma CE.020 Suelos y taludes.

Cuadro 9.1. Valores de FS para diversas condiciones de análisis.

Condición de análisis	Factor de seguridad
Estática	1.50
Pseudo-estáticas	1.25

Fuente: Norma CE. 20

9.1.3. Condiciones de análisis

Se realizaron ensayos de laboratorio para determinar las características físicas y mecánicas de los materiales que componen los taludes del centro poblado Challhuayaco. En este caso se tomaron dos muestras de suelo (TC-1 y TC-2), localizadas en la parte media y baja del depósito coluvio deluvial 1. Sus características geotécnicas han clasificado a estos suelos como arena arcillosa – limosa con grava (SC-SM). En el cuadro 9.2 se detalla el resumen de las características de los materiales.

Cuadro 9.2. Características físicas del suelo y roca.

MATERIAL	PESO ESPEFÍCIFO KN/m ³	COHESIÓN Kg/cm ²	ANGULO DE FRICCIÓN INTERNA
Arenas arcillo limosas (SC-SM)	17.75	1.69	28.0°
Arenisca (K-chi)	23.536	10.00	35.0°

Nota: El peso específico, cohesión y ángulo de fricción de la Formación Chimú fueron tomados de Gonzales, 2002.

9.1.4. Resultado de los análisis de estabilidad

En base a las propiedades geotécnicas típicas de los materiales para desarrollar el estudio (certificados de ensayos de laboratorio), se ha efectuado los análisis de estabilidad en taludes en cada sección. El trazo de estos perfiles ha sido seleccionado debido a la afectación que ha generado en la ladera de Challhuayaco.

9.1.1.1. Análisis en condiciones sísmicas

En nuestro país, la ocurrencia de sismos ha sido dividida en tres zonas, según el Mapa de Zonificación Sísmica para el Perú (Figura 9.2): Zona 3 con sismicidad alta, donde la ocurrencia de sismos de intensidad alta es más frecuente; Zona 2 con sismicidad intermedia, donde la ocurrencia de sismos de intensidad elevada es moderada y, Zona 1 donde los sismos de intensidad fuerte no son muy frecuentes. Tomando como referencia este documento, el centro poblado de Challhuayaco se ubica en la “Zona 3” (sismicidad alta), localizada desde la línea de costa hasta el margen occidental de la Cordillera de los Andes, determinándose aceleraciones de 0.32 g.



Figura 9.2. Mapa de Zonificación Sísmica de Perú, según norma peruana E 0.30.

Así también, tomando como referencia el estudio de Ingemmet, 2010, nos indica que las características sismo-tectónicas del país (subducción, fallas activas) y recurrencia sísmica, para la zona de estudio se consideró una aceleración sísmica de 0.32.

El nivel freático de la zona de estudio ha sido determinado con apoyo de los ensayos de tomografía eléctrica y la interpretación hidrogeológica.

En el cuadro 9.3 se presenta el resumen del análisis de estabilidad de taludes considerando factor sísmico y nivel freático.

Cuadro 9.3. Factor de Seguridad en taludes.

N°	TIPO DE SUELO	Factor de seguridad	
		CONDICIONES ESTÁTICAS	CONDICIONES PSEUDOESTÁTICAS
1	SC-SM	1.07	0.51
2	SC-SM	1.13	0.63
3	SC-SM	1.15	0.63

Perfil A: Se localiza al oeste de la plaza principal de Challhuayaco. El modelo analiza la estabilidad en condiciones estáticas y pseudo-estáticas, desde el río Pacchac hasta la altura

del campo deportivo. Considera un nivel freático en el depósito coluvio deluvial 1, geotécnicamente catalogado como arenas arcillo limosas SC-SM (Figura 9.3).

El resultado obtenido del análisis de estabilidad en la ladera media de Challhuayaco, considerando la topografía, pendiente, movimientos en masa activo y el nivel freático nos da un factor de seguridad (FS) en condiciones estáticas de 1.07 (Figura 9.2), lo que demuestra que el talud se encuentra al límite de la estabilidad; sin embargo, en caso de producirse un movimiento sísmico este pierde su estabilidad, teniéndose un FS de 0.70 (Figura 9.4).

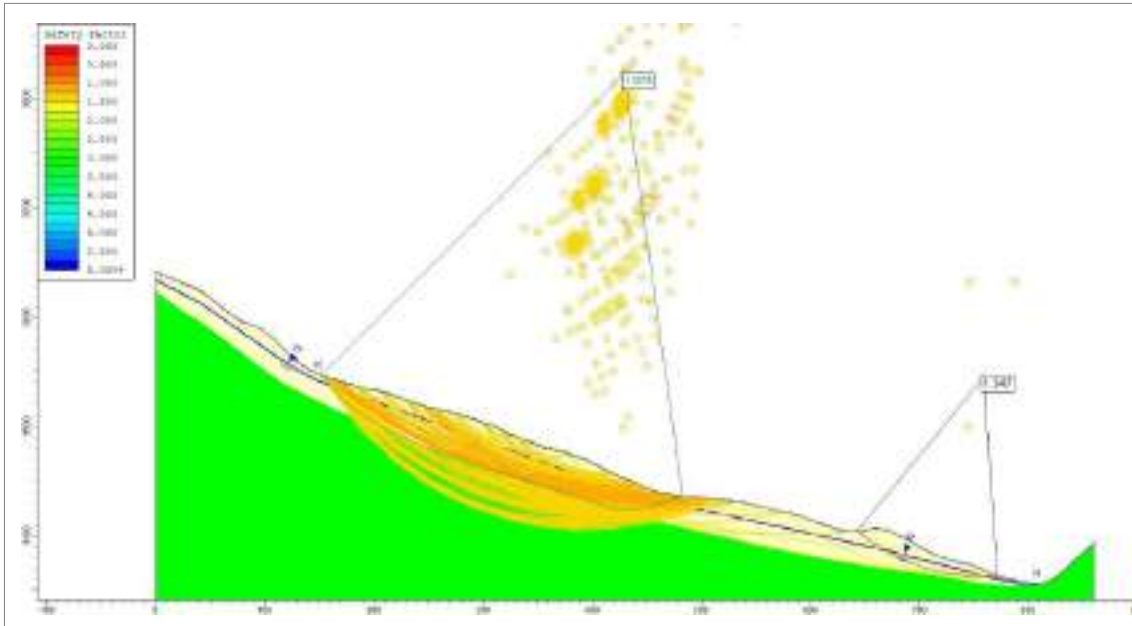


Figura 9.3. Perfil A, muestra los resultados obtenidos en condiciones estáticas.

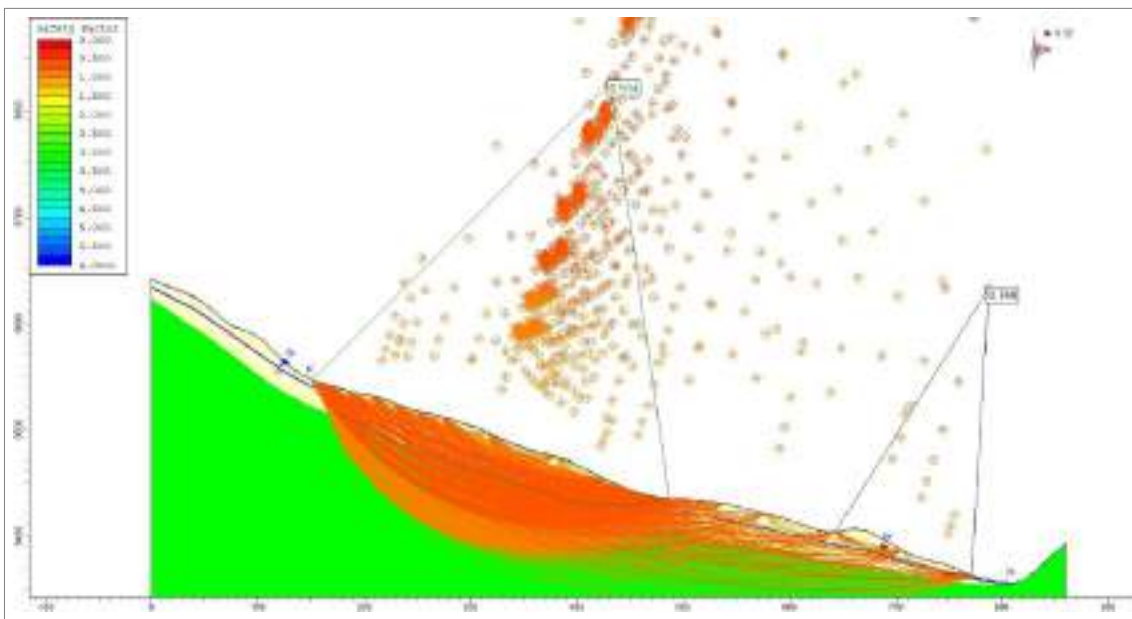


Figura 9.4. Perfil A, muestra los resultados obtenidos en condiciones pseudo-estáticas.

Perfil B: Se localiza en la plaza principal de Challhuayaco. El modelo analiza la estabilidad en condiciones estáticas y pseudo-estáticas, desde el río Pacchac hasta la altura de la Institución Educativa. Considera un nivel freático en el depósito coluvio deluvial 1, geotécnicamente, catalogado como SC-SM.

Los resultados obtenidos, considerando la topografía, pendiente, movimientos en masa activo y el nivel freático, en condiciones estáticas nos muestran un FS de 1.13, lo que indica que la ladera analizada se encuentra al límite de la estabilidad (Figura 9.5). Los resultados en condiciones pseudo-estáticas, nos da un FS de 0.6 lo que nos muestra una condición crítica de estabilidad de la ladera (Figura 9.6).

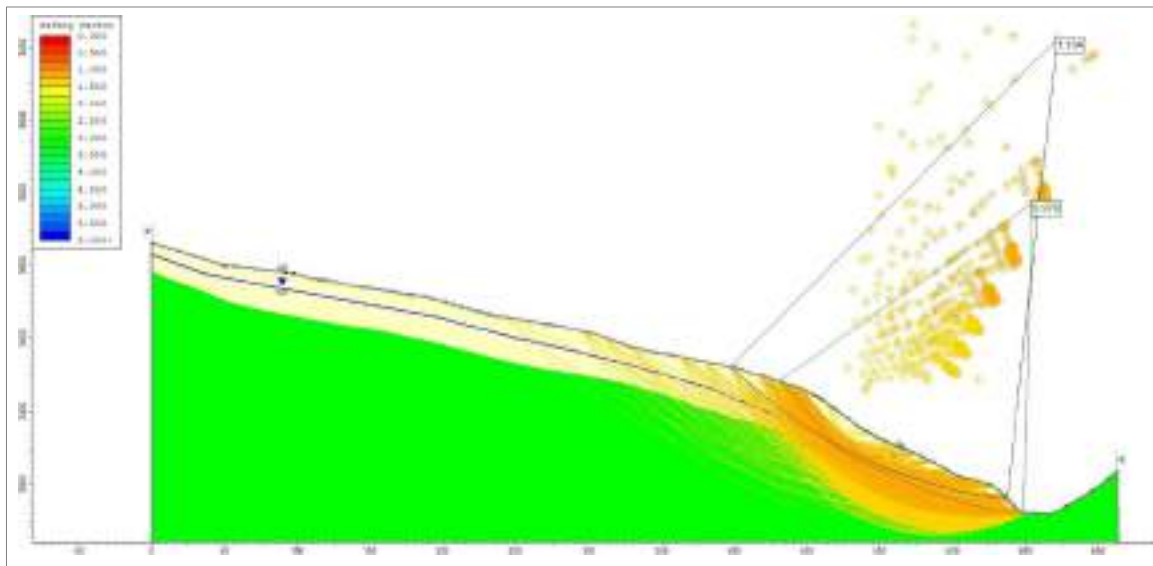


Figura 9.5. Perfil B, muestra los resultados obtenidos en condiciones estáticas.

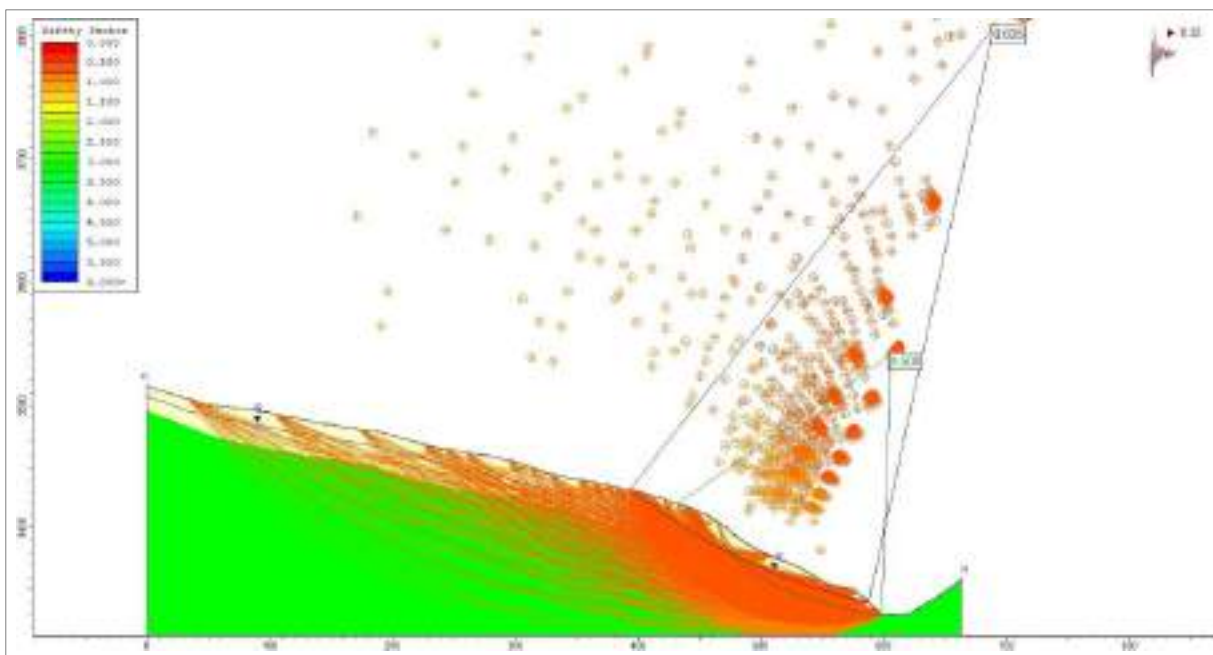


Figura 9.6. Perfil B, muestra los resultados obtenidos en condiciones pseudo-estáticas.

Perfil C: Se localiza al este de la plaza principal de Challhuayaco, en el terreno propuesto para la construcción de la posta de salud de Challhuayaco. El modelo analiza la estabilidad considerando la topografía, pendiente y movimientos en masa activo en condiciones estáticas y pseudo-estáticas, desde el río Pacchac hasta la altura de la Institución Educativa.

El resultado obtenido en condiciones estáticas nos muestra un FS de 1.15, lo que indica que la ladera analizada se encuentra al límite de la estabilidad (Figura 9.7). Los resultados en condiciones pseudo-estáticas, nos da un FS de 0.6 lo que nos muestra la inestabilidad de la ladera (Figura 9.8).

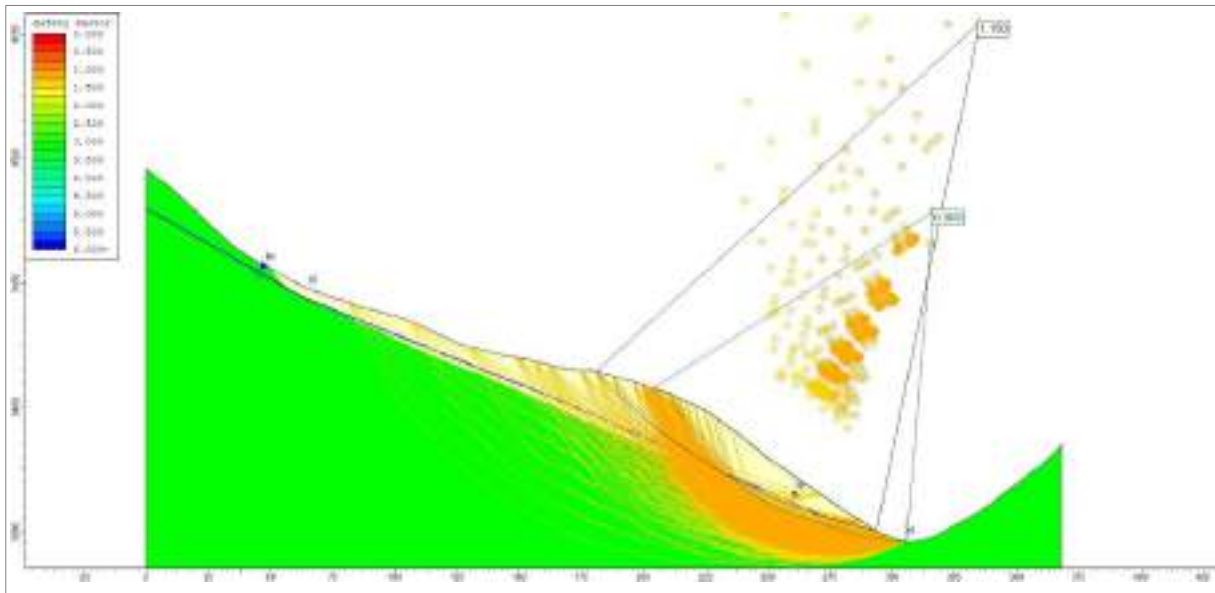


Figura 9.7. Perfil C, muestra los resultados obtenidos en condiciones estáticas.

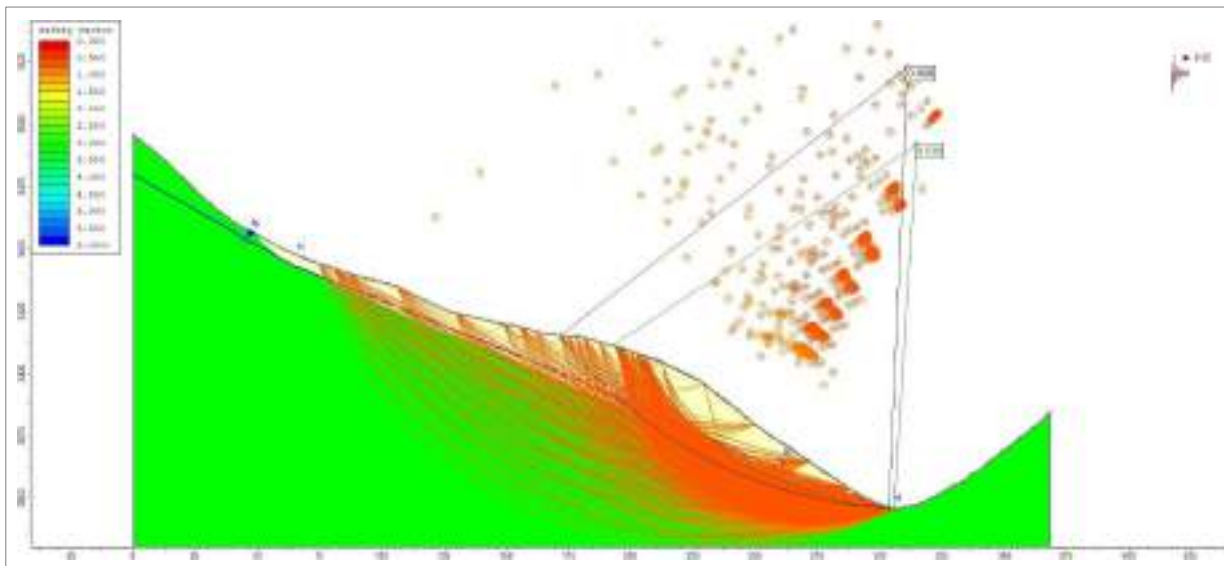


Figura 9.8. Perfil C, muestra los resultados obtenidos en condiciones pseudo-estáticas.

10. SUSCEPTIBILIDAD POR MOVIMIENTOS EN MASA

La susceptibilidad se refiere a la probabilidad de que una zona sea afectada por un determinado proceso geológico, se expresa en grados cualitativos y relativos. Los factores que controlan la ocurrencia de estos procesos pueden ser intrínsecos o externos; además, los mapas de susceptibilidad constituyen herramientas valiosas y necesarias para la prevención y mitigación de desastres, así como para la planificación territorial.

Es importante destacar que, aunque los mapas de susceptibilidad identifican áreas potenciales donde pueden ocurrir peligros naturales, no incluyen la totalidad de las zonas que podrían verse afectadas ni predicen cuándo ocurrirán estos procesos. Además, los límites de susceptibilidad señalados en estos mapas deben considerarse como referenciales y no como valores absolutos.

10.1. Factores condicionantes de la inestabilidad y determinación del peso

El método que se utilizó para el análisis de susceptibilidad de esta zona de estudio es un modelo heurístico de combinación de factores, cuyo objetivo principal es determinar las zonas más susceptibles en base a ponderaciones de los factores condicionantes. Esta metodología está basada en la preparación de mapas temáticos de factores condicionantes, y en la superposición de los mismos, y de esta manera establecer el grado de susceptibilidad en función de los pesos asignados para cada uno de los factores; los mapas son superpuestos con la ayuda de un Sistema de Información Geográfica (SIG), que permite el análisis automático de los datos y el establecimiento de base de datos asociada.

Los mapas de factores denominados condicionantes que se utilizaran para la generación de los mapas de susceptibilidad en este sector vienen a ser la litología (Geología), la pendiente del terreno, la geomorfología, la hidrogeología, la cobertura vegetal, uso de suelo y el índice de humedad del terreno (TWI). En el cuadro 10.1 se muestra la determinación de los pesos según el grado de influencia directa para la formación de movimientos en masa en la ladera norte de Challhuayaco.

Cuadro 10.1. Factores condicionantes y ponderación de pesos.

Variable	Símbolo	Peso (%)	Peso
Litología	L	30	0.30
Pendiente del terreno	P	25	0.25
Geomorfología	G	15	0.15
Hidrogeología	H	15	0.15
Índice de Humedad del suelo	I	10	0.10
Cobertura vegetal y uso de suelo	C	5	0.05
TOTAL		100	1.00

En cada mapa el factor condicionante fue analizado de manera independiente y se asignó el grado de susceptibilidad de acuerdo al grado que representa. Estos rangos van de 1 a 5, considerando que 1 está referido a zonas con susceptibilidad baja y 5 a zonas con

susceptibilidad muy alta. En ese entender cada uno de los parámetros se describen a continuación:

10.1.1. Parámetro litológico

Este factor es considerado uno de los factores más importantes (Cuadro 10.2) debido a su influencia directa en la generación de movimientos en masa, para la generación de este mapa se utilizó como base la carta Geológica del cuadrángulo de Recuay – hoja 20-i, (Cobbing et al., 1996) a escala 1:50 000, modificado in situ a escala 1:3 500 con observaciones de campo.

Cuadro 10.2. Ponderación de las unidades litológicas en relación con el análisis de susceptibilidad a los movimientos en masa.

<i>Unidad</i>	<i>Valor</i>	
Depósitos inconsolidados	Depósitos fluviales	1
	Depósitos coluviales	1
	Depósitos coluvio-deluviales 1	3
	Depósitos coluvio-deluviales 2	5
Rocas Sedimentarias	Formación Carhuaz	2
	Formación Chimú	3
	Formación Santa	3
	Formación Oyón	2

10.1.2. Parámetro de pendiente del terreno

La ponderación de este factor está en función al valor de la pendiente en grados (Cuadro 10.3), considerando que la susceptibilidad a la ocurrencia de movimientos en masa es mayor en zonas con pendiente muy fuerte (25°-45°). Este mapa se generó a partir del modelo DEM de 20 cm/px, obtenido a través de fotogrametría y completado con un DEM SPOT de 6 m/px de resolución.

Cuadro 10.3. Ponderación de las clases de pendiente del terreno en relación con el análisis de susceptibilidad a los movimientos en masa.

<i>Rango de pendientes</i>	<i>Superficie topográfica</i>	<i>Valor</i>
0° - 1°	Terreno llano	1
1° - 5°	Terreno inclinado con pendiente suave	1
5° - 15°	Pendiente moderada	2
15° - 25°	Pendiente fuerte	3
25° - 45°	Pendiente muy fuerte o escarpada	5
> 45°	Terreno muy escarpado	4

10.1.3. Parámetro geomorfológico

La ponderación de esta variable está en función a la altura relativa de los terrenos, las geoformas de acumulación de diferente origen e incidencia directa con la estabilidad de las vertientes o laderas y la litología (Cuadro 10.4).

Cuadro 10.4. Ponderación de las unidades geomorfológicas en relación con el análisis de susceptibilidad a los movimientos en masa.

Geoforma	Descripción	Valor
Unidad de Montaña	Montaña estructural en roca sedimentaria	2
Unidad de piedemonte	Vertiente con depósito de deslizamiento	4
	Vertiente coluvial	5
	Vertiente coluvio deluvial	3
Unidad de planicies	Cauce fluvial	1

10.1.4. Parámetro hidrogeológico

La ponderación de esta variable está en función al comportamiento hidrogeológico de las diferentes litologías (Cuadro 10.5).

Cuadro 10.5. Ponderación de las unidades hidrogeológicas en relación con el análisis de susceptibilidad a los movimientos en masa.

Unidad	Subunidad	valor
Acuífero	Poroso no consolidado APNC-cd1	4
	Poroso no consolidado APNC-co	5
	Poroso no consolidado APNC-cd2	3
	Fisurado sedimentario	2
Acuitardo	Sedimentario	2

10.1.5. Parámetro de índice de humedad del suelo

La ponderación de esta variable está determinada, por la capacidad de escorrentía en el terreno y las zonas de saturación, así las áreas de mayor potencial de acumulación y flujo de aguas superficiales tiene valores más altos (Cuadro 10.6).

Cuadro 10.6. Ponderación del índice de humedad del suelo en relación con el análisis de susceptibilidad a los movimientos en masa.

<i>Unidad</i>	<i>Descripción</i>	<i>Valor</i>
Bajo	Grado bajo de acumulación hídrica	2
Medio	Grado medio de acumulación hídrica	3
Alto	Grado alto de acumulación hídrica	4

10.1.6. Parámetro de cobertura vegetal y uso de suelo

La ponderación de las unidades de cobertura vegetal y uso de suelo están en función a su relación con la generación de movimientos en masa (Figura 10.1 y cuadro 10.7).

Cuadro 10.7. Ponderación de las unidades de cobertura vegetal y uso de suelo en relación con el análisis de susceptibilidad a los movimientos en masa.

<i>Unidad</i>	<i>valor</i>
Bosque relictos altoandinos	1
Terrenos de agricultura	5
Pajonal andino	3
Matorral arbustivo	2
Áreas sin vegetación considerable	4

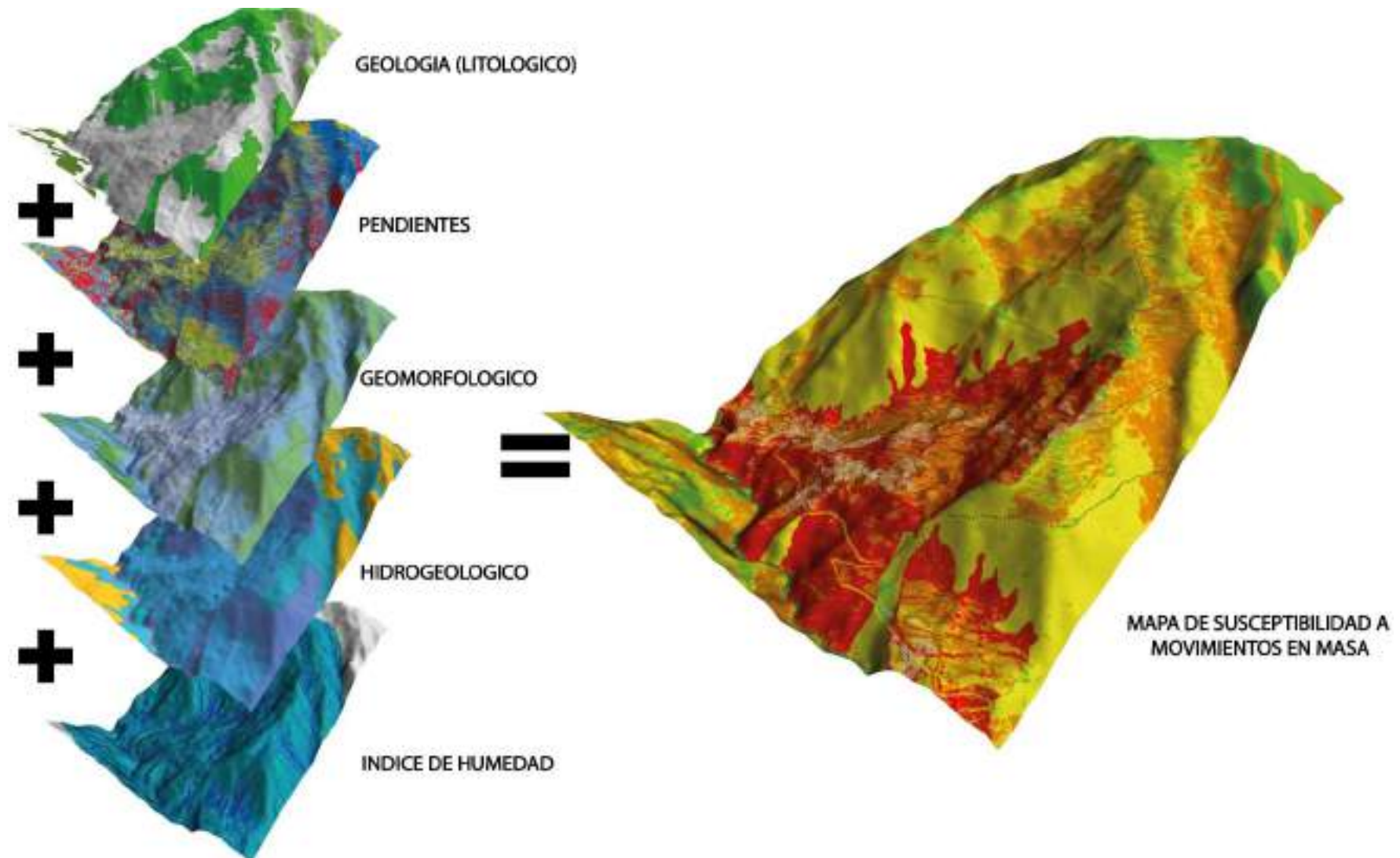


Figura 10.1. Mapas de factores que intervienen en la evaluación de la susceptibilidad a movimientos en masa, descritos de arriba abajo según su peso ponderante. A) Mapa factor litología, B) Mapa factor pendiente del terreno, C) Mapa factor geomorfología.

10.2. Mapa de susceptibilidad a los movimientos en masa

Realizada la ponderación de todos los factores condicionantes, se combinan los mapas generados mediante la ecuación 10.1; finalmente, se obtiene un ráster que contiene los valores referidos al grado de susceptibilidad a movimientos en masa para el área de estudio.

$$SMM = \frac{\sum S_L(PVL) + \sum S_P(PVP) + \sum S_G(PVG) + \sum S_H(PVH) + \sum S_I(PVI) + \sum S_C(PVC)}{\sum N_P}$$

Donde:

- SMM : Susceptibilidad a los movimientos en masa
- ΣSL : Sumatoria de susceptibilidad de la variable Litología
- ΣSP : Sumatoria de susceptibilidad de la variable Pendiente de terreno
- ΣSG : Sumatoria de susceptibilidad de la variable Geomorfología
- ΣSH : Sumatoria de susceptibilidad de la variable Hidrogeología
- ΣSI : Sumatoria de susceptibilidad de la variable Índice de humedad del suelo
- ΣSC : Sumatoria de susceptibilidad de la variable Cobertura vegetal y uso de suelo
- PVL : Peso de la variable Litología
- PVP : Peso de la variable Pendiente de terreno
- PVG : Peso de la variable Geomorfología
- PVH : Peso de la variable Hidrogeología
- PVI : Peso de la variable Índice de humedad del suelo
- PVC : Peso de la variable Cobertura vegetal y uso de suelo
- ΣNP : Número de parámetros

10.3. Grados de susceptibilidad a los movimientos en masa

Como se muestra en la figura 10.2, se identificaron cinco grados de susceptibilidad a movimientos en masa:

- **Áreas de muy baja susceptibilidad.** Corresponden a terrenos muy llanos con pendientes menores a 5°; se relaciona con el cauce de la quebrada Pacchac, y depósitos fluviales. En el mapa de susceptibilidad a movimientos en masa se muestran las zonas de muy baja susceptibilidad en color verde oscuro.
- **Áreas de baja susceptibilidad.** En estos sectores las condiciones intrínsecas del terreno no son tan propensas a generar movimientos en masa. Coincide con zonas ligeramente inclinadas, con una topografía plano-ondulada con pendientes moderadas. Situadas en la cima de la ladera norte de Challhuayaco.
- **Áreas de susceptibilidad media.** Son aquellas que presentan algunas condiciones favorables para producir movimientos en masa. Incluye geoformas de relieve montañoso y áreas donde la pendiente del terreno es fuerte. En el mapa de susceptibilidad a movimientos en masa se muestran las zonas de susceptibilidad media en color amarillo. En estas áreas se estima puede ocurrir derrumbes y/o caída de rocas por la presencia de macizos rocosos con ausencia de vegetación.

- **Áreas de alta susceptibilidad.** Presentan condiciones favorables del terreno a generar movimientos en masa; el substrato está compuesto en su mayoría por depósito coluvio deluviales no consolidados y con cierto grado de saturación natural y por actividades antrópicas como agricultura. La pendiente de las laderas varía entre moderada a escarpadas y muy escarpadas. Estas zonas también se dan en depósitos de antiguos deslizamientos, presentando actualmente reactivaciones de deslizamientos catalogados activos y suspendidos. En el mapa de susceptibilidad a movimientos en masa se muestran las zonas de alta susceptibilidad en color anaranjado.
- **Áreas de muy alta susceptibilidad.** Presentan condiciones del terreno favorables para generar movimientos en masa. El substrato es de mala calidad, estos corresponden a depósitos de antiguos procesos (deslizamiento) que son depósitos inconsolidados. Estas áreas de alta susceptibilidad se observan a lo largo de las quebradas margen izquierda de la quebrada Pacchac y el límite sur del centro poblado de Challhuayaco, donde las pendientes de laderas son mayoritariamente escarpadas y muy escarpadas, además, es donde actualmente se evidencian deslizamientos activos, suspendidos y derrumbes. En el mapa de susceptibilidad a movimientos en masa se muestran las zonas de muy alta susceptibilidad en color rojo.

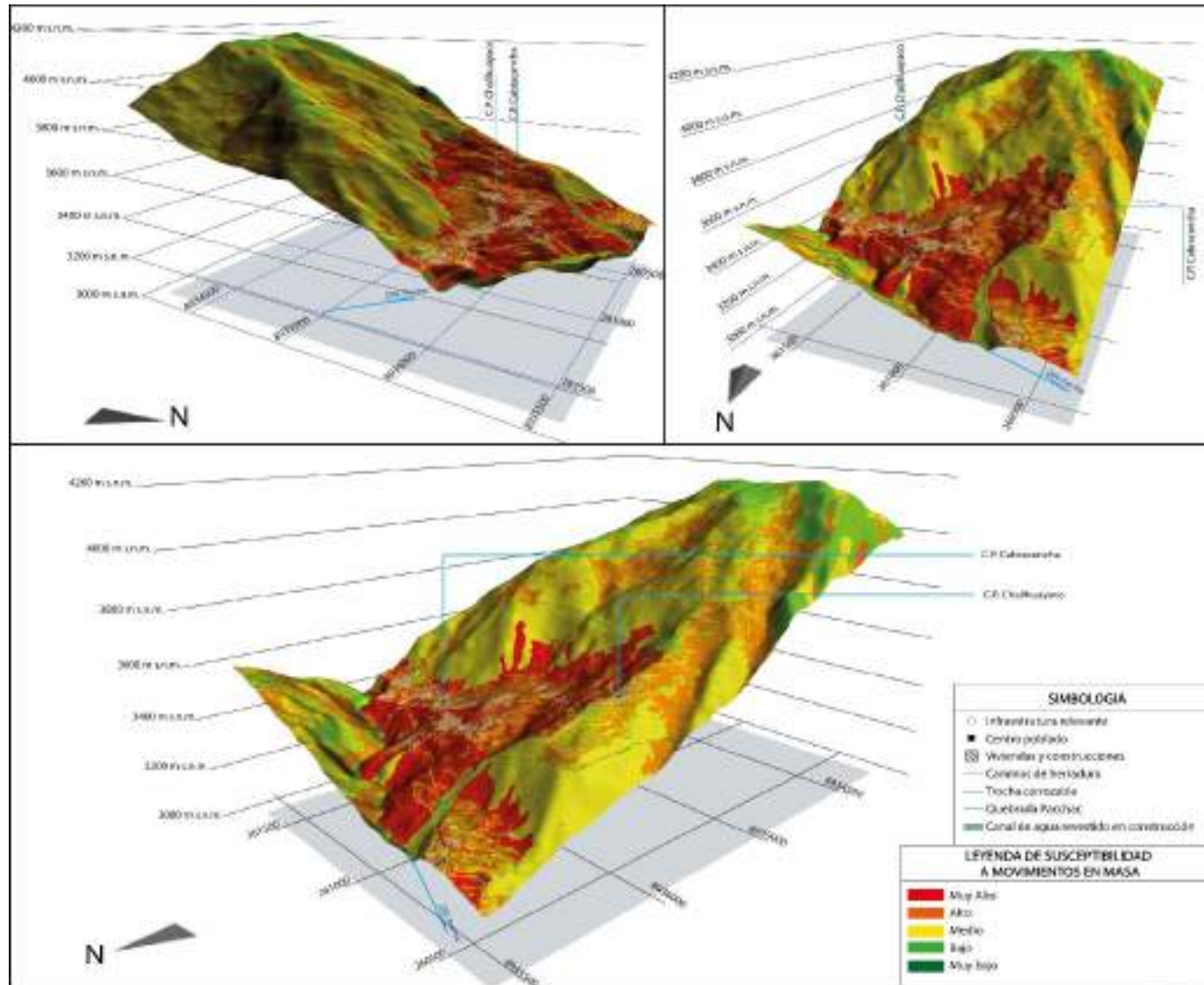


Figura 10.2. Mapa de susceptibilidad a movimientos del área de estudio.

11. ALTERNATIVAS PARA EL MANEJO DE PROBLEMAS DE MOVIMIENTOS EN MASA

11.1. Propuesta de monitoreo

11.1.1. Monitoreo de deslizamiento con instrumentación

Los sistemas de monitoreo desde el punto de vista de gestión de riesgos, son una serie de herramientas, tecnologías y procedimientos diseñados para conocer de manera periódica los factores que pueden detonar en algún momento eventos peligrosos y; predecir en una línea de tiempo los escenarios de estos fenómenos que podrían representar una amenaza para la vida de la población, infraestructura y el medio ambiente (Bednarczyk, 2014).

En deslizamientos, los sistemas de monitoreo consisten en la observación y medición continua o periódica de los mecanismos de desplazamiento, la magnitud del movimiento, la condición de la superficie de deslizamiento, el cambio de los niveles de agua subterránea, utilizando los dispositivos de medición adecuados, se pueden tener como resultados, por ejemplo, la profundidad de la superficie de deslizamiento, el nivel freático, la dirección y velocidad de deslizamiento. En un sistema de monitoreo estándar se deben monitorear: (1) Lluvia (2) Deformación de la superficie (3) Nivel de agua subterránea y (4) Movimiento del subsuelo (Bandara et al., 2013)



Figura 11.1. Esquema de un sistema de monitoreo de deslizamientos (tomado de Cordero & Espinoza, 2012).

El diagrama de la figura 5 es un ejemplo de la infraestructura de un sistema de monitoreo de deslizamientos, el cual está conformado de cuatro componentes: sensores e instrumentos, sistemas de comunicación, centro de procesamiento y visualización de resultados; los cuales se describen a continuación.

A. Sensores e instrumentación

Los sensores son dispositivos que detectan y capturan datos sobre variables específicas como: coordenadas, temperatura, humedad, movimiento, lluvia, saturación imágenes,

inclinación, etc. Estos pueden encontrarse en instrumentos que cuantifican y registran las observaciones capturadas por los sensores. Ejemplos: cámaras, acelerómetros, piezómetros, pluviómetros, receptores GNSS, inclinómetros, sismómetros, etc. Otro elemento importante en la instrumentación son los Data Loggers, dispositivos que registran y almacenan los datos recolectados por un periodo determinado antes de enviarlos al centro de procesamiento.

B. Sistemas de comunicación

Son los encargados de transmitir datos desde un lugar remoto a otro. Es esencial en las redes de monitoreo para gestión de riesgo y sistemas de alerta temprana. Dependiendo de las condiciones topográficas, de accesibilidad y disponibilidad de servicios, se pueden la combinación de varias tecnologías, siendo las más comunes (Ramesh, 2009; Mishra et al., 2011):

- **Redes Inalámbricas:** Tecnologías como Wi-Fi, Bluetooth, Zigbee, o redes celulares que transmiten los datos desde los sensores al centro de procesamiento.
- **Sistemas Satelitales:** Utilizados en ubicaciones remotas para transmitir datos donde no hay cobertura de red convencional.
- **Cableado y Fibra Óptica:** En situaciones donde se requiere alta velocidad y fiabilidad en la transmisión de datos.

C. Centro de gestión y procesamiento de datos

Son las instalaciones físicas con la capacidad tecnológica y de infraestructura para recibir la información registrada por los sensores en campo, almacenarla y procesarla. Estas instalaciones deben contar con:

- **Servidores en la Nube o local:** Infraestructura que permite el almacenamiento y accesibilidad de grandes volúmenes de datos, garantizando la disponibilidad y seguridad. Esto incluye las Bases de Datos, que son los sistemas que organizan y gestionan los datos para su consulta y análisis.
- **Ciberseguridad:** Medidas para proteger el sistema de monitoreo y sus datos contra accesos no autorizados, manipulaciones, y ciberataques.
- **Computadoras de alto rendimiento:** Infraestructura donde los datos recolectados son procesados y sistematizados para su visualización.
- **Software de Análisis:** Programas que procesan, interpretan y analizan los datos para identificar patrones, tendencias, y posibles anomalías. Puede incluir inteligencia artificial, modelos predictivos, y algoritmos de Machine learning.

D. Plataformas de visualización

Son paneles digitales interactivos que muestran los datos en tiempo real mediante gráficos, tablas y mapas; facilitando la comprensión y toma de decisiones. Los paneles también incluyen la visualización y emisión de notificaciones y avisos (por ejemplo, mensajes de texto o correos electrónicos) cuando se detectan condiciones anómalas, sin embargo, esto debe estar acompañada de algoritmos robustos de análisis automatizado. Los paneles de visualización son físicos cuando se implementan en los centros de monitoreo mediante la

organización de pantallas de visualización y son digitales cuando están a disposición de los usuarios mediante páginas web o aplicaciones móviles.

11.1.1.1. Diseño de la red de monitoreo en tiempo real

Se propone la implementación de una red de monitoreo de 6 estaciones (Figura 11.2), se las identifica con los códigos RMC (Red de Monitoreo de Challhuayaco) y un número correlativo. Las estaciones se han ubicado considerando los parámetros de monitoreo, comunicación, accesibilidad y seguridad.

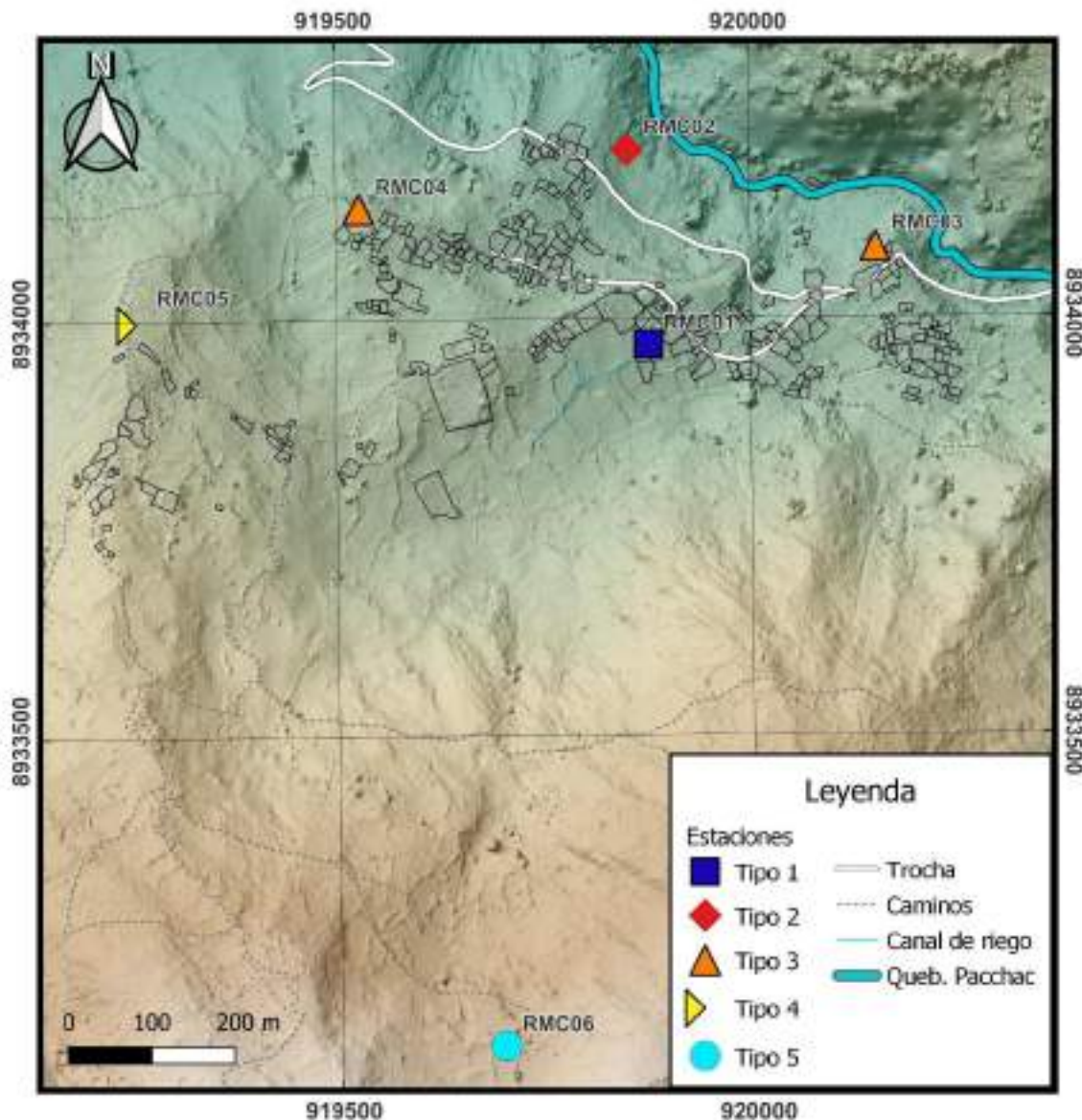


Figura 11.2. Mapa de Ubicación de las estaciones de monitoreo en tiempo real, se diferencian por tipo de estación las cuales se clasifican por la instrumentación que contienen.

En primer lugar, las estaciones se han distribuido en base al objetivo de la red, que es el de monitorear el peligro (factores condicionantes y detonantes), en tal sentido, se usa la información existente acerca de los peligros geológicos, información hidrogeológica y meteorológica. Estos aspectos nos proveen de argumentos para definir zonas en las que

deberían instalarse los instrumentos que registrarán información de desplazamiento, inclinación, contenido de agua, precipitación, actividad superficial y actividad sísmica.

Bajo estas consideraciones se proponen implementar 6 estaciones, equipadas con diferentes sensores, se han clasificado 5 tipos de estaciones que se diferencian por los instrumentos que albergarán (Tabla 11.1), siendo 4 tipos de instrumentos los propuestos para esta red.

Tabla 11.1. Tipo de estaciones.

Tipo de estación	Instrumentación
Tipo 1	Receptor GNSS, Piezómetro, Sismómetro
Tipo 2	Receptor GNSS, Sismómetro
Tipo 3	Receptor GNSS
Tipo 4	Receptor GNSS, Sismómetro, Repetidora
Tipo 5	Pluviómetro, Sismómetro

Posteriormente se han ajustado las coordenadas finales considerando la conectividad-comunicación (línea de vista) entre las estaciones y la repetidora para transmitir los datos en tiempo real, para ello se ha designado a la estación RMC05 como estación-repetidora, encargada de acopiar y retransmitir la información. En la Figura 11.3 se muestran mediante líneas rojas, las líneas de transmisión, donde las flechas indican la dirección del flujo de información. Es importante que las estaciones puedan tener una línea de vista sin interferencias, para ello se calcularon perfiles topográficos (Figura 11.4) para verificar que no haya obstáculos, ajustando las coordenadas hasta encontrar la mejor línea de vista o en su defecto buscando alternativas de transmisión mediante repetidoras. Es así que se calcularon 6 perfiles, 5 de ellas (RMC01, RMC02, RMC03, RMC04 y RMC06) se comunican directamente con RMC05, la cual acopiará y retransmitirá al centro de control, que podría estar en Chavín. En la Tabla 11.2 se detallan los sensores que deben contener cada estación y las coordenadas de ubicación.

El centro de control debe contar con un ambiente acondicionado para albergar antenas de recepción, un servidor de datos para acopiar la información, servicio de internet de banda ancha para remitirla al centro de procesamiento y suministro de energía con UPS. Adicionalmente el centro de control deberá contar con un panel View que permita verificar el funcionamiento de las estaciones, así como visualizar la información proveniente de los sensores en campo.

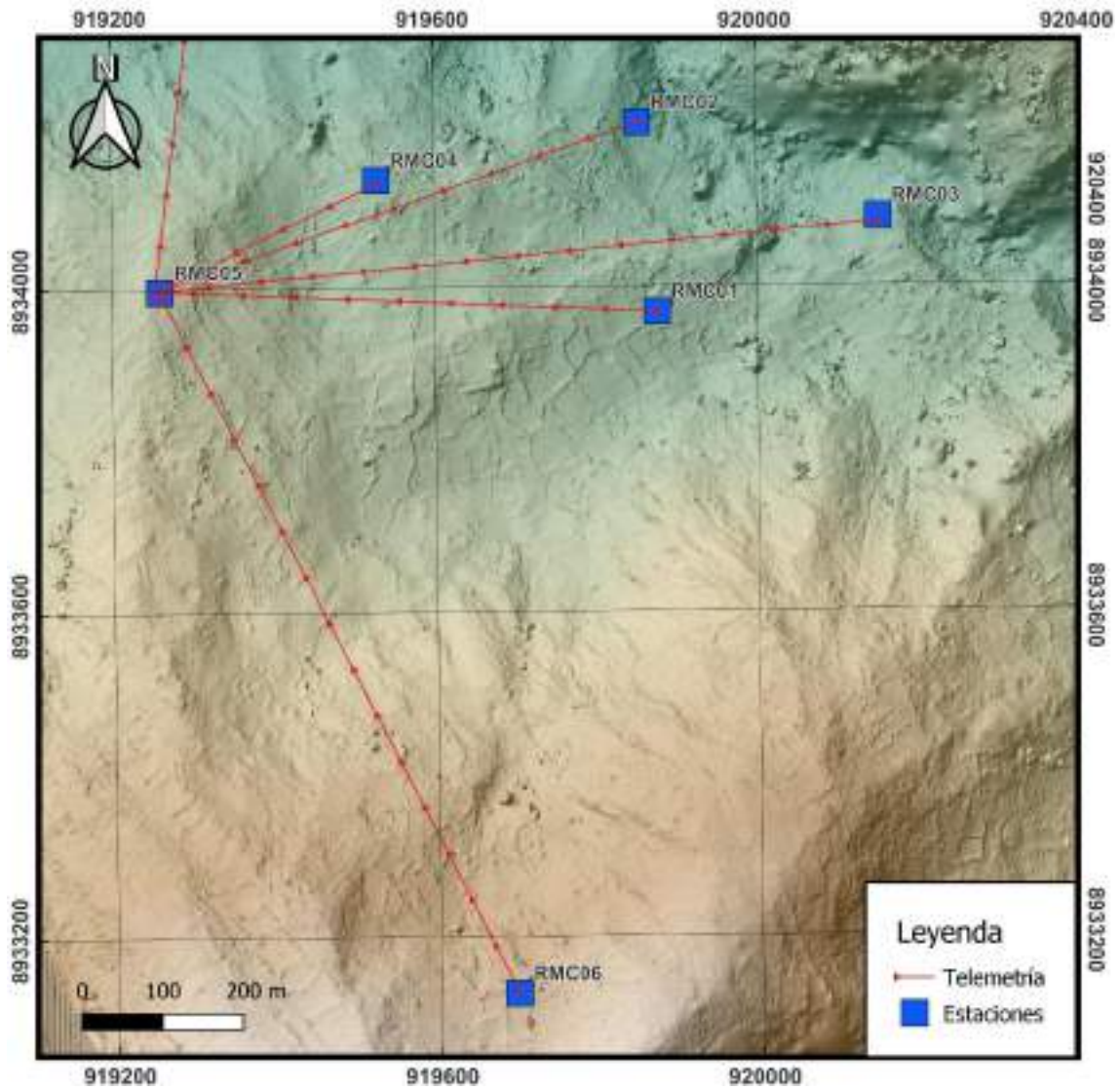


Figura 11.3. Líneas telemétricas de la red de monitoreo en tiempo real.

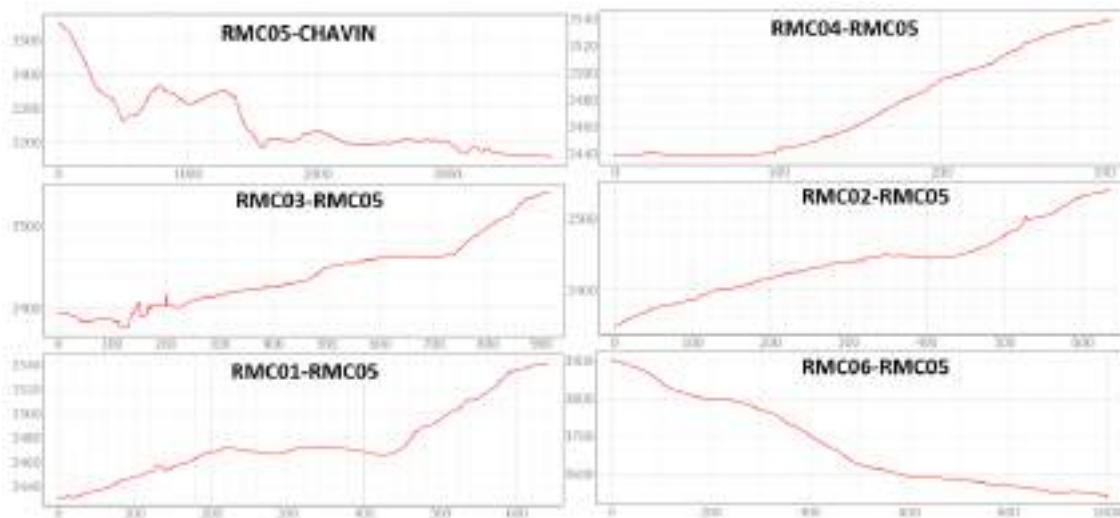


Figura 11.4. Perfiles topográficos entre las estaciones para verificar la línea de vista.

Tabla 11.2. Coordenadas de cada estación y sensores con las que debe contar.

Código	Tipo	Equipos	Longitud	Latitud	Altitud
RMC01	Tipo 1	GNSS, Piezómetro, Sismómetro	-77.17589	-9.6226	3349
RMC02	Tipo 2	GNSS	-77.17613	-9.6205	3389
RMC03	Tipo 3	GNSS, Sismómetro	-77.17341	-9.62153	3429
RMC04	Tipo 3	GNSS	-77.17907	-9.62116	3900
RMC05	Tipo 4	Pluviómetro	-77.1815	-9.62241	3540
RMC06	Tipo 5	GNSS, Sismómetro, Repetidora	-77.17744	-9.63019	3438

11.1.2. Monitoreo geodésico

Durante los trabajos de campo realizados del 1 al 15 de junio de 2024, se implementó una red de puntos de control, para monitoreo periódico con receptores GNSS diferencial. El monitoreo con puntos de control es una técnica utilizada para medir los cambios en la posición de puntos específicos en la superficie. Se emplea receptores GNSS (Global Navigation Satellite System) para rastrear y medir con alta precisión las coordenadas de cada punto, las mediciones son periódicas y sistemáticas. Los resultados de dos o más mediciones serán series de tiempo, mapas de campos de velocidad y mapas de campos de desplazamiento que muestran la magnitud y dirección de la deformación del suelo.

En Challhuayaco se implementó una red de 12 puntos de control y una base para mediciones con receptores GNSS Diferencial, la estación base se ubicó en el centro arqueológico de Chavín de Huántar, utilizando un monumento geodésico ya existente (Figura 11.5A). Para la lectura de datos se empleó un receptor GNSS de la marca Trimble modelo R10 (Figura 11.5B). El equipo operó un total de 5 días continuos con cuya información se calculó las coordenadas teniendo como referencia estaciones del IGS de Sudamérica, los resultados de la base se presentan como descripción monográfica en la Figura 11.6.

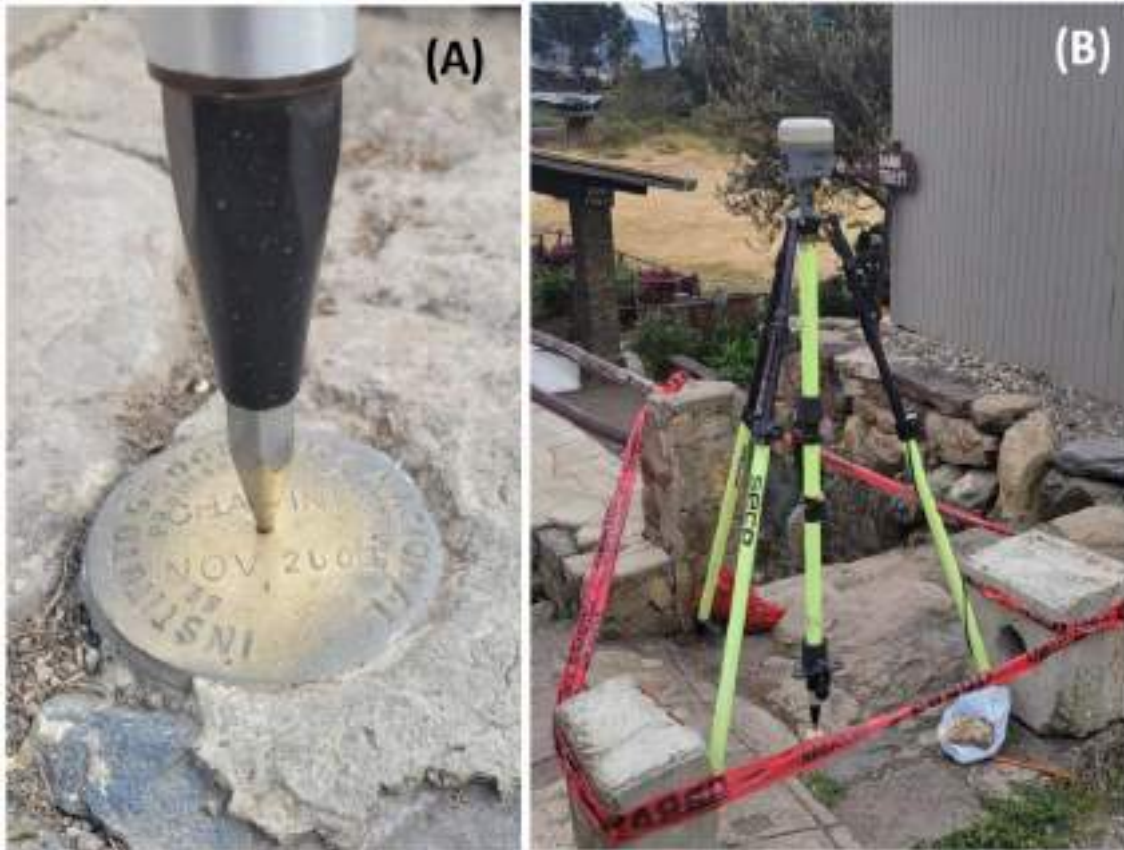


Figura 11.5. Estación base CHAV. (A) monumento existe usado como referencia; (B) Instalación de equipo.

Cuadro 11.1. Descripción monográfica de la base CHAV.

NOMBRE DEL PUNTO: Chavin	LOCALIDAD: Chavin de Huántar	ESTABLECIDA: Noviembre del 2001
UBICACIÓN: Distrito Chavin de Huántar, provincia Huari, departamento Ancash.	ZONA UTM. 18 L	ORDEN: B
LATITUD (S) WGS-84: 09°35'33.83878"		LONGITUD (W) WGS-84: 77°10'42.04930"
NORTE WGS 84: 8938857.1976 m		ESTE WGS_84: 260916.897 m
ALT. ORTOMÉTRICA: 3153.65	ALT. ELIPSOIDAL. 3180.363 m	ELEV. GEOIDAL: 26.72

La distribución de los 12 puntos de control se presenta en el mapa de la Figura 11.6, estos puntos se monumentaron mediante hitos de concreto con una varilla de fierro central (Figura 11.6A), la varilla es la marca referencial para las mediciones, las cuales se realizaron con un

receptor GNSS de la marca Trimble, modelo R10 (Figura 11.6B) en modo diferencial. Los datos de la primera campaña de medición, se procesaron con el software Trimble Business Center con Datum WGS84 en sistema de coordenadas UTM zona 18, se empleó a su vez el modelo geoidal global EGM08. Los resultados se presentan en la tabla 11.3, la precisión de las coordenadas horizontales va de 12 a 36 mm, mientras que las presiones verticales están entre 19 y 66 mm. La estación MC11 tiene el mayor error del set de datos, esto debido a la presencia de árboles en el punto.

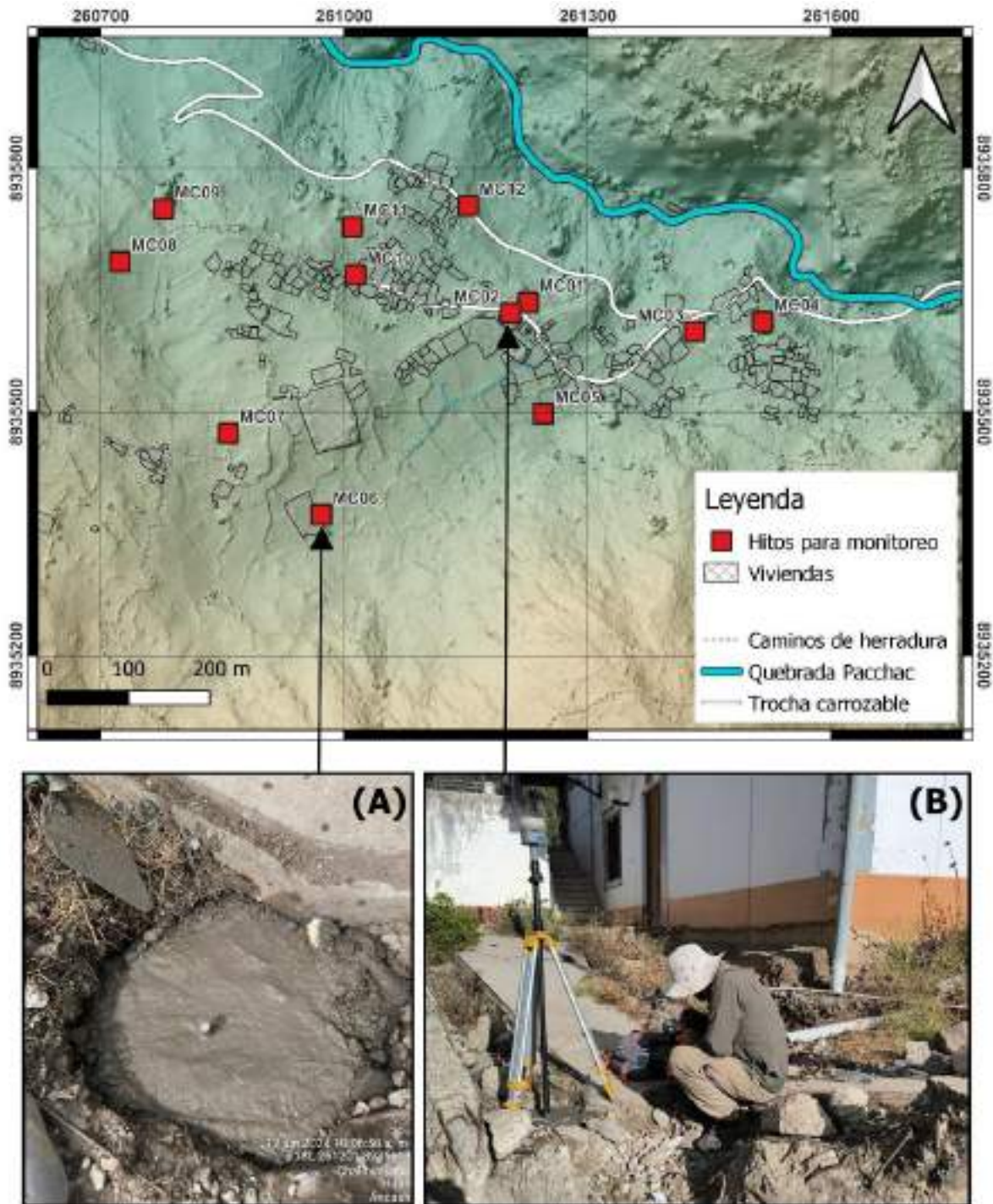


Figura 11.6. Emplazamiento de los 12 puntos de control en el deslizamiento de Challhuayaco.

Tabla 11.3. Coordenadas finales para cada punto de control y la precisión correspondiente.

Códigos	Este (m)	Prec. E (m)	Norte (m)	Prec. N (m)	Elevación (m)	Prec. V. (m)
MC01	261226.148	0.032	8935634.527	0.032	3410.776	0.066
MC02	261204.674	0.020	8935621.613	0.020	3420.124	0.040
MC03	261431.183	0.015	8935598.565	0.015	3406.263	0.025
MC04	261514.845	0.026	8935611.066	0.026	3408.415	0.040
MC05	261244.898	0.012	8935497.498	0.012	3427.900	0.019
MC06	260971.930	0.012	8935373.390	0.012	3495.464	0.020
MC07	260857.248	0.017	8935473.551	0.017	3500.024	0.034
MC08	260723.660	0.014	8935684.753	0.014	3451.744	0.029
MC09	260777.277	0.032	8935749.446	0.032	3410.773	0.062
MC10	261014.104	0.023	8935668.428	0.023	3421.603	0.042
MC11	261010.160	0.068	8935727.449	0.068	3412.192	0.073
MC12	261152.537	0.015	8935753.851	0.015	3373.450	0.023

11.1.3. Monitoreo fotogramétrico

El monitoreo fotogramétrico es una técnica utilizada para obtener información precisa sobre la forma, dimensiones y ubicación de objetos o superficies a partir de fotografías. Se toman múltiples imágenes desde diferentes ángulos utilizando drones. Luego, estas imágenes se procesan mediante software especializado que genera nube de puntos georreferenciados y modelos tridimensionales (3D) del área en estudio. La comparación de mediciones en diferentes épocas permite medir con precisión los desplazamientos, deformaciones, erosión, acumulación de materiales, o cualquier otro cambio que ocurra en el área monitoreada.

En el centro poblado Challhuyaco se realizó levantamiento fotogramétrico con un dron de la marca DJI modelo Matrice 300 RTK equipada con una cámara ZH20 de 4.5 mm, los parámetros del levantamiento fotogramétrico son:

Número de imágenes: 871	Imágenes alineadas: 871
Altitud media de vuelo: 262 m	Puntos de paso: 127,455
Resolución en terreno: 9.2 cm/pix	Proyecciones: 587,802
Área cubierta: 2.46 km ²	Error de reproyección: 0.71 pix

Los productos más importantes de este levantamiento son: una nube de puntos densa (Figura 11.7); un modelo de elevación de terreno (DEM, por sus siglas en inglés) y Ortomosaico de alta resolución.



Figura 11.7. Nube de puntos calculada a partir del levantamiento fotogramétrico.

9.1. Sistema de drenaje

Drenar las aguas superficiales y subterráneas que discurren sobre y por debajo de la ladera de Challhuayaco, y que han sido las causantes principales de la ocurrencia de deslizamientos de suelos.

Se deberá construir drenes franceses (zanjas rellenas con gravas) y/o interceptador en la parte alta y media de la ladera. La profundidad de excavación y la longitud serandeterminadas por los especialistas. El proceso constructivo consistirá de la apertura de la zanja, entibado de paredes, colocación de geotextil de gramadura, tubería y colocación de filtro. La descarga será hacia ambos flancos derecho e izquierda de la ladera, es decir hacia ambas quebradas existentes (Anexo1. Mapa 9).

Así también, se deberá construir 02 drenes en la parte baja de la ladera, a la altura de la vía de acceso hacia el centro poblado de Challhuayaco, que funcionara como una zanja de coronación y evitar que las aguas de lluvia superficiales de infiltren en los deslizamientos activos que limitan con la quebrada Pacchac. La longitud de estos drenajes superficiales es de aproximadamente 250 y 300

Tanto para los drenes y subdrenes las entregas serán en las quebradas que descienden de la parte alta.

9.1. Planes de reforestación

Se recomienda reforestar los terrenos afectados por los deslizamientos activos, específicamente la zona ubicada en la parte baja de la ladera, que colinda con la quebrada Pacchac. Esta reforestación será con árboles nativos (molle, sauco, tara, entre otros), a fin de proporcionar cohesión a los suelos y anclar el terreno hacia terrenos más profundos. La totalidad de área a reforestar recomendada es de 1.40 ha. Esta área ha sido considerada sin afectar las zonas de cultivo existentes.

La reforestación cumple con controlar las infiltraciones de aguas de lluvia, cohesiona y da consistencia al suelo por efecto de las raíces y el un agente secador del suelo, pues a través de las raíces, las plantas toman el agua que requieren para vivir. En la zona media - alta, se recomienda también reforestación con árboles nativo, una opción adicional pueden ser los eucaliptos, puesto que parte de la zona está cubierta por este tipo de árbol, cuya raíz al ser pivotante tiene un eje vertical primario rodeado de raíces secundarias, que cosen el suelo y anclan el terreno superficial a zonas más profundas. Por último, disminuyen el arrastre de partículas del suelo disminuyendo la susceptibilidad a la erosión.

10. CONCLUSIONES

En base al análisis de información geológica, geodinámica, hidrogeológica, geofísica y geotécnica realizado durante los trabajos de campo en el centro poblado Challhuayaco, emitimos las siguientes conclusiones:

1. Litológicamente, la ladera norte de Challhuayaco está compuesta, desde la cima, por areniscas cuarzosas intercaladas con limoarcillitas de la Formación Carhuaz, que suprayace a la Formación Santa, conformada por calizas, que, a su vez, se superpone a la Formación Chimú, conformada por areniscas cuarzosas de grano fino, con dirección N290° y buzamiento de 80°. En la margen opuesta de la quebrada Pacchac, se observan areniscas de granos gruesos intercaladas con lutitas y limoarcillitas de la Formación Oyón. Estas rocas están cubiertas por depósitos coluviales y coluvio -deluviales.
2. Ladera norte de Challhuayaco corresponde al flanco este de un sinclinal, cuyo núcleo es la Formación Carhuaz, con buzamientos de hasta 45° en sentido opuesto a la pendiente. Las formaciones Santa y Carhuaz presentan buzamientos de hasta 80°, también contrarios a la pendiente. Esta interpretación explica el grado de fracturamiento de las rocas y el cambio abrupto en los buzamientos entre formaciones.
3. El centro poblado de Challhuayaco se asienta sobre depósitos coluvio-deluviales provenientes de un antiguo deslizamiento, que muestra signos de reactivación con deslizamientos suspendidos y activos. El más reciente ocurrió el presente año, afectando parte del centro de salud, aproximadamente 150 m de vías asfaltadas, y generando grietas en viviendas aledañas al puesto de salud.
4. En la ladera norte de Challhuayaco, se identificaron seis rangos de pendientes. El 46% de la superficie presenta pendiente muy fuerte a escarpada (25°-45°), el 27% corresponde a terrenos muy escarpados (>45°) y el 18% a pendientes fuertes (15°-25°). Los rangos de pendiente llano (0°-1°), suave (1°-5°) y moderada (5°-15°) suman solo el 8.58%. Esto indica que la ladera norte de Challhuayaco es altamente susceptible a deslizamientos debido a la predominancia de pendientes escarpadas a muy escarpadas.
5. Geomorfológicamente, la ladera norte de Challhuayaco presenta un perfil cóncavo en la cima, característico de montañas de roca sedimentaria, y un perfil convexo en la parte baja, donde se encuentran depósitos de deslizamientos, coluvio-deluviales y coluviales, propios de movimientos en masa antiguos. Además, la ladera presenta erosión en surcos, lo que facilitan el escurrimiento del agua hacia la quebrada principal, saturando a su paso depósitos cuaternarios por la falta de impermeabilización.
6. Los movimientos en masa identificados en la ladera norte de Challhuayaco corresponden en su mayoría a deslizamientos (82.16%), seguidos por movimientos complejos, como deslizamiento-flujo (0.23%), y derrumbes (0.23%).
7. Los deslizamientos identificados incluyen deslizamientos inactivos relictos (03), que ocupan un área de 26.26 ha (31%) y cuyas coronas se ubican entre las cotas 4080 y 3800 m s.n.m. Estos fueron responsables de la configuración geomorfológica actual de la ladera norte de Challhuayaco. Además, se identificaron deslizamientos inactivos latentes (06), que abarcan 43.07 ha (52%) y tienen coronas entre las cotas 3500 y 3800 m s.n.m, correspondientes a movimientos secundarios de los deslizamientos relictos inactivos.

8. Se identificaron 07 deslizamientos suspendidos con evidencias de actividad, que se activan ocasionalmente durante períodos de lluvias. Estos abarcan un área de 9.88 ha (12%), sus coronas se ubican entre las cotas 3480 m s.n.m. y la base de la quebrada Pacchac. Estos deslizamientos fueron responsables de los daños en la posta de salud de Challhuayaco, 150 m de la vía asfaltada local, y agrietamientos en 10 viviendas.
9. Los deslizamientos activos (08) se localizan entre las cotas 3380 m s.n.m. y la base de la quebrada Pacchac, ocupando un área de 2.95 ha (3.5%). Presentan escarpas de hasta 5 m, con reactivaciones que generan escarpes secundarios más pequeños, de entre 2 y 3 m inferiores a la escarpa principal. La actividad de estos deslizamientos produce movimientos continuos que reactivan los deslizamientos suspendidos en la parte superior. En los frentes de avance de estos deslizamientos se han identificado 06 derrumbes, producto de la inestabilidad del pie de la ladera; además, de un movimiento complejo (deslizamiento-flujo suspendido).
10. La aplicación de métodos geofísicos como la tomografía eléctrica en 2D, permitió caracterizar la estructura interna de la zona de estudio a partir de los parámetros físicos geoelectrónicos, obtenidos en un estudio de campo superficial. Los valores altos representado >1000 Ohm, estarían relacionados con materiales de tipo suelo/rocas impermeables. Los superficiales (primeros 20-30 m) podrían relacionarse con suelos secos, principalmente de la parte central hacia el final de la sección. Los valores de resistividad eléctrica baja (<100 Ohm.m) representan materiales de tipo suelo/rocas permeables con contenido de agua. Aquellos con disposición de tipo capa, podría representar una zona de flujo debido a la pendiente.
11. Según los dos ensayos de MASW, con una longitud de casi 75 m de longitud y profundidad máxima de investigación de 30 m, nos indica que el terreno de Challhuayaco presenta suelo tipo C, es decir suelo muy denso y roca muy suave, según NEHRP. Tipo de suelo S2: Suelos intermedios, según la norma E.0.30.
12. En el área de estudio se identificaron quince fuentes de agua, que incluyen manantiales y puntos de control. Estas fuentes son utilizadas principalmente para riego y otras actividades, presentan variaciones en sus parámetros fisicoquímicos, con conductividades eléctricas de 72 a 691 $\mu\text{S}/\text{cm}$, siendo aguas superficiales las que tienen una menor conductividad eléctrica y subterráneas las que tienen una mayor conductividad eléctrica. Los manantiales situados en la parte baja del área de estudio presentan caudales de 0.05 a 0.51 l/s, los cuales aumentan durante la época de lluvias, este incremento en el caudal eleva la susceptibilidad de movimientos en masa e indica una dinámica hídrica activa en la margen izquierda de la quebrada Pacchac.
13. Los manantiales captados 498996-006 y 498996-013, y los cercanos a la Institución Educativa N°86383 (códigos 498996-005 y 498996-007), muestran surgencias naturales de agua subterránea, influenciadas por la gradiente hidráulica y la pendiente del terreno. Además, se han detectado áreas húmedas adyacentes a la quebrada Pacchac, lo que sugiere que las zonas son de dinámica hídrica activa.
14. El nivel freático fue estimado indirectamente mediante la integración de datos hidrogeológicos, geofísicos y geológico. Según la información recopilada, el nivel freático se encuentra somero en la parte media del cuerpo del deslizamiento suspendido. Mientras que, en la parte baja, cerca de la quebrada Pacchac y próximos a los derrumbes y deslizamientos activos, se observa descargas mínimas de agua subterránea.

15. El centro poblado Challhuayaco está situado sobre la unidad hidrogeológica caracterizada como acuífero poroso no consolidado. Los ensayos de infiltración realizados en estos depósitos establecieron valores con tasa de infiltración que varían de 0.01 m/d hasta 0.21 m/d, clasificándolas como permeabilidad baja a moderada, todos estos factores favorecen la ocurrencia de movimientos en masa.
16. El uso de agua de riego de cultivo de alfalfa influye en el aumento de humedad del suelo y en la saturación del subsuelo, lo que estaría contribuyendo en los problemas de inestabilidad del terreno de Challhuayaco. Además, el agua de riego puede contribuir a la recarga del acuífero, cuando este se infiltra en el suelo, puede alcanzar la capa freática, aumentando el nivel de agua en el acuífero. Podría presentarse en áreas cercanas a los manantiales captados o reservorios de agua con infraestructura inadecuada.
17. La causa principal de la desestabilización de la ladera norte de Challhuayaco, es el agua, producto de las precipitaciones pluviales, aunado la presencia de manantiales y sobresaturación de agua en el terreno por riego de cultivos, que vienen siendo regados constantemente por riego tecnificado (varias horas al día), ausencia de canales impermeabilizados. Así como también, la pendiente del terreno y parte de la erosión fluvial provocada por la quebrada Pacchac especialmente en periodos de crecidas.
18. Los resultados obtenidos a partir del análisis de estabilidad del talud realizado en el centro poblado Challhuayaco (perfil B), considerando los parámetros físicos del suelo SC-SM, la topografía, pendiente del terreno, nivel freático y tomando como base la sismicidad histórica e instrumental en la región, nos muestra valores de 1.2 y 0.74, tanto en condiciones estáticas y pseudo-estáticas respectivamente.
19. El análisis de susceptibilidad a movimientos en masa mediante el método heurístico revela seis rangos: muy bajo (1 ha, 0.41%), que corresponde principalmente al cauce de la quebrada Pacchac y bajo (29 ha, 11.9%), que coincide con zonas ligeramente inclinadas y pendientes moderadas en la cima de la ladera norte. La susceptibilidad media (105 ha, 43%) corresponde a relieves de montaña con pendientes fuertes, principalmente susceptibles a caídas de rocas. La susceptibilidad alta (76 ha, 31.2%) se presenta en pendientes moderadas, fuertes, muy fuertes y escarpadas, específicamente en el centro poblado de Challhuayaco, entre las cotas 3350 y 3500 m s.n.m. Por último, la susceptibilidad muy alta (32 ha, 13.17%) se encuentra entre las cotas 3700 m s.n.m. y el cauce de la quebrada Pacchac, englobando a la susceptibilidad media y a pendientes escarpadas y muy escarpadas, donde ya se han registrado movimientos en masa activos.
20. Luego de realizado todos los estudios multidisciplinarios en campo y gabinete, se concluye que el centro poblado Challhuayaco presenta susceptibilidad **Alta a Muy Alta** ante la formación de movimientos en masa (deslizamientos) que afectan viviendas, infraestructura, terrenos de cultivo y vías de acceso.

11. RECOMENDACIONES

A continuación, se brindan recomendaciones con la finalidad de reducir y/o mitigar el impacto de peligros asociados a deslizamientos y derrumbes en el centro poblado Challhuayaco.

Se recomienda que los diseños y ejecuciones de las obras señaladas líneas abajo, deben ser realizadas por personal especializado:

Considerando el asentamiento del centro de salud de Challhuayaco, daños en la vía locales y viviendas relacionado a deslizamientos rotacionales suspendidos y activos, es necesario tomar en consideración las siguientes recomendaciones, para mitigar el deslizamiento.

1. Reforestar la ladera norte de Challhuayaco, respetando las áreas privadas, priorizando zonas aledañas y de deslizamientos suspendidos y activos, utilizando árboles nativos (molle, sauco, tara, entre otros), a fin de proporcionar cohesión a los suelos. Además, sus raíces contribuyen a reducir la infiltración de aguas pluviales, lo que previene la reactivación de deslizamientos y protege la zona de la erosión hídrica.
2. Implementar un sistema de monitoreo continuo en la zona del deslizamiento, ubicada en la ladera norte de Challhuayaco. Este monitoreo puede llevarse a cabo mediante el uso de puntos de control GPS, análisis de imágenes satelitales (fotogrametría) y/o el empleo de instrumentación especializada. Para este último caso, se deben considerar las siguientes recomendaciones:
 - La zona de mayor monitoreo debe ser el área urbana de Challhuayaco desde la cota 3520 m s.n.m. (a la altura del complejo deportivo Challhuayaco), considerar por lo menos 12 puntos de control geodésico (ver tabla 11.3).
 - La mejor opción de transmisión de datos en tiempo casi real es mediante una red de módem y antenas WiFi hasta un centro de acopio ubicado en Chavín, desde donde se remitirá a la central de procesamiento mediante internet.
 - Los sensores a emplear son: sismómetros, videocámaras, receptores GNSS, Pluviómetros, Inclínómetros y Piezómetros.
 - Los sensores para su instalación deben contar con fuentes energéticas autónomas (paneles solares y baterías), mantenimiento y protección (caseta y cercos perimétricos).
 - Para el almacenamiento, procesamiento y visualización se requiere de infraestructura y equipos informáticos. Una vez instalados los diferentes sensores, se debe contar con un periodo de prueba para generar una base estadística suficiente para su calibración y la generación de algoritmos de predicción o detección de los parámetros.
3. Implementar drenes interceptores y/o dren francés en dirección este - oeste que sea captado por un dren principal en dirección sur-norte para que derive las aguas de escorrentía superficial hacia la quebrada Pacchac. El proceso constructivo consistirá de la apertura de la zanja, entibado de paredes, colocación de geotextil de gramadura, filtro, tubería HDPE y filtro.
4. En la parte baja de la ladera (margen izquierda de la quebrada Pacchac), implementar un muro de enrocado y/o muro de gaviones reemplazando los existentes en mal estado, a fin de impedir el efecto erosivo de la quebrada en temporada de crecidas y la pérdida de suelos. Para realizar este muro puede considerarse el material

heterométrico de roca (arenisca, caliza, cuarcita, etc.) que se encuentra en el cauce del río, los cuales presentan una alta resistencia a la compresión y abrasión.

Nota: La construcción de este muro de contención, no es con el objetivo de estabilizar la ladera, ya que la superficie de deslizamiento es profunda y cualquier tipo de estructura estará expuesta a deformaciones, ya que su cimentación será por encima del plano de deslizamiento.

5. Implementar un sistema de instrumentación geotécnica que permita un monitoreo efectivo de la ladera; mediante el uso de inclinómetros y extensómetros para medir la deformación de la tierra, así como piezómetros para monitorear el nivel y la presión del agua en el subsuelo. Esto permitirá detectar cambios críticos y responder de manera oportuna a cualquier indicio de inestabilidad, minimizando así la ocurrencia de deslizamientos. Además, el uso de tecnologías avanzadas, como sistemas de monitoreo remoto y análisis de datos en tiempo real, puede mejorar significativamente la eficacia del monitoreo geotécnico. La instalación de estos instrumentos debe ser realizada por especialistas con experiencia en geotecnia, asegurando que se lleve a cabo un seguimiento en tiempo real.

6. Una vez implementadas las medidas de mitigación propuestas en este informe, o cualquier otra medida que se derive de estudios posteriores, será imprescindible mantener un monitoreo constante de la actividad de los deslizamientos. Si los deslizamientos persisten o los vectores de movimiento muestran un incremento significativo, se debe evaluar la posibilidad de reubicar el centro poblado de Challhuayaco para garantizar la seguridad de sus habitantes.

.....
Ing. GUISELA CHOQUENAIRA GARATE
Especialista en movimientos en masa
INGEMMET

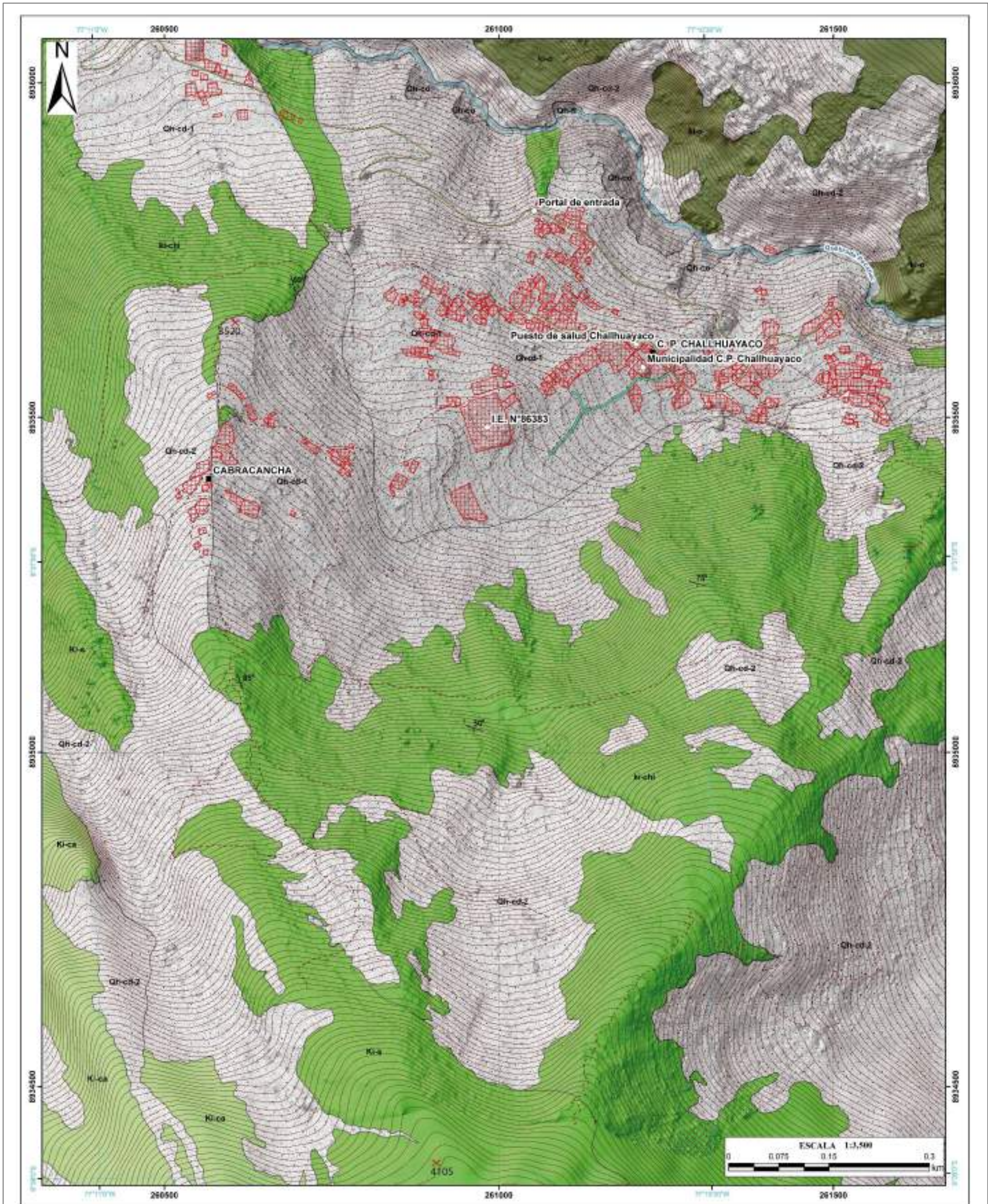
.....
Ing. GILBERTO ZAVALA CARRIÓN
Director (e)
Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico
INGEMMET

12. BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA

- Azañón, 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.
- CE.020 Suelos y Taludes DS N° 017-2012.
- Choquenaira, G., Núñez, S., Fidel, L., Núñez, M., & Ccorimanya, 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.
- Gonzales, L., Nestares, E., Ferrer, M., & Andreotti, P. (2002). *Ingeniería geológica*. Universidad Complutense de Madrid, 738p.
- 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.
- Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico (2010). Evaluación de riesgo geológico en la microcuenca Pucauran-Atupa, distrito Jangas, provincia de Huaraz, departamento Ancash. Lima: Ingemmet, Informe Técnico, 389 p.
- 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.
- Norma E.060 Concreto Armado.
- 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.
- Puy Santín, A. J. (2005). Influencia de la temperatura en el límite líquido para suelos con diferentes índices de plasticidad. Barcelona: Universidad politécnica de Cataluña.

- Redpath, B. (1973). Technical Reporte E-73-4 Seismic refraction exploration for engineering site investigation. U.S Army engineer waterways experiment stationexplosive excavation research laboratory.
- Suarez, J. (2009). Deslizamientos: Análisis geotécnico, volumen I. Universidad Industrial de Santander UIS.
- Villota, H. (2005). Geomorfología aplicada a levantamientos edafológicos y zonificación física de tierras. Instituto Geográfico Agustín Cadazzi.
- Zavala, B.; Valderrama, P.; Carlotto, V.; Núñez, S.; Vílchez, M.; Medina, L.; Sánchez, M.; Cotrina, G.; Vargas, V.; Luque, G.; Barrantes, R.; Olarte, Y.; Cacya, L.; Abanto, S. & Guerrero, C. (2007). Movimientos en masa en la cuenca del río Huachecsa, Chavín de Huántar. Lima: Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico, Informe Técnico A6391, 42 p.
- Zlotnik, V. (1994). Interpretation of slug and packer tests in anisotropic aquifers, Ground Water, vol. 32, no. 5, pp. 761-766.

ANEXO 1: MAPAS TEMÁTICOS



LEYENDA GEOLÓGICA

Era	Sist	Serie	Unidad Geológica	Abrev	COLOR
CENOZOICO	CUATERNARIO	HOLOCENO	Depósito coluvial	Qh-co	[Color]
			Depósito fluvial	Qh-f	[Color]
			Depósito coluvio-deluvial	Qh-cd-2 Qh-cd-1	[Color]
Mesozoico	CRETÁCICO	INFERIOR	Grupo Goyllariqui sp	Fm. Carhuaz	Ki-ca
			Fm. Santa	Ki-e	
			Fm. Chimú	Ki-chi	
			Fm. Oyón	Ki-o	

SIMBOLOGIA

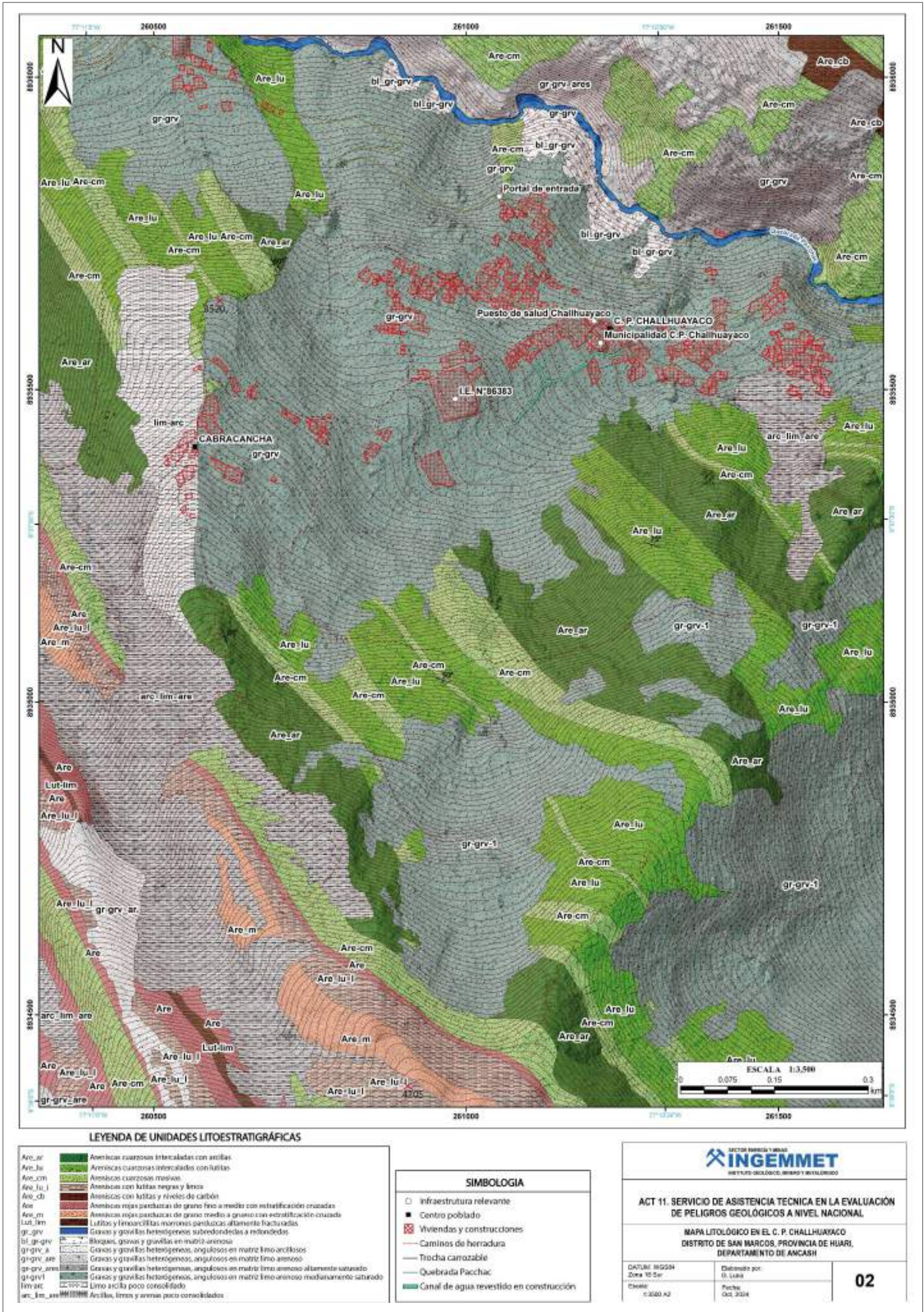
- Infraestructura relevante
- Centro poblado
- ▣ Viviendas y construcciones
- Caminos de herradura
- Trocha carrozable
- Quebrada Pacchac
- Canal de agua revestido en construcción
- ✓ Rambo y buzamiento de estructuras

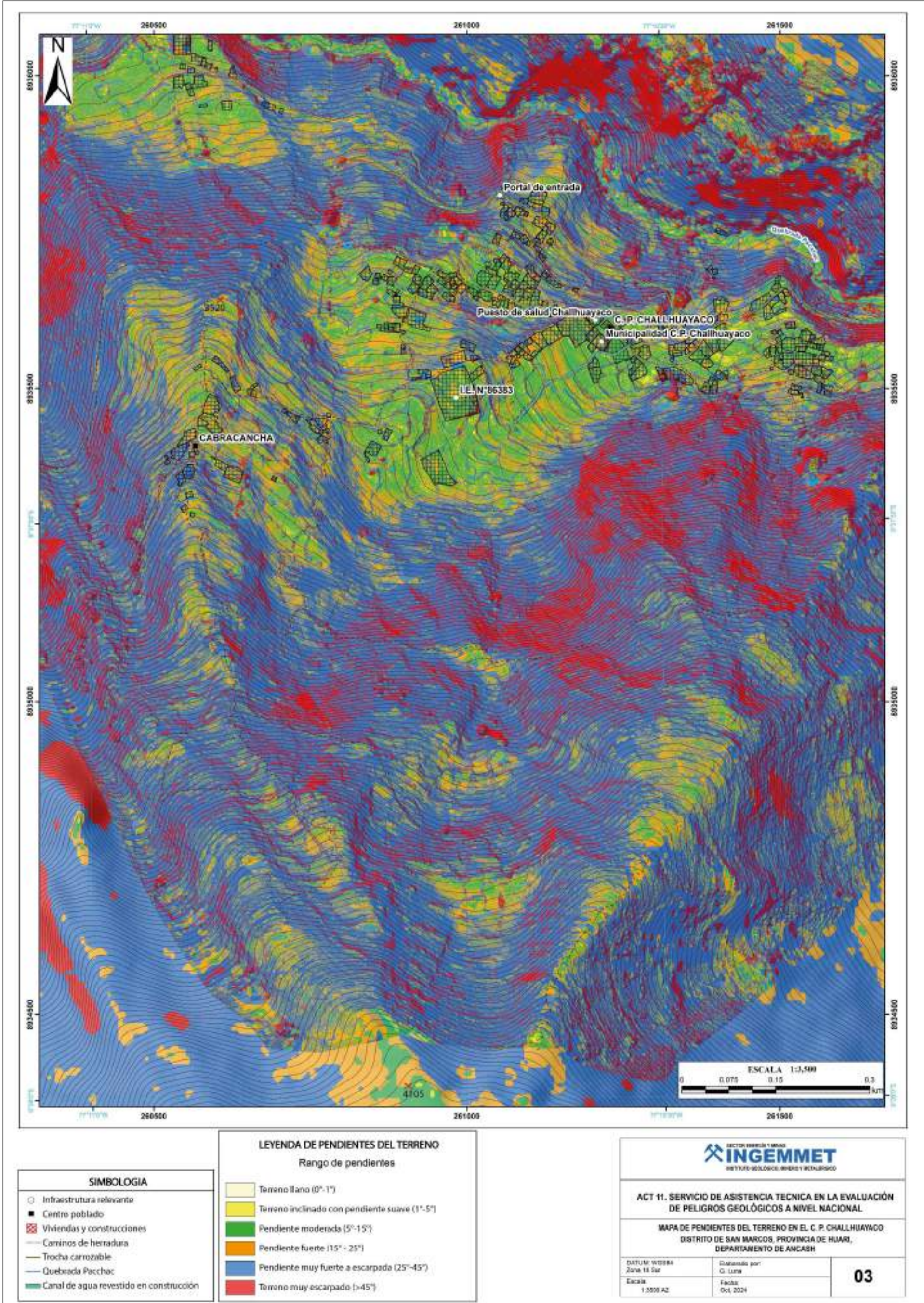
ACT 11. SERVICIO DE ASISTENCIA TÉCNICA EN LA EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS A NIVEL NACIONAL

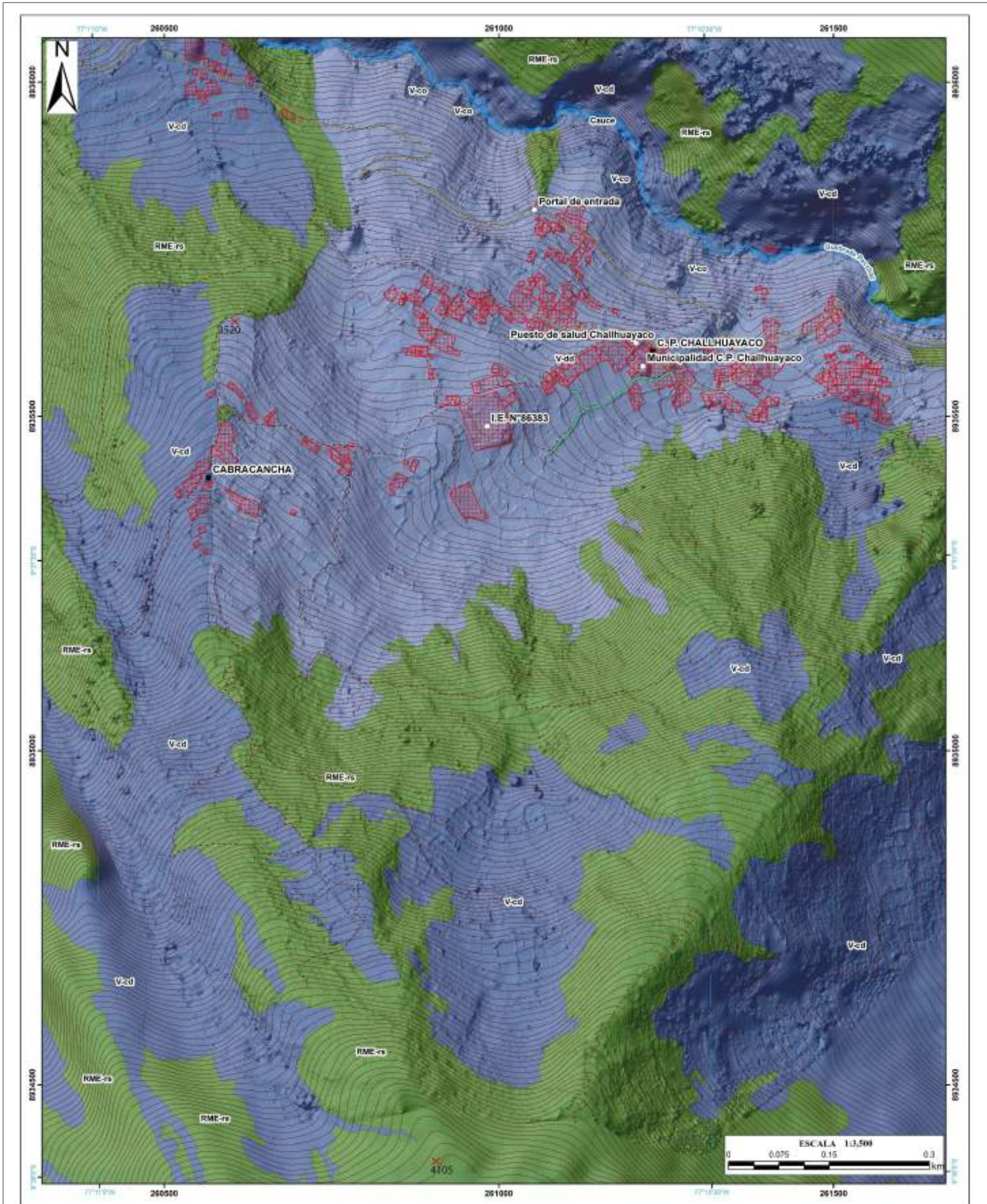
MAPA GEOLÓGICO EN EL C. P. CHALLHUAYACO
DISTRITO DE SAN MARCOS, PROVINCIA DE HUARI,
DEPARTAMENTO DE ANCASH

DATUM: WGS84
Zona: 18 Sur
Escala: 1:3500 A2

Elaborado por:
C. Luna
Fecha:
Oct. 2024







LEYENDA GEOMORFOLÓGICA

UNIDAD	SUBUNIDAD GEOMORFOLÓGICA
	Cauce
MONTAÑA	RME-rs Montaña estructural en roca sedimentaria
VERTIENTE	V-d Vertiente coluvial
	V-cd Vertiente coluvio-deluvial
	V-dd Vertiente con depósito de deslizamiento

SIMBOLOGIA

○	Infraestructura relevante
■	Centro poblado
▣	Viviendas y construcciones
—	Caminos de herradura
—	Trocha cantozable
—	Quebrada Pacchac
—	Canal de agua revestido en construcción

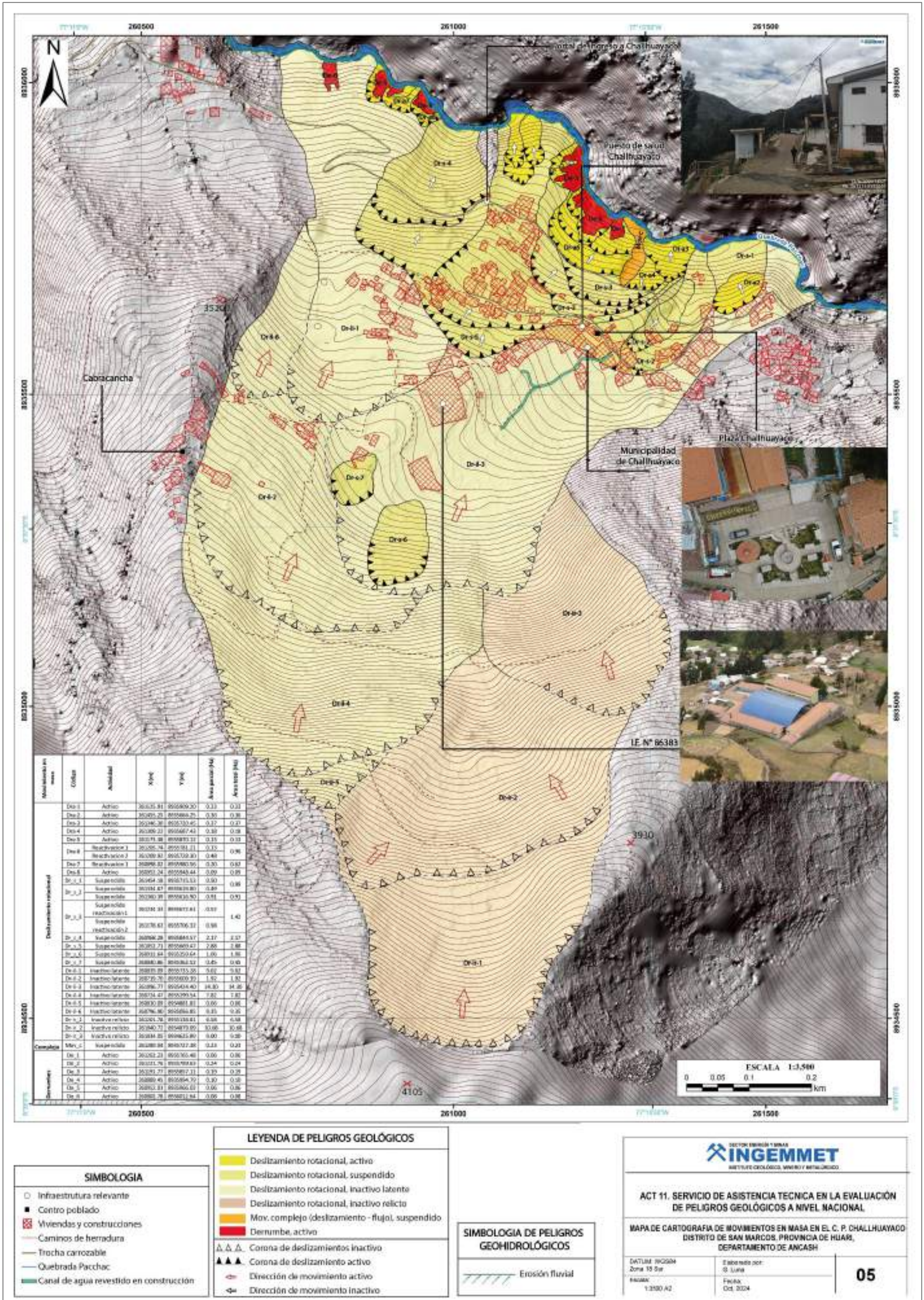
ACT 11. SERVICIO DE ASISTENCIA TÉCNICA EN LA EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS A NIVEL NACIONAL

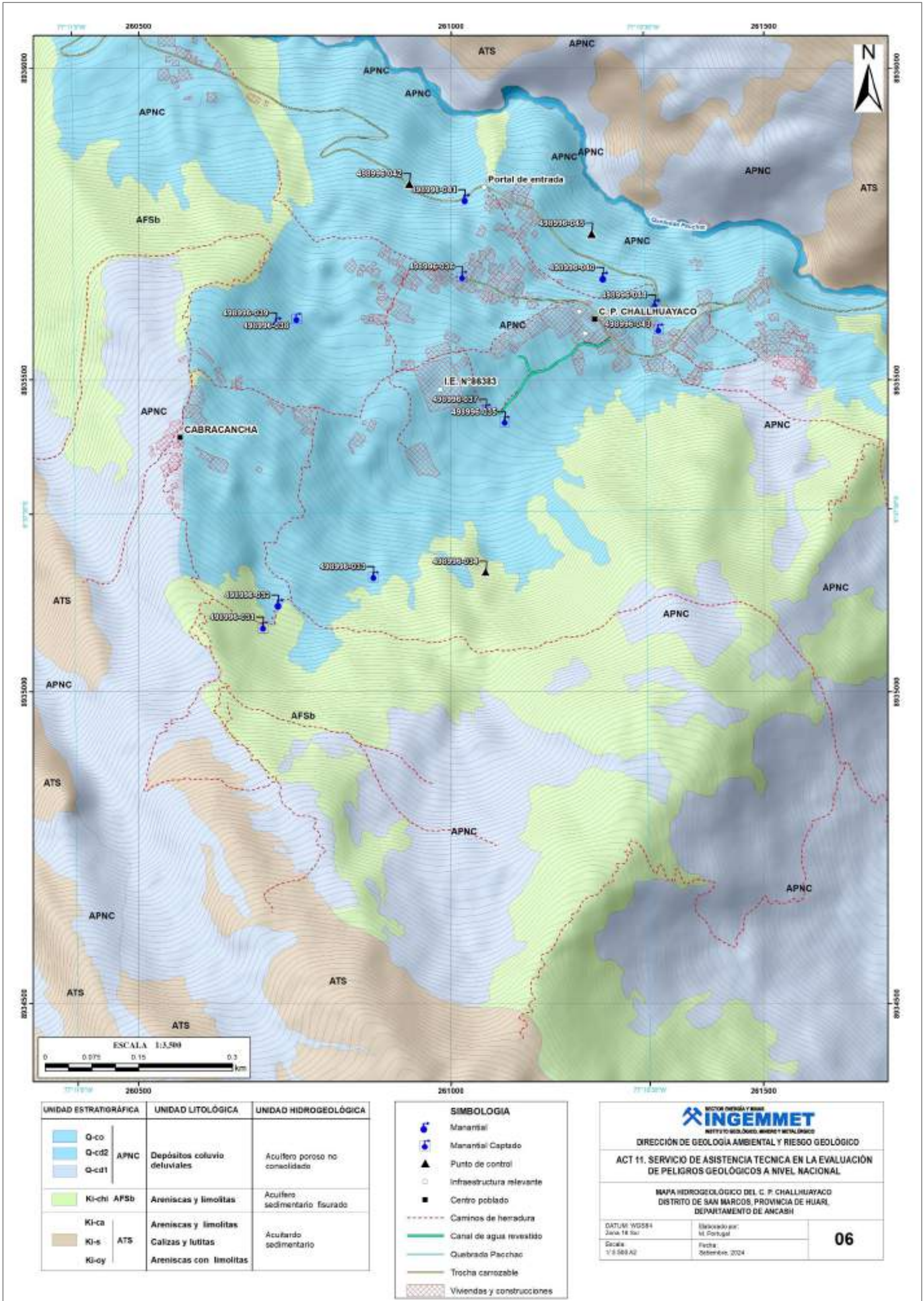
MAPA GEOMORFOLÓGICO EN EL C. P. CHALLHUAYACO
 DISTRITO DE SAN MARCOS, PROVINCIA DE HUARL, DEPARTAMENTO DE ANCASH

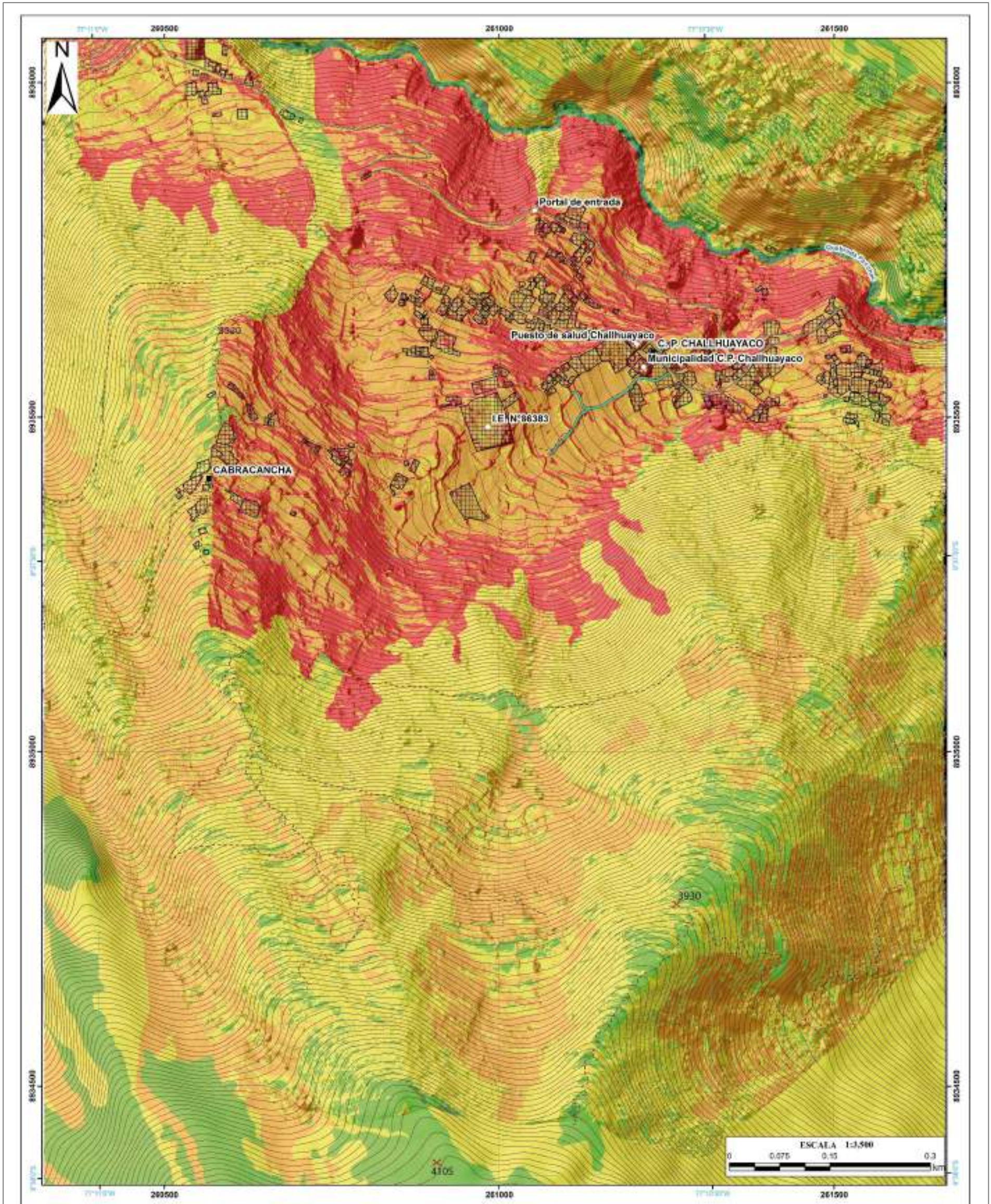
DATUM: WGS84
 Zona: 18 Sur
 Escala: 1:3500 A2

Elaborado por:
 G. Luna
 Fecha:
 Oct. 2024

04



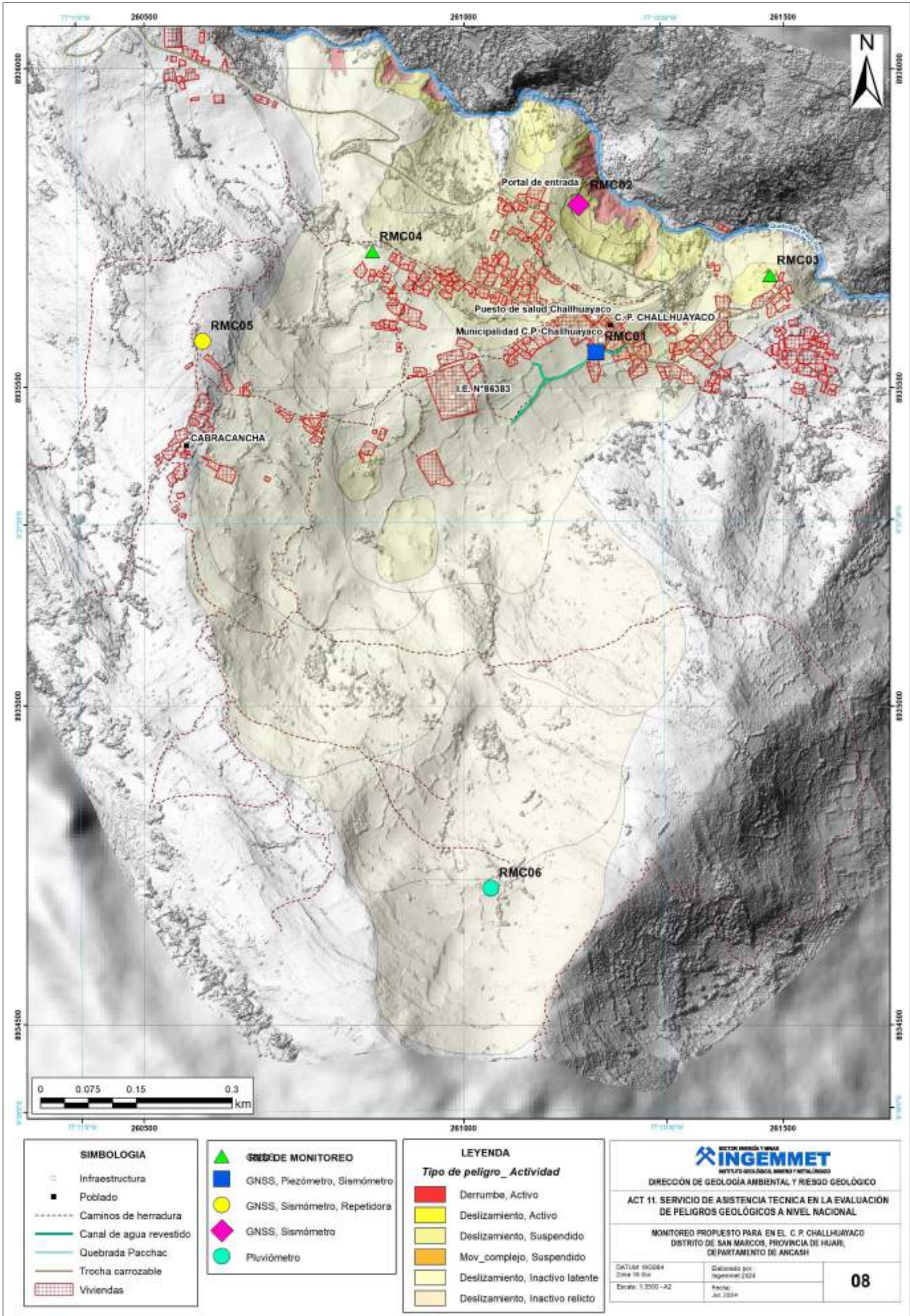


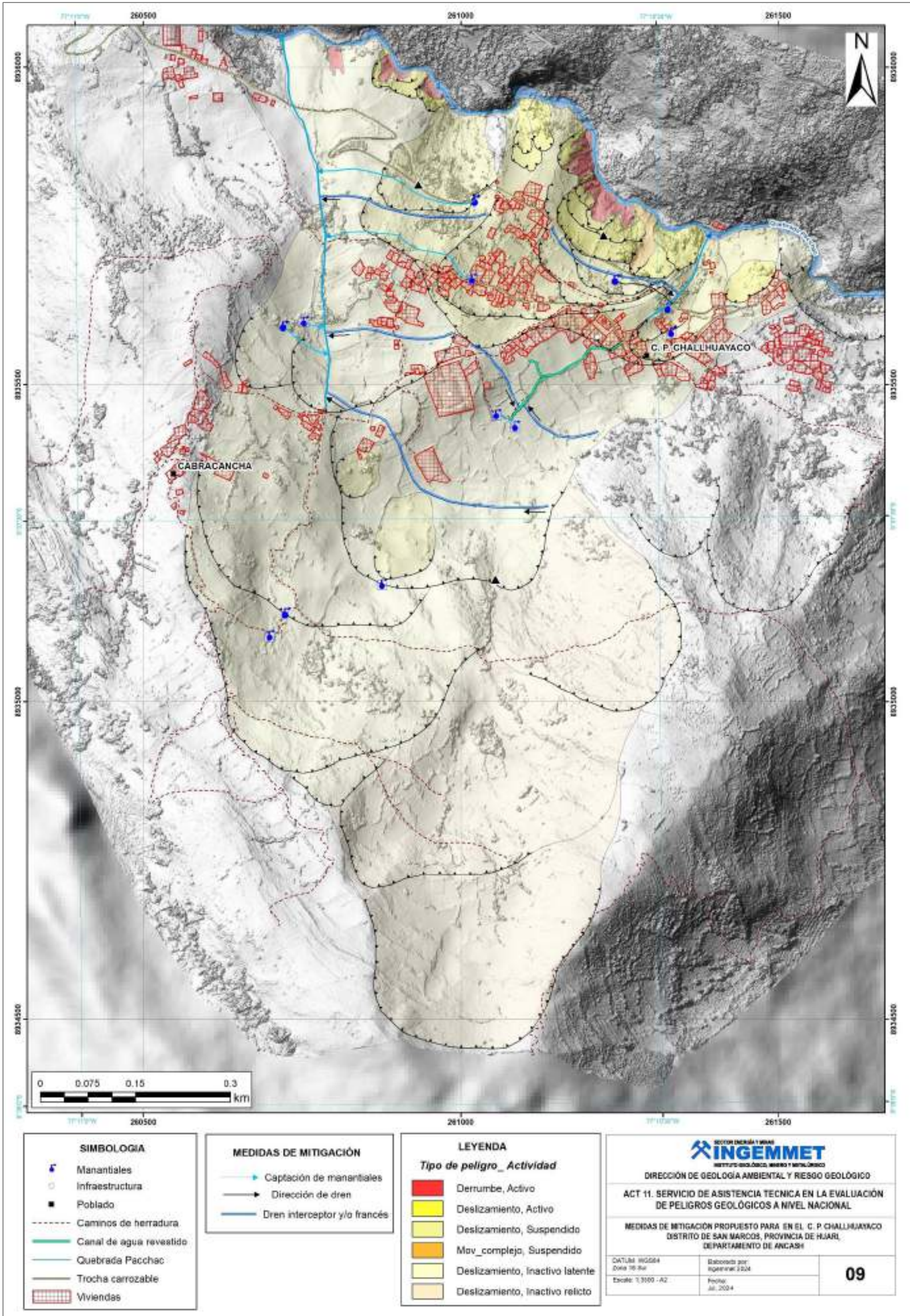


SIMBOLOGIA	
	Infraestructura relevante
	Centro poblado
	Viviendas y construcciones
	Caminos de herradura
	Trocha carrozable
	Quebrada Pacchac
	Canal de agua revestido en construcción

LEYENDA DE SUSCEPTIBILIDAD A MOVIMIENTOS EN MASA	
	Muy Alto
	Alto
	Medio
	Bajo
	Muy bajo

ACT 11. SERVICIO DE ASISTENCIA TECNICA EN LA EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS A NIVEL NACIONAL	
MAPA DE SUSCEPTIBILIDAD A MOVIMIENTOS EN MASA EN EL C. P. CHALHUAYACO DISTRITO DE SAN MARCOS, PROVINCIA DE HUAR, DEPARTAMENTO DE ANCASH	
DATUM: WGS84 Zona: 18 Sur Escala: 1:3500 AJ	Elaborado por: G. Luna Fecha: 04. 2024
07	





ANEXO 2: PANEL FOTOGRÁFICO



Fotografía 1. Vista de depósito coluvio deluvial 1, sobre el cual se han asentado viviendas y se ha construido infraestructura.



Fotografía 2. Vista del pie de la ladera de Challhuayaco, donde se observa reactivaciones en forma de derrumbes y deslizamientos.



Fotografía 3. Vista de agrietamientos en el depósito coluvio deluvial del centro poblado Challhuayaco.



Fotografía 4. Afloramiento rocoso, correspondiente a la Formación Chimú, localizada en la parte baja de Challhuayaco.



Fotografía 5. Surgencia de agua en la ladera del centro poblado Challhuayaco.



Fotografía 6. Vista del riego de cultivos de alfalfa sobre el depósito coluvio deluvial de Challhuayaco.



Fotografía 7. Vista de las calles de Challhuayaco deformadas, producto del asentamiento del terreno.








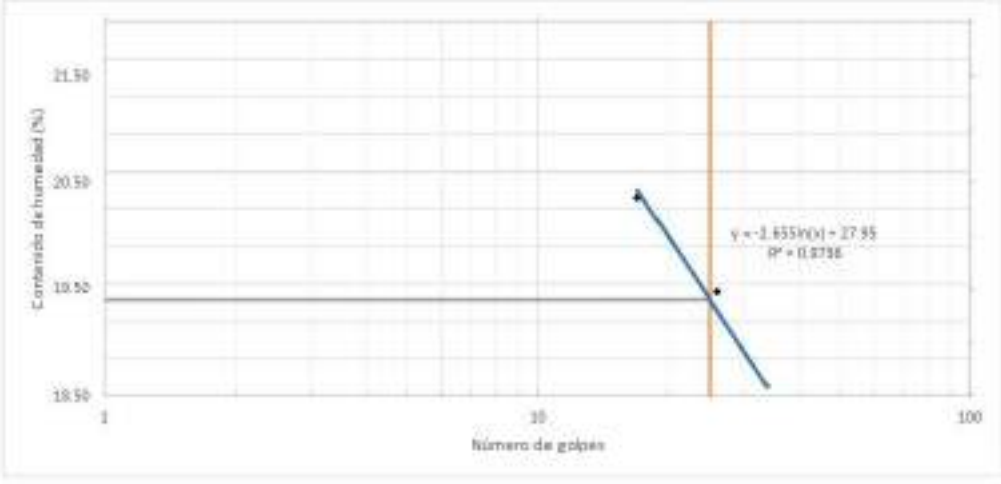


Fotografía 8. Agrietamientos en las veredas de las calles de Challhuayaco.



Figura 1. Vista de agrietamientos en las paredes de las viviendas de Challhuayaco.

ANEXO: RESULTADOS DE ENSAYOS DE MECÁNICA DE SUELOS




	ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO MTC E107-2000 / ASTM D - 422	CÓDIGO TC-1			
PROYECTO: SERVIDIO DE ANÁLISIS DE SUELOS RECOLECTADOS - TRABAJOS DE CAMPO EN EL CASERO MUSHUY Y CENTRO POSADO, CHALUPAYACO	MOEDIFICACION: Hidrogeológico, Minero y Metalúrgico	PROYECTANTE: E.W.U.F. CLIENTE: L.D.A. REALIZADO POR: L.D.A. FECHA: 1/07/2018			
UBICACION: Chalupayaco	PROYECTO: 8995509M	FECHA: 18/05/2018			
TITULO: TC-1					
FRACCIÓN GRUESA					
Peso Total (gr): 17854.80					
Malla	Abertura (mm)	Peso Retenido (gr)	% Parcial Retenido (gr)	% ACUMULADO	
3"	75	0.0	0.00	0.00	100.00
2"	50	0.0	0.00	0.00	100.00
1 1/2"	37.5	0.0	0.00	0.00	100.00
1"	25	46.1	0.26	0.26	99.74
3/4"	19	342.3	1.92	2.19	97.81
1/2"	12.5	1262.6	7.07	8.49	90.57
3/8"	9.5	852.9	4.78	14.21	85.79
N°4	0.75	1210.1	6.80	31.05	75.65
			100.00	100.00	0.00
Fracción Gruesa (%) = 14.35			Fracción fina (%) = 75.65		
FRACCIÓN FINA					
Malla	Abertura (mm)	Peso Retenido (gr)	% Parcial Retenido (gr)	% ACUMULADO	
N° 10	2	844.2	4.89	29.24	70.76
N° 20	0.85	1235.9	7.35	36.40	63.60
N° 30	0.60	472.7	2.74	39.14	60.86
N° 40	0.43	337.7	1.96	41.10	58.90
N° 60	0.25	452.5	2.62	43.72	56.28
N° 100	0.15	1310.1	7.59	48.69	51.31
N° 200	0.075	864.4	5.01	53.70	46.30
TOTAL		7989.3	46.30	100.00	0.00
Fracción Gruesa (%) = 14.35			Fracción fina (%) = 75.65		
CONTEUDO DE HUMEDAD DE SUELOS MTC E 108 - 2000					
N° Del Recipiente	-	FM-13			
Peso Del Recipiente (gr)	-	440			
Peso Del Recipiente + Suelo Húmedo (gr)	-	2859			
Peso Del Recipiente + Suelo Seco (gr)	-	2739			
Peso Del Agua Contenido (gr)	-	120			
Peso Del Suelo Seco (gr)	-	2799			
Contenido De Humedad (%)	-	6.23			
Contenido De Humedad (%) =		6.23			
D ₁₀	-				
D ₃₀	-				
D ₆₀	-				
Coeficiente de Uniformidad (Cu)	-				
Coeficiente de Curvatura (Cc)	-				
Límite líquido (LL)	-	19.4			
Límite plástico (LP)	-	13.1			
Índice de plasticidad (IP) =		6.3			
CLASIFICACIÓN SUCS					
Arena arcillosa-limosa con grava SC-SM					
CLASIFICACIÓN AASHTO					
A-4 Suelo limoso					
CURVA GRANULOMÉTRICA					
					
NOTA: Presencia de materia orgánica. No presenta coeficiente de curvatura ni uniformidad, por la falta de gradación del suelo, la muestra presenta mayor material cohesivo.					
REVISÓ WILSON MATOS ESPINOZA			APROBÓ WILSON MATOS MALCAZ		
					
INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO			COPIA CONTROLADA		

 INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO		DETERMINACION DE LIMITES DE CONSISTENCIA		CÓDIGO TC-1
PROYECTO:	SERVICIO DE ANÁLISIS DE SUELOS RECOLECTADOS - TRABAJOS DE CAMPO EN EL CASERIO MILLHUISH Y CENTRO POBLADO CHALLHUAYACO	PROF (m):	4.00 m.	
SOLICITANTE:	Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico	RESP:	E.W.M.P.	
MATERIA:	suelo inalterado, con materia orgánica	TIPO:	L.D.A.	
UBICACIÓN:	Challhuayaco 8005800N 261435E	REALIZADO POR:	L.D.A.	
CALCULA:	TC-1	FECHA:	9/07/2024	
MUESTRA:	TC-1			
LÍMITE PLÁSTICO				
MTC E 111 - 2000 / ASTM D - 4318				
	CP-11	CP-13		PROMEDIO
N° de recipiente				
Peso de recipiente (g)	8.50	8.26		
Peso de recipiente+suelo húmedo (g)	18.55	17.78		
Peso de recipiente+suelo seco (g)	17.37	16.70		
Peso de agua (g)	1.18	1.09		
Peso de suelo seco (g)	8.86	8.44		
Contenido de humedad (%)	13.33	12.86		13.09
LÍMITE LÍQUIDO				
MTC E 110 - 2000 / ASTM D - 4318				
	TP-07	TP-11	TP-17	
N° de recipiente				
Peso de recipiente (g)	3.10	3.22	3.25	
Peso de recipiente+suelo húmedo (g)	19.33	21.02	24.74	
Peso de recipiente+suelo seco (g)	16.59	18.12	21.39	
Peso de agua (g)	2.75	2.90	3.35	
Peso de suelo seco (g)	13.49	14.90	18.14	
Contenido de humedad (%)	20.36	19.48	18.48	
Número de golpes	17	26	34	
LÍMITE LÍQUIDO		19.4		
LÍMITE PLÁSTICO		13.1		
ÍNDICE PLÁSTICO		6.3		
				
REVISÓ		APROBÓ		
WILBE MATOS ENRIQUEZ		ENRIQUE MATOS PAJCAR		
				
				COPIA CONTROLADA

		ENSAYO DE PESO UNITARIO (METODO DE LA PARAFINA)		CODIGO TC-1
PROYECTO:	SERVICIO DE ANÁLISIS DE SUELOS RECOLECTADOS - TRABAJOS DE CAMPO EN EL CASERIO MILLHUISH Y CENTRO POBLADO CHALLHUAYACO	PROF. Nº:	4.00 m.	
SOLICITANTE:	Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico	RES:	E.W.M.P.	
AMOSTRA:	Suelo Inalterado, con Materia orgánica	TECNICO:	I.D.A	
UBICACIÓN:	Challhuayaco	REGLANDO POR:	I.D.A.	
	893000N 261430E			
CUOTA:	TC-1	FECHA:	3/07/2024	
ANOTAR:	TC-1			

	I	II	II	PROMEDIO
PESO DE LA MUESTRA AL AIRE[gr]	251.03	—	—	
PESO DE LA MUESTRA PARAFINADA AL AIRE[gr]	263.31	—	—	
PESO DE LA MUESTRA PARAFINADA SUMERGIDA [gr]	110.31	—	—	
PESO ESPECIFICO RELATIVO DE LA PARAFINA[gr/cm ³]	0.88	—	—	
PESO DE LA PARAFINA [gr]	12.28	—	—	
VOLUMEN TOTAL DEL SUELO (cm ³)	153.00	—	—	
VOLUMEN DEL SUELO (cm ³)	139.05	—	—	
DENSIDAD DEL SUELO [gr/cm ³]	1.81	—	—	1.81

REVISO	APROBO	
WILBE MATOS ENRIQUEZ	ENRIQUE MATOS PALICAR	
		COPIA CONTROLADA

		ANÁLISIS QUÍMICO		CODIGO TC-1																						
PROYECTO:	SERVICIO DE ANÁLISIS DE SUELOS RECOLECTADOS - TRABAJOS DE CAMPO EN EL CASERIO MILLHUISH Y CENTRO POBLADO CHALLHUAYACO	PROFUND:	4,00 m	ALSA:	E.W.M.P.																					
SOLICITANTE:	Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico	TECNICO:	L.D.A.	REALIZADO POR:	L.D.A.																					
MATERIAL:	suelo inalterado, con materia orgánica	FECHA:	3/07/2024																							
UBICACIÓN:	Challhuayaco 893660N 261435E																									
CALEFATA:	TC-1																									
MUESTRA:	TC-1																									
MÉTODO DE ENSAYO NORMALIZADO PARA LA DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE SALES SOLUBLES EN SUELOS Y AGUA SUBTERRÁNEA NTP 339.152																										
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 60%;">DESCRIPCIÓN</th> <th style="width: 20%;">DATOS</th> <th style="width: 20%;"></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Peso seco inicial, m1 (g)</td> <td>72.6851</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Peso seco final, m2 (g)</td> <td>72.6984</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Relación de mezcla suelo-agua, D (mL/g)</td> <td>3</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Volumen del extracto acuoso evaporado, E (mL)</td> <td>50</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Sales solubles totales, SS (ppm, mg/kg)</td> <td>798</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Sales solubles totales, SS (%)</td> <td>0.0798</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>						DESCRIPCIÓN	DATOS		Peso seco inicial, m1 (g)	72.6851		Peso seco final, m2 (g)	72.6984		Relación de mezcla suelo-agua, D (mL/g)	3		Volumen del extracto acuoso evaporado, E (mL)	50		Sales solubles totales, SS (ppm, mg/kg)	798		Sales solubles totales, SS (%)	0.0798	
DESCRIPCIÓN	DATOS																									
Peso seco inicial, m1 (g)	72.6851																									
Peso seco final, m2 (g)	72.6984																									
Relación de mezcla suelo-agua, D (mL/g)	3																									
Volumen del extracto acuoso evaporado, E (mL)	50																									
Sales solubles totales, SS (ppm, mg/kg)	798																									
Sales solubles totales, SS (%)	0.0798																									
MÉTODO DE ENSAYO NORMALIZADO PARA LA DETERMINACIÓN DE CLORUROS SOLUBLES EN SUELOS Y AGUA SUBTERRÁNEA NTP 339.177																										
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 60%;">DESCRIPCIÓN</th> <th style="width: 20%;">DATOS</th> <th style="width: 20%;"></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>AgNO3 utilizado (mL)</td> <td>0.8</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Blanco del indicador, B (mL)</td> <td>0.2</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Título, T (ppm Cl / mL AgNO3)</td> <td>0.086</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Peso de muestra titulada, M (g)</td> <td>5</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Cloruros solubles (ppm, mg/kg)</td> <td>1.18</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Cloruros solubles (%)</td> <td>0.0118</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>						DESCRIPCIÓN	DATOS		AgNO3 utilizado (mL)	0.8		Blanco del indicador, B (mL)	0.2		Título, T (ppm Cl / mL AgNO3)	0.086		Peso de muestra titulada, M (g)	5		Cloruros solubles (ppm, mg/kg)	1.18		Cloruros solubles (%)	0.0118	
DESCRIPCIÓN	DATOS																									
AgNO3 utilizado (mL)	0.8																									
Blanco del indicador, B (mL)	0.2																									
Título, T (ppm Cl / mL AgNO3)	0.086																									
Peso de muestra titulada, M (g)	5																									
Cloruros solubles (ppm, mg/kg)	1.18																									
Cloruros solubles (%)	0.0118																									
MÉTODO DE ENSAYO NORMALIZADO PARA LA DETERMINACIÓN DE SULFATOS SOLUBLES EN SUELOS Y AGUA SUBTERRÁNEA NTP 339.178																										
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 60%;">DESCRIPCIÓN</th> <th style="width: 20%;">DATOS</th> <th style="width: 20%;"></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Gramos de BaSO4, W (g)</td> <td>0.0072</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Gramos de muestra utilizada, M (g)</td> <td>10</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Sulfatos solubles (ppm, mg/kg)</td> <td>296</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Sulfatos solubles (%)</td> <td>0.02960</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>						DESCRIPCIÓN	DATOS		Gramos de BaSO4, W (g)	0.0072		Gramos de muestra utilizada, M (g)	10		Sulfatos solubles (ppm, mg/kg)	296		Sulfatos solubles (%)	0.02960							
DESCRIPCIÓN	DATOS																									
Gramos de BaSO4, W (g)	0.0072																									
Gramos de muestra utilizada, M (g)	10																									
Sulfatos solubles (ppm, mg/kg)	296																									
Sulfatos solubles (%)	0.02960																									
REVISÓ			APROBÓ																							
WILSE MATOS ENRIQUEZ  WILSE S. MATOS ENRIQUEZ Gerente General GEOCORP SERVICIOS S.A.S.			ENRIQUE MATOS PAUCAR 			COPIA CONTROLADA																				


	ENSAYO DE COMPRESION TRIAXIAL CU		CODIGO
	ASTM D4767		TC-1
PROYECTO:	SERVICIO DE ANÁLISIS DE SUELOS RECOLECTADOS - TRABAJOS DE CAMPO EN EL CASERIO MILLHUISH Y CENTRO POBLADO CHALLHUAYACO		PROF. (m) 4.00 m.
ORGANIZANTE:	Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico		RSA: E.W.M.P.
MATERIAL:	suelo inalterado, con materia orgánica		TECNICO: L.O.A
UBICACIÓN:	Chalhuyaco	8935609N 261435E	REALIZADO POR: L.O.A
CALCATA:	TC-1		FECHA: 3/07/2024
MUESTRA:	TC-1		

ESPECIMEN N° 1

DATOS DEL ESPECIMEN			
Condiciones		Inicial	Final
Diámetro	(mm)	71.5	69.3
Altura	(mm)	142.2	118.2
Área	(mm ²)	4018.5	3770.2
Densidad Seca	(g/cm ³)	1.74	2.4
Contenido de Humedad	(%)	5.7	6.7
Grado de Saturación	(%)	26.8	98.9

DATOS DE ENSAYO		
Parámetro "B"	(%)	90.0
Hc	(mm)	142.0
Ac	(mm ²)	3133.2
Velocidad de Carga	(mm/min)	0.5
Presión de celda	(Kpa)	380.0
Contra Presión	(Kpa)	330.0
Esf.Efectivo Inicial (σ'_3)	(Kpa)	50.0

Deform. (%)	ESF. DES. (Kpa)	P. P. (Kpa)	σ_3 (Kpa)	σ_1 (Kpa)	σ'_3 (Kpa)	σ'_1 (Kpa)	p (Kpa)	q (Kpa)	p' (Kpa)	q' (Kpa)
0.00	0.0	0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	0.0	50.0	0.0
0.18	20.6	0.81	50.0	70.6	49.2	69.8	60.3	10.3	59.5	10.3
0.35	42.9	1.44	50.0	92.9	48.6	91.5	71.5	21.5	70.0	21.5
0.53	58.3	1.8	50.0	108.3	48.2	106.5	79.1	29.1	77.3	29.1
0.70	63.3	2.925	50.0	113.3	47.1	110.4	81.6	31.6	78.7	31.6
0.88	68.3	3.42	50.0	118.3	46.6	114.9	84.2	34.2	80.7	34.2
1.06	76.7	3.87	50.0	126.7	46.1	122.8	88.4	38.4	84.5	38.4
1.23	90.2	4.5	50.0	140.2	45.5	135.7	95.1	45.1	90.6	45.1
1.41	98.5	5.175	50.0	148.5	44.8	143.3	99.3	49.3	94.1	49.3
1.76	101.5	5.625	50.0	151.5	44.4	145.9	100.8	50.8	95.1	50.8
2.11	111.3	6.03	50.0	161.3	44.0	155.3	105.6	55.6	99.6	55.6
2.46	117.6	6.48	50.0	167.6	43.5	161.1	108.8	58.8	102.3	58.8
2.82	115.5	6.84	50.0	165.5	43.2	158.7	107.8	57.8	100.9	57.8
3.52	114.7	7.2	50.0	164.7	42.8	157.5	107.3	57.3	100.1	57.3
4.22	107.2	7.56	50.0	157.2	42.4	149.7	103.6	53.6	96.1	53.6
4.93	103.2	7.785	50.0	153.2	42.2	145.4	101.6	51.6	93.8	51.6
5.63	99.2	8.055	50.0	149.2	41.9	141.1	99.6	49.6	91.5	49.6
7.04	99.3	8.235	50.0	149.3	41.8	141.1	99.6	49.6	91.4	49.6
8.45	88.3	8.235	50.0	138.3	41.8	130.1	94.2	44.2	85.9	44.2
9.86	80.8	8.505	50.0	130.8	41.5	122.2	90.4	40.4	81.9	40.4
11.26	78.0	8.5	50.0	128.0	41.5	119.5	89.0	39.0	80.5	39.0
12.67	75.2	8.64	50.0	125.2	41.4	116.6	87.6	37.6	79.0	37.6
14.08	75.5	8.64	50.0	125.5	41.4	116.6	87.7	37.7	79.1	37.7
15.49	72.8	8.64	50.0	122.8	41.4	114.2	86.4	36.4	77.8	36.4
16.90	71.6	8.64	50.0	121.6	41.4	112.9	85.8	35.8	77.2	35.8

		ENSAYO DE COMPRESION TRIAXIAL CU ASTM D4767		CODIGO TC-1
PROYECTO:	SERVICIO DE ANÁLISIS DE SUELOS RECOLECTADOS - TRABAJOS DE CAMPO EN EL CASERIO MILLHUISH Y CENTRO POBLADO CHALLHUAYACO	PROFUND:	4.00 m.	
SOLICITANTE:	Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico	RESP:	E.W.M.P.	
MATERIAL:	suelo inalterado, con materia orgánica	TECNICO:	L.D.A.	
UBICACIÓN:	Challhuayaco 8935609N 261435E	REALIZADO POR:	L.D.A.	
CALECATA:	TC-1	FECHA:	3/07/2024	
MUESTRA:	TC-1			

ESPECIMEN N° 2

DATOS DEL ESPECIMEN			
Condiciones		Inicial	Final
Diámetro	(mm)	71.5	68.9
Altura	(mm)	142.2	118.2
Área	(mm ²)	4018.5	3726.3
Densidad Seca	(g/cm ³)	1.7	2.4
Contenido de Humedad	(%)	5.3	5.9
Grado de Saturación	(%)	25.0	98.2

DATOS DE ENSAYO			
Parámetro "B"	(%)	90.0	
Hc	(mm)	142.0	
Ac	(mm ²)	3098.4	
Velocidad de Carga	(mm/min)	0.5	
Presión de celda	(Kpa)	430.0	
Contra Presión	(Kpa)	330.0	
Esf.Efectivo Inicial (σ_3)	(Kpa)	100.0	

Deform. (%)	ESF. DES. (Kpa)	P. P (Kpa)	σ_3 (Kpa)	σ_1 (Kpa)	σ_3' (Kpa)	σ_1' (Kpa)	P (Kpa)	q (Kpa)	p' (Kpa)	q' (Kpa)
0.00	0.0	0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	0.0	100.0	0.0
0.18	38.3	2.1	100.0	138.3	97.9	136.2	119.1	19.1	117.0	19.1
0.35	57.3	3.192	100.0	157.3	96.8	154.1	128.7	28.7	125.5	28.7
0.53	72.8	4.032	100.0	172.8	96.0	168.8	136.4	36.4	132.4	36.4
0.70	86.5	4.41	100.0	186.5	95.6	182.1	143.3	43.3	138.9	43.3
0.88	98.5	4.746	100.0	198.5	95.3	193.7	149.2	49.2	144.5	49.2
1.06	110.4	5.67	100.0	210.4	94.3	204.7	155.2	55.2	149.5	55.2
1.23	137.7	6.93	100.0	237.7	93.1	230.8	168.9	68.9	161.9	68.9
1.41	154.7	7.35	100.0	254.7	92.7	247.3	177.3	77.3	170.0	77.3
1.76	171.2	7.98	100.0	271.2	92.0	263.3	185.6	85.6	177.6	85.6
2.11	187.7	8.4	100.0	287.7	91.6	279.3	193.8	93.8	185.4	93.8
2.47	210.8	8.82	100.0	310.8	91.2	302.0	205.4	105.4	196.6	105.4
2.82	223.6	9.24	100.0	323.6	90.8	314.4	211.8	111.8	202.6	111.8
3.52	228.7	9.87	100.0	328.7	90.1	318.9	214.4	114.4	204.5	114.4
4.23	217.0	10.29	100.0	317.0	89.7	306.7	208.5	108.5	198.2	108.5
4.93	205.5	10.71	100.0	305.5	89.3	294.6	202.7	102.7	192.0	102.7
5.83	197.4	11.004	100.0	297.4	89.0	286.4	198.7	98.7	187.7	98.7
7.04	183.1	11.214	100.0	283.1	88.8	271.9	191.6	91.6	180.3	91.6
8.45	175.5	11.298	100.0	275.5	88.7	264.2	187.8	87.8	176.5	87.8
9.86	160.3	11.34	100.0	260.3	88.7	248.9	180.1	80.1	168.8	80.1
11.27	148.5	11.34	100.0	248.5	88.7	237.1	174.2	74.2	162.9	74.2
12.68	141.6	11.382	100.0	241.6	88.6	230.2	170.8	70.8	159.4	70.8
14.09	128.8	11.382	100.0	228.8	88.6	217.4	164.4	64.4	153.0	64.4
15.50	117.8	11.382	100.0	217.8	88.6	206.5	158.9	58.9	147.5	58.9
16.90	115.9	11.382	100.0	215.9	88.6	204.5	157.9	57.9	146.6	57.9

		ENSAYO DE COMPRESION TRIAXIAL CU ASTM D4767		CODIGO TC-1
PROYECTO:	SERVICIO DE ANÁLISIS DE SUELOS RECOLECTADOS - TRABAJOS DE	PROF.(M)	4.00 m.	
	CAMPO EN EL CASERÍO MILLHUISH Y CENTRO POBLADO			
	CHALLHUAYACO			
SOLICITANTE:	Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico	RESP:	E.W.M.P.	
MATERIAL:	suelo inalterado, con materia organica	TECNICO:	L.D.A	
UBICACIÓN:	Challhuayaco	REALIZADO POR:	L.D.A.	
ALICATA:	TC-1	FECHA:	3/07/2024	
MUESTRA:	TC-1			

ESPECIMEN N° 3

DATOS DEL ESPECIMEN			
Condiciones		Inicial	Final
Diámetro	(mm)	71.5	69.3
Altura	(mm)	142.2	118.2
Área	(mm ²)	4018.5	3773.4
Densidad Seca	(g/cm ³)	1.7	2.4
Contenido de Humedad	(%)	5.4	6.6
Grado de Saturación	(%)	25.3	97.8

DATOS DE ENSAYO	
Parámetro "B"	(%) 90.0
Hc	(mm) 141.9
Ac	(mm ²) 3135.0
Velocidad de Carga	(mm/min) 0.5
Presión de celda	(Kpa) 480.0
Contra Presion	(Kpa) 330.0
Esf.Efectivo Inicial (σ_3)	(Kpa) 150.0

Defor. (%)	ESF. DES. (Kpa)	P. P. (Kpa)	σ_3 (Kpa)	σ_1 (Kpa)	σ_3^* (Kpa)	σ_1^* (Kpa)	p (Kpa)	q (Kpa)	p' (Kpa)	q' (Kpa)
0.00	0.0	0	150.0	150.0	150.0	150.0	150.0	0.0	150.0	0.0
0.18	50.1	3.738	150.0	200.1	146.3	196.3	175.0	25.0	171.3	25.0
0.35	80.9	5.292	150.0	230.9	144.7	225.6	190.4	40.4	185.1	40.4
0.53	108.6	7.266	150.0	258.6	142.7	251.4	204.3	54.3	197.0	54.3
0.70	126.0	8.106	150.0	276.0	141.9	267.9	213.0	63.0	204.9	63.0
0.88	144.8	8.652	150.0	294.8	141.3	286.2	222.4	72.4	213.8	72.4
1.06	176.7	9.408	150.0	326.7	140.6	317.3	238.3	88.3	228.9	88.3
1.23	192.4	10.29	150.0	342.4	139.7	332.1	246.2	96.2	235.9	96.2
1.41	218.2	11.13	150.0	368.2	138.9	357.1	259.1	109.1	248.0	109.1
1.76	243.6	11.634	150.0	393.6	138.4	381.9	271.8	121.8	260.1	121.8
2.11	274.5	12.18	150.0	424.5	137.8	412.3	287.2	137.2	275.0	137.2
2.47	289.3	12.6	150.0	439.3	137.4	426.7	294.7	144.7	282.1	144.7
2.82	306.9	13.062	150.0	456.9	136.9	443.8	303.4	153.4	290.4	153.4
3.52	328.0	13.65	150.0	476.0	136.4	462.4	313.0	163.0	299.4	163.0
4.23	330.7	14.07	150.0	480.7	135.9	466.8	315.4	165.4	301.3	165.4
4.93	325.5	14.28	150.0	475.5	135.7	461.2	312.7	162.7	298.5	162.7
5.64	320.3	14.49	150.0	470.3	135.5	455.8	310.1	160.1	295.6	160.1
7.05	288.1	14.742	150.0	438.1	135.3	423.3	294.0	144.0	279.3	144.0
8.46	264.8	14.91	150.0	414.8	135.1	399.9	282.4	132.4	267.5	132.4
9.87	246.1	15.036	150.0	396.1	135.0	381.0	273.0	123.0	258.0	123.0
11.28	230.4	15.12	150.0	380.4	134.9	365.3	265.2	115.2	250.1	115.2
12.69	210.0	15.204	150.0	360.0	134.8	344.8	255.0	105.0	239.8	105.0
14.10	195.2	15.204	150.0	345.2	134.8	330.0	247.6	97.6	232.4	97.6
15.51	189.5	15.204	150.0	339.5	134.8	324.3	244.8	94.8	229.8	94.8
16.92	185.1	15.204	150.0	335.1	134.8	319.9	242.8	92.6	227.4	92.6

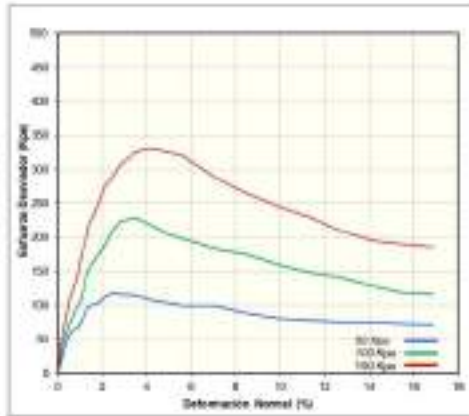
 Ingeomet S.A.S.		ENSAYO DE COMPRESION TRIAXIAL CU ASTM D4767		CODIGO TC-1
PROYECTO :	SERVICIO DE ANÁLISIS DE SUELOS RECOLECTADOS - TRABAJOS DE CAMPO EN EL CASERIO MILLHUISH Y CENTRO POBLADO CHALPHUAYACO			PROFUNDIDAD : 4.00 m.
ASOCIANTE :	Instituto Geológico, Mínero y Metalúrgico			RESP. : E.W.M.P.
MATERIAL :	suelo inalterado, con materia orgánica			RECIBIDO : L.D.A.
UBICACIÓN :	Chalhuayaco	8935609N	261435E	REALIZADO POR : L.D.A.
CALEFATA :	TC-1			FECHA : 3/07/2014
MUESTRA :	TC-1			

Velocidad del ensayo : 0.5 mm/min

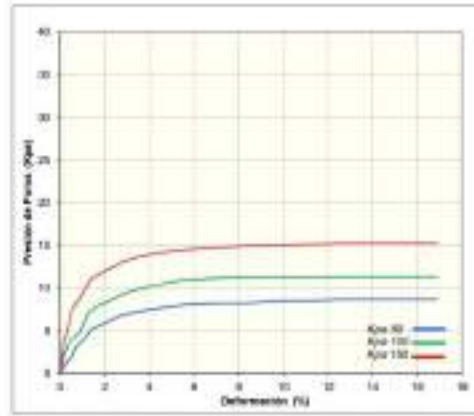
		ESPECIMEN		
		N° 1	N° 2	N° 3
		ESPECÍMENES		
		N°1	N°2	N°3
Condiciones Iniciales	Und.			
Diámetro	mm	71.53	71.53	71.53
Altura	mm	142.22	142.22	142.22
Área	mm ²	4018.52	4018.52	4018.52
Volumen	mm ³	571514.17	571514.17	571514.17
Densidad Húmeda	g/cm ³	1.81	1.81	1.8
Densidad seca	g/cm ³	1.74	1.74	1.74
Contenido de Humedad	%	5.7	5.3	5.4
LD		1.99	1.99	1.99
Volumen de Sólidos	mm ³	385036.50	387591.24	385766.42
Grado de Saturación	%	26.8	25.0	25.3
Condiciones Finales				
Diámetro	mm	69.28	68.88	69.31
Altura	mm	118.22	118.22	118.22
Área	mm ²	3770.22	3726.30	3773.36
Densidad Húmeda	g/cm ³	2.502	2.529	2.502
Densidad Seca	g/cm ³	2.387	2.411	2.389
Contenido de Humedad	%	6.7	5.9	6.6
Grado de Saturación	%	98.9	98.2	97.8
Consolidación				
Esfuerzo confinante	Kpa	380.0	430.0	480.0
Contrapresión	Kpa	330.0	330.0	330.0
Hc	mm	142.0	142.0	141.9
Ac	mm ²	3133.2	3096.4	3135.0
Parámetro "B"	%	90.0	90.0	90.0
Parámetros de Esfuerzos Efectivos Máximos				
Cohesión (C)	Kpa	2.1		
Ángulo de Fricción (φ)	(°)	27.9		
Parámetros de Esfuerzos Totales Máximos				
Cohesión (C)	Kpa	1.60		
Ángulo de Fricción (φ)	(°)	26.40		

		ENSAYO DE COMPRESION TRIAXIAL CU ASTM D4767		CODIGO TC-1
PROYECTO: SERVICIO DE ANÁLISIS DE SUELOS RECOLECTADOS - TRABAJOS DE PROFUN- DADO EN EL CASERIO MASHUSH Y CENTRO PUEBLO 4.00 m.				
UBICACIÓN: CHALHUASACO				
PROYECTANTE: Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico		RESP: E.W.M.P.		
MATERIA: suelo incoherente, con materia orgánica		USUARIO: S.D.A.		
UBICACIÓN: Chalhuasaco 8030889 N 763420E		REALIZADO POR: S.D.A.		
FECHA: TC-1		NOVA: 8/07/2024		
MUESTRA: TC-1				

DEFORMACION NORMAL VS ESFUERZO DEVIADO



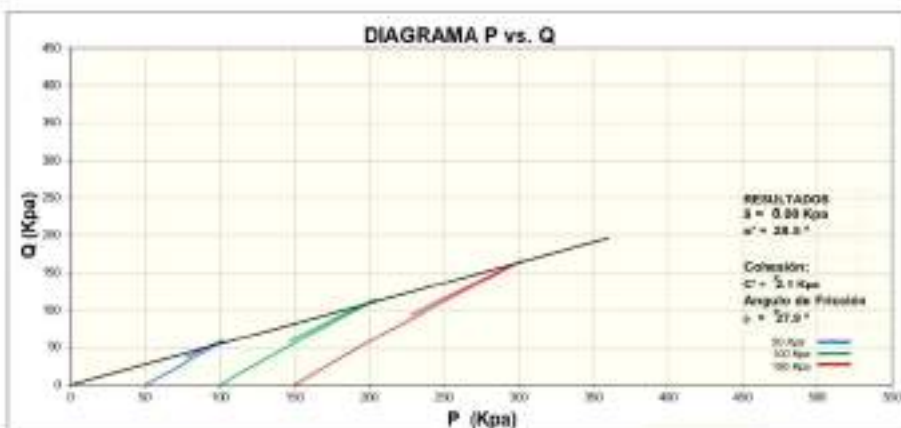
VARIACION DE LA PRESION DE POROS VS ESFUERZO DEVIADO




		ENSAYO DE COMPRESION TRIAXIAL CU ASTM D4767		CODIGO TC-1
PROYECTO: SERVICIO DE ANÁLISIS DE SUELOS RECOLECTADOS - TRABAJOS DE PROFUN- DADO EN EL CASERIO MASHUSH Y CENTRO PUEBLO 4.00 m.				
UBICACIÓN: CHALHUASACO				
PROYECTANTE: Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico		RESP: E.W.M.P.		
MATERIA: suelo incoherente, con materia orgánica		USUARIO: S.D.A.		
UBICACIÓN: Chalhuasaco 8030889 N 763420E		REALIZADO POR: S.D.A.		
FECHA: TC-1		NOVA: 8/07/2024		
MUESTRA: TC-1				



		ENSAYO DE COMPRESIÓN TRIAXIAL CU ASTM D4767		COG190 TC-1
PROYECTO:	SERVICIO DE ANÁLISIS DE SUELOS RECOLECTADOS - TRABAJOS DE PROYECTO	PROYECTO:	4-08 W.	
	CAMPO EN EL CASERIO MARIKUSHY CENTRO POBLADO		4-08 W.	
	CHALLHUASICO			
INSTITUTO:	Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico	ASPI:	E. M. P.	
AUTORE:	Carlo RUIZ LARA, con matrícula número	REGION:	L.S.A	
UBICACION:	Challhuasico	REGIÓN/PROV.:	L.S.A.	
ENCARGO:	TC-1	FECHA:	5/07/2004	
AUTORE:	TC-1			




		ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO MTC E107-2000 / ASTM D - 422		CÓDIGO TC-2	
PROYECTO:	SERVICIO DE ANÁLISIS DE SUELOS RECOLECTADOS - TRABAJOS DE CAMPO EN EL CASERIO MILIUSHI Y CENTRO POBLADO CRALMURFACD	PROY. Nº:	4.00 m		
INSTITUTO:	Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico	IMP:	E.W.M.P		
MUESTRA:	Suelo - extraído, con material orgánico	IBCMO:	L.D.A		
UBICACIÓN:	Cam Pucayacu 8906598 962188	REALIZADO POR:	L.D.A		
FRACCIÓN:	TC-2	FECHA:	1/07/2024		
MUESTRA:	TC-2				
FRACCIÓN GRUESA					
Peso Total (gr): 13378.80					
Malla	Abertura (mm)	Peso Retenido (gr)	% Parcial Retenido (gr)	% ACUMULADO	
				Retenido	Que Pasa
3"	75	0.0	0.00	0.00	100.00
2"	50	0.0	0.00	0.00	100.00
1 1/2"	37.5	0.0	0.00	0.00	100.00
1"	25	136.0	1.02	1.02	98.98
3/4"	19	294.8	2.13	3.14	96.86
1/2"	12.5	1127.3	8.43	11.57	88.43
3/8"	9.5	716.2	5.35	16.92	83.08
N° 4	4.75	1124.6	8.40	26.34	73.16
N° Del Recipiente	FM-19				
Peso Del Recipiente (gr)	143				
Peso Del Recipiente + Suelo Húmedo (gr)	1340				
Peso Del Recipiente + Suelo Seco (gr)	1181				
Peso Del Agua Contenido (gr)	159				
Peso Del Suelo Seco (gr)	1037				
Contenido De Humedad (%)	5.27				
FRACCIÓN FINA					
Malla	Abertura (mm)	Peso Retenido (gr)	% Parcial Retenido (gr)	% ACUMULADO	
				Retenido	Que Pasa
N° 10	2	769.4	5.90	52.74	67.26
N° 20	0.85	924.9	7.15	59.90	60.10
N° 30	0.59	953.4	7.23	67.12	57.38
N° 40	0.43	244.7	1.89	69.01	55.49
N° 60	0.25	807.6	6.14	75.15	52.95
N° 100	0.15	999.4	7.54	82.69	48.14
N° 200	0.075	597.0	4.62	87.31	43.53
FONDO		5627.9	43.53	100.00	0.00
TOTAL			100.00		

CURVA GRANULOMÉTRICA






NOTA:
 Presencia de materia orgánica
 No presenta coeficiente de curvatura ni uniformidad, por la falta de gradación del suelo, la muestra presenta mayor material cohesionado

DETERMINACION DE LIMITES DE CONSISTENCIA		CODIGO TC-2	
PROYECTO:	SERVICIO DE ANÁLISIS DE SUELOS RECOLECTADOS - TRABAJOS DE CAMP DE EN EL CASERIO MILHUSH Y CENTRO POBLADO DIALHUAYACO	PROF.(m): 4.00 m.	
SOLICITANTE:	Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico	RESP: E.W.M.P	
MATERIAL:	Suelo inabarcado, con materia orgánica	TECNICO: L.D.A	
LUGAR DONDE:	Dialhuayaco 8935659M 261218E	REALIZADO POR: L.D.A	
CALCATA:	TC-2	FECHA: 3/07/2024	
MUESTRA:	TC-2		
LÍMITE PLÁSTICO MTC E 111 - 2000 / ASTM D - 4318			
N° de recipiente	CP-07	CP-11	PROMEDIO
Peso de recipiente (g)	8.50	8.26	
Peso de recipiente+suelo húmedo (g)	18.65	17.89	
Peso de recipiente+suelo seco (g)	17.37	16.70	
Peso de agua (g)	1.28	1.20	
Peso de suelo seco (g)	8.86	8.44	
Contenido de humedad (%)	14.45	14.17	14.31
LÍMITE LÍQUIDO MTC E 110 - 2000 / ASTM D - 4318			
N° de recipiente	TP-05	TP-06	TP-15
Peso de recipiente (g)	3.10	3.22	3.25
Peso de recipiente+suelo húmedo (g)	19.43	21.02	24.84
Peso de recipiente+suelo seco (g)	16.59	18.12	21.39
Peso de agua (g)	2.85	2.90	3.45
Peso de suelo seco (g)	13.49	14.90	18.14
Contenido de humedad (%)	21.30	19.48	19.03
Número de golpes	15	23	29
LÍMITE LÍQUIDO	19.4		
LÍMITE PLÁSTICO	14.3		
ÍNDICE PLÁSTICO	5.1		
REVISÓ WILBE MATOS ENRIQUEZ	APROBÓ ENRIQUE MATOS PALCAR		
 WILBE MATOS ENRIQUEZ Ingeniero Geólogo INGGEP S.A.S. -Inglaterra, E.A.C.			COPIA CONTROLA DA

		ENSAYO DE PESO UNITARIO (METODO DE LA PARAFINA)		CODIGO TC-2	
PROYECTO:	SERVICIO DE ANÁLISIS DE SUELOS RECOLECTADOS- TRABAJOS DE CAMPO EN EL CASERIO MILLHUISH Y CENTRO POBLADO CHALLHUAYACO	PROV. del:	4 00 W.		
SOLICITANTE:	Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico	RESP:	E.W.M.P.		
REFERENC:	suelo inalterado, con materia orgánica	TECNICO:	L.D.A.		
UBICACIÓN:	Challhuayaco	ACERCUADO POR:	L.D.A.		
	8936659N 263218E				
CANTIDAD MUESTRA:	TC-2	FECHA:	3/07/2024		

	I	II	III	PROMEDIO
PESO DE LA MUESTRA AL AIRE (gr)	387.21	---	---	
PESO DE LA MUESTRA PARAFINADA AL AIRE (gr)	414.24	---	---	
PESO DE LA MUESTRA PARAFINADA SUMERGIDA (gr)	175.20	---	---	
PESO ESPECIFICO RELATIVO DE LA PARAFINA (gr/cm ³)	0.88	---	---	
PESO DE LA PARAFINA (gr)	27.03	---	---	
VOLUMEN TOTAL DEL SUELO (cm ³)	239.04	---	---	
VOLUMEN DEL SUELO (cm ³)	208.32	---	---	
DENSIDAD DEL SUELO (gr/cm ³)	1.86	---	---	1.86

REVISÓ	APROBO	COMA CONTROLADA
WILBE MATOS ENRIQUEZ  WILBE MATOS ENRIQUEZ GERENTE GENERAL Ingemmet S.A.C.	ENRIQUE MATOS PALCAR 	

		ANÁLISIS QUÍMICO		CODIGO TC-2																					
PROYECTO: SERVICIO DE ANÁLISIS DE SUELOS RECOLECTADOS - TRABAJOS DE CAMPO EN EL CASERIO MILLHUISH Y CENTRO POBLADO CHALLHUAYACO	PROF. (m) 4.00 m.																								
SOLICITANTE: Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico	RESA: E.W.M.P.																								
MATERIAL: suelo inalterado, con materia orgánica	TÉCNICO I: I.D.A																								
UBICACIÓN: Challhuayaco 8935675N 781218E	REALIZADO POR: I.D.A																								
CAUSATA: TC-2	FECHA: 3/07/2021																								
MUESTRA: TC-2																									
MÉTODO DE ENSAYO NORMALIZADO PARA LA DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE SALES SOLUBLES EN SUELOS Y AGUA SUBTERRÁNEA NTP 339.152																									
<table border="1"> <thead> <tr> <th>DESCRIPCIÓN</th> <th></th> <th>DATOS</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Peso seco inicial, m1</td> <td>(g)</td> <td>69.0537</td> </tr> <tr> <td>Peso seco final, m2</td> <td>(g)</td> <td>69.0677</td> </tr> <tr> <td>Relación de mezcla suelo-agua, D</td> <td>(mL/g)</td> <td>3</td> </tr> <tr> <td>Volumen del extracto acuoso evaporado, E</td> <td>(mL)</td> <td>50</td> </tr> <tr> <td>Sales solubles totales, SS</td> <td>(ppm, mg/kg)</td> <td>840</td> </tr> <tr> <td>Sales solubles totales, SS</td> <td>(%)</td> <td>0.0840</td> </tr> </tbody> </table>					DESCRIPCIÓN		DATOS	Peso seco inicial, m1	(g)	69.0537	Peso seco final, m2	(g)	69.0677	Relación de mezcla suelo-agua, D	(mL/g)	3	Volumen del extracto acuoso evaporado, E	(mL)	50	Sales solubles totales, SS	(ppm, mg/kg)	840	Sales solubles totales, SS	(%)	0.0840
DESCRIPCIÓN		DATOS																							
Peso seco inicial, m1	(g)	69.0537																							
Peso seco final, m2	(g)	69.0677																							
Relación de mezcla suelo-agua, D	(mL/g)	3																							
Volumen del extracto acuoso evaporado, E	(mL)	50																							
Sales solubles totales, SS	(ppm, mg/kg)	840																							
Sales solubles totales, SS	(%)	0.0840																							
MÉTODO DE ENSAYO NORMALIZADO PARA LA DETERMINACIÓN DE CLORUROS SOLUBLES EN SUELOS Y AGUA SUBTERRÁNEA NTP 339.177																									
<table border="1"> <thead> <tr> <th>DESCRIPCIÓN</th> <th></th> <th>DATOS</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>AgNO3 utilizado</td> <td>(mL)</td> <td>1.2</td> </tr> <tr> <td>Blanco del indicador, B</td> <td>(mL)</td> <td>0.2</td> </tr> <tr> <td>Título, T</td> <td>(mg Cl / mL AgNO3)</td> <td>0.988</td> </tr> <tr> <td>Peso de muestra titulada, M</td> <td>(g)</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td>Cloruros solubles</td> <td>(ppm, mg/kg)</td> <td>197</td> </tr> <tr> <td>Cloruros solubles</td> <td>(%)</td> <td>0.0197</td> </tr> </tbody> </table>					DESCRIPCIÓN		DATOS	AgNO3 utilizado	(mL)	1.2	Blanco del indicador, B	(mL)	0.2	Título, T	(mg Cl / mL AgNO3)	0.988	Peso de muestra titulada, M	(g)	5	Cloruros solubles	(ppm, mg/kg)	197	Cloruros solubles	(%)	0.0197
DESCRIPCIÓN		DATOS																							
AgNO3 utilizado	(mL)	1.2																							
Blanco del indicador, B	(mL)	0.2																							
Título, T	(mg Cl / mL AgNO3)	0.988																							
Peso de muestra titulada, M	(g)	5																							
Cloruros solubles	(ppm, mg/kg)	197																							
Cloruros solubles	(%)	0.0197																							
MÉTODO DE ENSAYO NORMALIZADO PARA LA DETERMINACIÓN DE SULFATOS SOLUBLES EN SUELOS Y AGUA SUBTERRÁNEA NTP 339.178																									
<table border="1"> <thead> <tr> <th>DESCRIPCIÓN</th> <th></th> <th>DATOS</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Gramos de BaSO4, W</td> <td>(g)</td> <td>0.0067</td> </tr> <tr> <td>Gramos de muestra utilizada, M</td> <td>(g)</td> <td>10</td> </tr> <tr> <td>Sulfatos solubles</td> <td>(ppm, mg/kg)</td> <td>276</td> </tr> <tr> <td>Sulfatos solubles</td> <td>(%)</td> <td>0.02760</td> </tr> </tbody> </table>					DESCRIPCIÓN		DATOS	Gramos de BaSO4, W	(g)	0.0067	Gramos de muestra utilizada, M	(g)	10	Sulfatos solubles	(ppm, mg/kg)	276	Sulfatos solubles	(%)	0.02760						
DESCRIPCIÓN		DATOS																							
Gramos de BaSO4, W	(g)	0.0067																							
Gramos de muestra utilizada, M	(g)	10																							
Sulfatos solubles	(ppm, mg/kg)	276																							
Sulfatos solubles	(%)	0.02760																							
REVISÓ WILBE MATOS ENRIQUEZ		APROBÓ ENRIQUE MATOS PAUCAR		COPIA CONTROLADA																					
 WILBE S. MATOS ENRIQUEZ Gerente General GEOSERV-SERVICIO Ingeniería S.A.C.		