

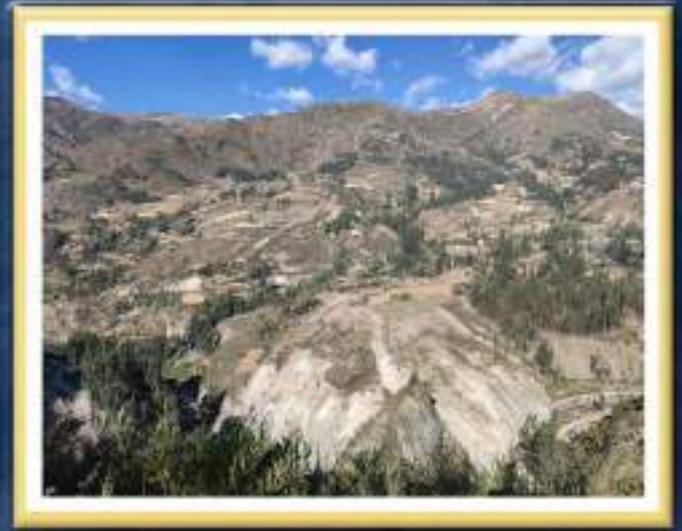
DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO

Informe Técnico N° A7550



EVALUACIÓN INGENIERO GEOLÓGICA EN EL CASERÍO MILLHUISH

Departamento: Ancash
Provincia: Huari
Distrito: San Marco
Centro poblado: Rancas



OCTUBRE
2024

EVALUACIÓN INGENIERO GEOLÓGICA EN EL CASERIO MILLHUISH, CENTRO POBLADO RANCAS

Distrito de San Marcos, provincia Huari, departamento de Ancash

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

Equipo técnico:

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

Referencia bibliográfica

Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico (2024). *Evaluación Ingeniero geológico en el caserío Millhuish, centro poblado de Rancas. Distrito de San Marcos, provincia de Huari, departamento de Ancash*. Lima: Ingemmet, Informe Técnico A7550, 173p

ÍNDICE

RESUMEN.....	5
1. INTRODUCCIÓN.....	7
1.1. Objetivo general.....	7
1.1.1. Objetivos específicos:.....	7
1.2. Alcances.....	7
1.3. Metodología.....	8
1.4. Antecedentes y trabajos anteriores.....	9
1.5. Aspectos generales.....	10
1.5.1. Ubicación.....	10
1.1.1. Accesibilidad.....	10
1.1.1. Características de la población.....	10
1.1.2. Clima.....	12
2. DEFINICIONES.....	13
3. ASPECTOS GEOLÓGICOS.....	16
3.1. Unidades Litoestratigráficas.....	16
3.1.1. Cretácico.....	17
3.1.2. Cuaternario.....	20
3.2. Contexto estructural.....	21
4. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS.....	24
4.1. Modelo digital de elevaciones.....	24
4.2. Pendientes del terreno.....	25
4.3. Índice Topográfico de Humedad (TWI).....	27
4.4. Caracterización geomorfológica.....	28
4.4.1. Unidad de montañas.....	29
4.4.2. Unidad de piedemonte.....	30
4.4.3. Unidad de planicies.....	30
5. PELIGROS GEOLÓGICOS.....	32
5.1. Movimientos en masa.....	35
5.1.1. Deslizamientos.....	35
5.1.2. Avalancha de detritos.....	38
5.1.3. Derrumbes.....	39
5.2. Otro peligro geológico.....	40
5.2.1. Erosión de ladera en cárcavas.....	40
5.3. Peligros geohidrológicos.....	40
5.3.1. Erosión fluvial.....	40
5.4. Factores condicionantes.....	40
5.5. Factores desencadenantes.....	41

5.6.	Caserío Millhuish.....	42
6.	INVESTIGACIONES GEOFÍSICAS	49
6.1.	Métodos geofísicos	49
6.1.1.	Tomografía eléctrica	49
6.2.	Adquisición de datos	49
6.3.	Procesamiento de datos	50
6.4.	Resultados e interpretación	50
6.4.1.	LTE-M-01	50
6.4.2.	LTE-M-02	51
6.4.3.	LTE-M-03	52
7.	ASPECTOS HIDROLÓGICOS E HIDROGEOLÓGICOS.....	54
7.1.	Hidrología.....	54
7.1.1.	Registro de aforos.....	55
7.2.	Hidrogeología.....	56
7.2.1.	Inventario de fuentes de agua (subterráneas y superficiales).....	56
7.2.2.	Parámetros hidráulicos	60
7.2.3.	Caracterización hidrogeológica.....	64
7.2.4.	Mapa hidrogeológico.....	67
7.2.5.	Modelo hidrogeológico conceptual	68
7.2.6.	Hidroquímica	70
8.	ASPECTOS GEOTÉCNICOS	76
8.1.	Clasificación geomecánica del macizo rocoso	76
8.1.1.	Caracterización geomecánica de las discontinuidades	76
8.2.	Propiedades físicas de los suelos.....	78
8.3.	Clasificación del suelo.....	79
8.3.1.	Límites de Atterberg.....	80
9.	EVALUACIÓN DE LAS CONDICIONES DE ESTABILIDAD.....	81
9.1.1.	Metodología de análisis	82
9.1.2.	Factor de seguridad y análisis de estabilidad	82
9.1.3.	Condiciones de análisis	83
9.1.4.	Resultado de los análisis de estabilidad	83
10.	SUSCEPTIBILIDAD POR MOVIMIENTOS EN MASA.....	91
10.1.	Factores condicionantes de la inestabilidad y determinación del peso	91
10.1.1.	Parámetro litológico	92
10.1.2.	Parámetro de pendiente del terreno	92
10.1.3.	Parámetro geomorfológico.....	92
10.1.4.	Parámetro hidrogeológico	93
10.1.5.	Parámetro de índice de humedad del suelo	93
10.1.6.	Parámetro de cobertura vegetal y uso de suelo	93
10.2.	Mapa de susceptibilidad a los movimientos en masa.....	95

10.3.	Grados de susceptibilidad a los movimientos en masa	95
11.	ALTERNATIVAS PARA EL MANEJO DE PROBLEMAS DE MOVIMIENTOS EN MASA	98
11.1.	Propuesta de monitoreo	98
11.1.1.	Monitoreo geotécnico	98
11.1.2.	Monitoreo de deslizamiento con puntos de control	115
11.1.3.	Monitoreo fotogramétrico	117
11.2.	Sistemas de drenaje	118
11.3.	Defensa ribereña	118
11.4.	Planes de reforestación	119
12.	CONCLUSIONES	120
13.	RECOMENDACIONES	123
14.	BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA	125
ANEXO 1:	MAPAS TEMÁTICOS	127
ANEXO 2:	PANEL FOTOGRÁFICO	136
ANEXO 3:	RESULTADO DEL ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DEL TALUD	141
ANEXO 4:	RESULTADO DE ENSAYOS DE MECÁNICA DE SUELOS	150

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Mapa de ubicación del área de estudio.	11
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 . ..	12
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 . .	12
Figura 3.1. Mapa geológico del área de estudio. El basamento rocoso corresponde a rocas cretácicas que están cubiertas por depósitos Cuaternarios.....	16
Figura 3.2. Afloramiento de rocas de la Formación Oyón, que viene a ser la intercalación de areniscas, limolitas y lutitas gris oscuras como se observa en el detalle (círculo rojo). Vista al Este.	18
Figura 3.3. Presencia de falla inversa en la Formación Oyón producto del plegamiento y deformación, con dirección N142° y buzamiento 45° al suroeste. Vista al Noroeste.	18
Figura 3.4. Vista al Sureste de la secuencia estratigráfica de rocas Cretácicas (formaciones Oyón, Chimú, Santa y Carhuaz) todas presentan una estratificación concordante.	19
Figura 3.5. Estratificación de la Formación Carhuaz en la parte alta del cerro Ocshatuna, con dirección de los estratos es N 10° y buzamiento 30°sureste. Vista al Norte.....	19
Figura 3.6. Esquema Diagramático de las relaciones Estratigráficas y Facies desde el Paleozoico Superior, Sección Huarmey - La Unión (Tomado de Cobbing et al., 1996).....	22
Figura 3.7. Columna estratigráfica tipo del área de estudio.....	23
Figura 3.8. Análisis estructural de la zona de estudio. Elaborado por Gómez, W. 2024.	23
Figura 4.1. Generación de un DEM a partir de fotogrametría con Drone. a) Líneas de sobre vuelo y posición de la cámara. b) obtención de la ortofoto y c) generación del DEM a 17 cm de resolución. .	24
Figura 4.2. Mapa de elevación del terreno a partir del DEM de 6 m de resolución, donde se puede observar más de 1300 m de diferencia entre el valle del río Mosna y el cerro Ocshatuna.	25
Figura 4.3. Mapa de pendiente del terreno. Se puede observar que gran parte del terreno presenta pendientes entre fuerte a muy escarpado ver Cuadro 4.1.....	26
Figura 4.4. Mapa de Índice topográfico de humedad, donde se observa las zonas con mayor acumulación de humedad debido a la topografía de la zona de estudio.	28
Figura 4.5. Mapa geomorfológico de la zona de estudio.	29
Figura 4.6. Unidades geomorfológicas de la zona de estudio. RME-rs: Subunidad de Montaña estructural en roca sedimentaria; V-dd: Vertiente con depósito de deslizamiento; V-c: Vertiente coluvial; V-cd: Vertiente coluvio deluvial. Vista al Este.	31
Figura 5.1. Cartografía e inventario de peligros geológicos en la zona de estudio.	32
Figura 5.2. Perfil AA', desde el río Mosna hasta la parte alta del cerro Ocshatuna, donde se observa los depósitos antiguos correspondiente al deslizamiento y avalancha.....	33
Figura 5.3. Perfil BB', desde el río Mosna hasta la parte alta del cerro Ocshatuna, se observa el depósito del deslizamiento antiguo, con evidencia de reactivaciones hacia el pie del deslizamiento.	34
Figura 5.4. Perfil CC', perpendicular al centro poblado Vista Alegre. Donde se observa los depósitos antiguos correspondiente al deslizamiento reciente y avalancha.	34
Figura 5.5. Perfil DD', perpendicular al centro poblado Millhuish (Ver figuras 5.1, 5.2). Donde se observa que el centro poblado se encuentra emplazado encima de depósitos antiguos correspondiente a una avalancha.	35
Figura 5.6. Deslizamiento del cerro Ocshatuna, corresponde al evento más antiguo, cuyo escape principal se ha producido en calizas y los depósitos llegaron hasta el río Mosna.	36
Figura 5.7. Grieta en viviendas, con movimiento hacia el Oeste, Sector Chuyo. Coordenadas UTM 262620, 8941220.....	36
Figura 5.8. Grietas en los muros de la iglesia de Chuyo (Líneas rojas punteadas). Coordenadas UTM WGS84, Zona 18L, 262668, 8941204.....	37
Figura 5.9. Deslizamiento en el flanco derecho del río Mosna, con desniveles hasta ~10 m. Se observa la acción erosiva del río Mosna (Flechas de color azul), terrenos de cultivo afectados y movilizados.	37
Figura 5.10. Vista con dirección al Sureste del deslizamiento activo de Millhuish, con desniveles >10 m. El río Mosna erosiona la base del deslizamiento (Flechas azules).	38
Figura 5.11. Vista al Este de la avalancha reactivada en el escarpe del deslizamiento antiguo del cerro Ocshatuna, sobre el cual se encuentran los caseríos de Vista Alegre y Millhuish.	39

Figura 5.12. Vista al Sur de derrumbes inactivos latente en la margen izquierda de la quebrada Raqra.	40
Figura 5.13. Vista del pie de la avalancha donde se ubica el poblado de Millhuish, se observa reactivaciones en forma de deslizamientos y derrumbes que afectan el poblado.	42
Figura 5.14. Correlación de imágenes satelitales de Google Earth desde el año 2005 hasta la actualidad. Se muestra la evolución temporal de la reactivación del pie de la avalancha, que conlleva a la afectación del caserío Millhuish.	44
Figura 5.15. A) Deslizamientos en el flanco derecho del río Mosna, estos procesos se evidenciaron desde el año 2019. B y C muestran a detalle los deslizamientos con movimientos opuestos hacia el Norte y hacia el Suroeste.	45
Figura 5.16. Asentamiento escalonado del terreno (líneas negras punteadas y flechas rojas), con dirección del movimiento al oeste.	45
Figura 5.17. Escarpe del deslizamiento reactivado de Millhuish, con desnivel de ~4m, que afectó principalmente terrenos de cultivo. Presenta movimiento en dirección oeste.	46
Figura 5.18. Vivienda afectada, presenta las paredes agrietadas (líneas y flechas blancas). Las líneas blancas señalan la deformación en la puerta de la vivienda producto del movimiento del terreno.	46
Figura 5.19. Muro afectado, con inclinación de ~22° hacia el oeste. Este muro se encuentra en inminente colapso.	47
Figura 5.20. Vivienda afectada, presenta el piso de concreto agrietado, con una abertura de ~35 cm. Las paredes se encuentran descuadradas, actualmente se encuentra inhabitable.	47
Figura 5.21. Viviendas afectadas debido a la deformación del terreno. A) se observa los muros agrietados y con aperturas de hasta 25 cm de igual forma el piso de concreto se encuentra fracturado y asentado (25 cm). B y C se observa el agrietamiento y se	48
Figura 6.1. Ubicación y distribución de las líneas de Tomografía eléctrica LTE-M-01, LTE-M-02 y LTE-M-03 en el área de estudio.	50
Figura 6.2. Sección de resistividad eléctrica LTE-M-01.	51
Figura 6.3. Sección de resistividad eléctrica LTE-M-02.	52
Figura 6.4. Sección de resistividad eléctrica LTE-M-03.	53
Figura 7.1. Ubicación de las quebradas Ulpiraqra y Raqra, dispuestas en dirección SE-NW.	54
Figura 7.2. A) Aforo de caudal método volumétrico en la quebrada Raja. B) Manantial captado de código 498996-016. Presenta un caudal de 2.60 l/s.	56
Figura 7.3. Mapa de inventario de fuentes de agua.	58
Figura 7.4. A y B) Captación de agua con concreto, presenta una captación con tuberías destinadas para riego tecnificado, con un caudal aproximado de 16 l/s, quebrada Raqra, código 498996-015.	59
Figura 7.5. A) Manantial de código 498996-013 en el talud escarpado del deslizamiento. B) Coloración naranja, las aguas vierten en el río Mosna.	59
Figura 7.6. Distribución de los ensayos de infiltración.	60
Figura 7.7. Análisis de descenso con respecto al tiempo de ensayos de infiltración realizadas en el caserío Millhuish y Vista Alegre.	62
Figura 7.8. Ensayo de infiltración en depósitos coluvio - deluviales, a) EI-09 en la trinchera (T-04). b) EI-15 en la parte baja del colegio, en dirección al río.	62
Figura 7.9. Mapa de distribución de la conductividad hidráulica de los ensayos de infiltración.	64
Figura 7.10. Mapa hidrogeológico del área de estudio.	67
Figura 7.11. Modelo hidrogeológico conceptual del área de estudio.	69
Figura 7.12. Modelo hidrogeológico conceptual de la sección A-A'.	69
Figura 7.13. Modelo hidrogeológico conceptual de la sección B-B'.	70
Figura 9.1. Ubicación de los perfiles en planta.	81
Figura 9.2. Mapa de Zonificación Sísmica de Perú, según norma peruana E 0.30.	84
Figura 9.3. Perfil 4, muestra los resultados obtenidos en condiciones estáticas.	85
Figura 9.4. Perfil 4, muestra los resultados obtenidos en condiciones pseudo-estáticas.	85
Figura 9.5. Perfil 6, muestra los resultados obtenidos en condiciones estáticas.	86
Figura 9.6. Perfil 6, muestra los resultados obtenidos en condiciones pseudo-estáticas y C) dinámicas.	86
Figura 9.7. Perfil 10, muestra los resultados obtenidos en condiciones estáticas.	87
Figura 9.8. Perfil 10, muestra los resultados obtenidos en condiciones pseudo-estáticas.	87

Figura 9.9. Perfil 6, muestra los resultados obtenidos en condiciones estáticas, considerando una infiltración de agua de 50 m ³ /día.	88
Figura 9.10. Perfil 10, muestra los resultados obtenidos en condiciones pseudo-estáticas, considerando una infiltración de agua de 50 m ³ /día.	89
Figura 9.11. Perfil 6, muestra los resultados obtenidos en condiciones estáticas, considerando una infiltración de agua de 350 m ³ /día.	89
Figura 9.12. Perfil 6, muestra los resultados obtenidos en condiciones pseudo-estáticas, considerando una infiltración de agua de 350 m ³ /día.	90
Figura 10.1 Mapas factores que intervienen en la evaluación de la susceptibilidad a movimientos en masa. A) Mapa factor litología, B) Mapa factor pendiente del terreno, C) Mapa factor geomorfología, D) Mapa factor Hidrogeología, E) Mapa factor índice de humedad.....	94
Figura 10.2. Mapa de susceptibilidad a movimientos del área de estudio.....	97
Figura 11.1. Esquema de un sistema de monitoreo de deslizamientos (tomado de Cordero & Espinoza, 2012).....	98
Figura 11.2. Ejemplo de un panel de visualización “Panel View” de monitoreo de peligros geológicos.	100
Figura 11.3. Esquema de la idea inicial de instrumentación propuesta para el monitoreo del deslizamiento de Millhuish (modificado de Suárez, 2009).	101
Figura 11.4. Imagen referencial de un receptor GNSS, consta de registrador y antena.	101
Figura 11.5. Imagen referencial de un piezómetro eléctrico.	102
Figura 11.6. Imagen referencial de un sismómetro de banda ancha triaxial de componentes modulares.	103
Figura 11.7. Imagen referencial de un inclinómetro electrónico.....	104
Figura 11.8. Imagen referencial de un pluviómetro automático.	105
Figura 11.9. Imagen referencial de una cámara IP para exteriores.	106
Figura 11.10. Imagen referencial de un set de transmisión WiFi.	107
Figura 11.11. Imagen referencial de sistema de alimentación eléctrico autónomo.	108
Figura 11.12. Diseño de las casetas y estructuras de protección.....	110
Figura 11.13. Diseño del cerco perimétrico.....	110
Figura 11.14. 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.	112
Figura 11.15. Mapa de ubicación de las estaciones de monitoreo en tiempo real.	113
Figura 11.16. Perfiles topográficos entre las estaciones para verificar la línea de vista.	114
Figura 11.17. Estación base CHAVIN. (A) monumento existe usado como referencia; (B) Instalación de equipo.	115
Figura 11.18. Distribución de los 12 puntos de control en el deslizamiento de Millhuish.	116
Figura 11.19. Nube de puntos calculada a partir del levantamiento fotogramétrico.	118
Figura 11.20. Sistema de drenaje y defensa ribereña propuestos para mitigar y/o atenuar el deslizamiento activo en el caserío Millhuish.	119

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 3.1. Depósito coluvio-deluvial 1, corresponde al cuerpo del deslizamiento, debido al gran fracturamiento de las rocas estas se utilizan como material agregado.	20
Fotografía 3.2. Depósito coluvio-deluvial 2, se observa cantos rodados subangulosos envueltos en matriz areno arcillosa que corresponde al cuerpo de la avalancha.	21
Fotografía 8.1. Vista de la estación 5, conformada por areniscas, intercaladas con niveles de lutitas carbonosas de la Formación Oyón.	77
Fotografía 8.2. Vista de la estación 2, conformada mayoritariamente por areniscas de la Formación Chimú.	78

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1. Coordenadas del área evaluada.....	10
Tabla 8.1. Propiedades de suelos finos.....	79
Tabla 8.2. Valores referenciales del IP y del tipo de suelo.....	80
Tabla 11.1. Especificaciones técnicas de receptores GNSS CORS.....	102
Tabla 11.2. Especificaciones técnicas de Piezómetro electrónico.....	103
Tabla 11.3. Especificaciones técnicas de Sismómetros para el monitoreo de deslizamientos.....	104
Tabla 11.4. Especificaciones técnicas de Inclinómetro electrónico.....	105
Tabla 11.5. Especificaciones técnicas de Pluviómetro.....	106
Tabla 11.6. Especificaciones técnicas de cámara de video IP.....	106
Tabla 11.7. Especificaciones técnicas de kit de transmisión digital.....	107
Tabla 11.8. Especificaciones técnicas de paneles solares.....	108
Tabla 11.9. Especificaciones técnicas de batería de Litio.....	109
Tabla 11.10. Tipo de estaciones.....	112
Tabla 11.11. Coordenadas de cada estación y sensores con las que debe contar.....	114
Tabla 11.12. Coordenadas finales para cada punto de control y la precisión correspondiente.....	117

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1.1. Ruta de acceso.....	10
Cuadro 1.2. Distribución poblacional del caserío Millhuish.....	10
Cuadro 4.1. Rangos de pendiente del terreno (ver mapa 4.3).....	27
Cuadro 6.1. Coordenadas de inicio y fin de las secciones de tomografía eléctrica (LTE) en la zona de Millhuish.....	49
Cuadro 7.1. Caudales registrados en manantiales.....	55
Cuadro 7.2. Resumen de tipos de fuentes de agua.....	56
Cuadro 7.3. Resumen del inventario de fuentes en el caserío Millhuish, Vista Alegre y Chuyo.....	57
Cuadro 7.4. Resumen de los ensayos de infiltración en Millhuish y Vista Alegre.....	63
Cuadro 7.5. Clasificación de las unidades geológicas.....	65
Cuadro 7.6. Caracterización hidrogeológica según las formaciones geológicas.....	65
Cuadro 7.7. Resumen del análisis de aniones en muestras de agua.....	73
Cuadro 8.1. Valoración del macizo rocoso realizada en rocas de la Fm. Oyón.....	77
Cuadro 8.2. Valoración del macizo rocoso realizada en rocas de la Fm. Chimú.....	78
Cuadro 8.3. Resultado de las muestras analizadas en el Caserío Millhuish y alrededores.....	80
Cuadro 9.1. Valores de FS para diversas condiciones de análisis.....	83
Cuadro 9.2. Características físicas del suelo y roca.....	83
Cuadro 9.3. Factor de seguridad en taludes.....	84
Cuadro 10.1. Factores condicionantes y ponderación de pesos.....	91
Cuadro 10.2. Ponderación de las unidades litológicas en relación con el análisis de susceptibilidad a los movimientos en masa.....	92
Cuadro 10.3. Ponderación de las clases de pendiente del terreno en relación con el análisis de susceptibilidad a los movimientos en masa.....	92
Cuadro 10.4. Ponderación de las unidades geomorfológicas en relación con el análisis de susceptibilidad a los movimientos en masa.....	93
Cuadro 10.5. Ponderación de las unidades hidrogeológicas en relación con el análisis de susceptibilidad a los movimientos en masa.....	93
Cuadro 10.6. Ponderación del índice de humedad del suelo en relación con el análisis de susceptibilidad a los movimientos en masa.....	93
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.....	93
Cuadro 11.1. Descripción monográfica de la base CHAV.....	116

RESUMEN

El presente informe es el resultado de la evaluación ingeniero geológica, realizada en el caserío Millhuish, perteneciente al distrito 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 por movimientos en masa de la ladera donde se encuentra el caserío Millhuish.

El caserío Millhuish, alberga alrededor de 81 viviendas que se encuentran asentadas sobre depósitos coluvio - deluviales, compuesto por arena arcillosa con gravas (SC) medianamente consolidadas, de estructura masiva y baja plasticidad; sobresaturados debido a malas prácticas de riego (riego por aspersión prolongado en los cultivos de alfalfa), así como precipitaciones intensas y/o prolongadas; que hacen que estos depósitos sea fácilmente erosionables e inestables, produciéndose deslizamientos y derrumbes.

Hacia el este de Millhuish, afloran secuencias de rocas sedimentarias constituidas por areniscas y limoarcillitas con niveles de carbón de la Formación Oyón; también areniscas cuarzosas blancas de la Formación Chimú, calizas y arcillitas calcáreas de la Formación Santa y areniscas cuarzosas de grano medio a fino, que se intercalan con lutitas y limolitas de la Formación Carhuaz. Estas rocas conforman un macizo que se encuentran fallado, muy fracturado y meteorizado, de mala calidad geomecánica que condiciona la ocurrencia de movimientos en masa.

La zona de estudio presenta un relieve complejo, formado por montañas erosionadas, con pendiente de terreno que varían de fuerte a escarpado. La cartografía de peligros geológicos evidencia, en la actualidad, la presencia 53 procesos por movimientos en masa (MM) y otros peligros geológicos relacionados a erosión de laderas en cárcavas (5); además, de un peligro geohidrológico por erosión fluvial del río Mosna. De todos los MM identificados, 24 corresponden a deslizamientos, de los cuales 9 son considerados inactivos relictos, un ejemplo de estos se observa en el cerro Ocshatuna. También se ha identificado 2 deslizamientos inactivos latentes, ubicados en la quebrada Ulpiraqra y 13 deslizamientos activos se localizan en la parte baja del caserío Millhuish, margen derecha del río Mosna.

En la zona resaltan dos grandes eventos, el primero de tipo deslizamiento rotacional originado en el flanco oeste del cerro Ocshatuna y el segundo evento corresponde a una avalancha de rocas, en cuyo pie se emplaza el caserío Millhuish. Actualmente, en esta zona se evidencia deslizamientos y derrumbes activos, que afectan 10 viviendas, 40 ha de terrenos de cultivo y vías de comunicación. Además, la presencia de múltiples agrietamientos longitudinales, con aperturas de hasta 30 cm entre Vista Alegre y Millhuish, lo que nos indica la deformación continua del depósito y muestra una probable actividad retrogresiva del cuerpo del deslizamiento, y la probabilidad de producir nuevos eventos que también afectaría al caserío Vista Alegre. Así mismo, al pie del poblado se podrían generar, por erosión fluvial, derrumbes y deslizamientos que podrían represar el río Mosna, cuyo desembalse violento afectaría a las poblaciones asentadas aguas abajo, incluyendo sectores ribereños de San Marcos.

El principal deslizamiento activo de Millhuish, presenta un área de ~12.3 Ha, con dimensiones: corona de forma semicircular de 780 m de longitud con un escarpe de 4 m; siendo la distancia entre la corona y pie del evento, ubicado en el río Mosna, de 242 m.

La causa principal de la inestabilidad de la ladera, es la presencia de agua en el subsuelo, la cual proviene de la infiltración de precipitaciones pluviales. Además, a lo largo de la ladera se evidencia la presencia de manantiales indicativo de la sobresaturación del terreno,

aunado a ello se tiene el agua de riego de los cultivos de alfalfa (plantación que requiere bastante cantidad de agua y no debe sembrarse en laderas), que vienen siendo regados constantemente por riego tecnificado (6 a 7 horas diarias). Así como también, la pendiente fuerte a muy fuerte (15°- 45°) de la ladera y la erosión fluvial provocada por el río Mosna en su margen derecha.

Desde el punto de vista hidrogeológico, el caserío Millhuish se encuentra situado sobre un acuífero poroso no consolidado, caracterizado como algo permeable. Esta permeabilidad facilita la infiltración y circulación del agua en el suelo, contribuyendo en la inestabilidad de la ladera y reactivación del pie de la avalancha

El análisis de susceptibilidad a los movimientos en masa, se realizó siguiendo el método heurístico, se tomó en consideración seis parámetros como condicionantes (litología, pendiente, geomorfología, hidrogeología, TWI y cobertura vegetal), los cuales arrojaron valores de muy baja a muy alta susceptibilidad. Resaltan las zonas inestables del caserío Millhuish (~181 ha) catalogadas como zonas de Muy Alta susceptibilidad que corresponden a laderas con pendiente fuerte a muy fuerte; zonas con poca vegetación, y es en estos sectores donde se tiene movimientos en masa activos y con indicios de reactivación. Por sus características litológicas e hidrogeológicas corresponden a suelos inestables y saturados de agua por infiltración (riego y lluvias), originando el aumento de peso y pérdida de presión de poros de los materiales y por ende su inestabilidad.

Los resultados obtenidos a partir del análisis de estabilidad de taludes realizado en la parte baja del caserío Millhuish (perfil 6); tomando como base la sismicidad histórica e instrumental en la región, así como la presencia muy cercana de la Falla Activa de la Cordillera Blanca, nos muestra valores de 1.35 y 0.81, en condiciones estáticas y pseudo-estáticas respectivamente, lo que nos demuestra la inestabilidad de la ladera. Así también, la simulación empleada con 350m³/día de infiltración de agua al terreno nos muestra la inestabilidad de la ladera.

Finalmente, después de realizar estudios multidisciplinarios en campo y gabinete, se concluye que el caserío Millhuish presenta **susceptibilidad Alta a Muy Alta** ante la formación de movimientos en masa (deslizamientos) que afectan viviendas y terrenos de cultivo, como se ve actualmente. Además, se considera como **Zona Crítica** a movimientos en masa, en este sentido se recomienda reubicar a toda la población del caserío Millhuish, con la finalidad de salvaguardar la vida de la población. Así como también, realizar el EVAR correspondiente que servirá para asegurar las actividades económicas de la zona.

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.

El **INGEMMET y la Municipalidad Distrital de San Marcos** con fecha 29 de diciembre de 2023, firmaron un convenio específico con la finalidad de realizar la evaluación ingeniero geológica en el caserío Millhuish, donde se considera evaluar las condiciones de estabilidad de los movimientos en masa y fortalecer la cultura de prevención. Dicha evaluación se realizó entre los meses de junio a setiembre dividiéndose en trabajos de campo (02 al 13 de junio) y gabinete (18 de junio al 10 setiembre del 2024).

El presente estudio se enfoca en el análisis ingeniero geológico y geotécnico del Caserío de Millhuish y sus alrededores, es un estudio multidisciplinario con el objetivo de proponer recomendaciones de intervención en los problemas de estabilización de las laderas que comprometen la seguridad física del caserío Millhuish.

Este informe se pone en consideración de la Municipalidad Distrital de San Marcos y entidades encargadas en temas de gestión del riesgo de desastres (CENEPRED y Defensa Civil), en el cual se proporcionan resultados de la evaluación y recomendaciones para la mitigación y reducción del riesgo, a fin de que sea un instrumento técnico para la toma de decisiones.

1.1. Objetivo general

El objetivo general del estudio se enfoca en realizar la evaluación ingeniero geológica en el caserío Millhuish y su entorno, incluyendo la identificación de rasgos estructurales y mecanismos de movimiento del sitio.

1.1.1. Objetivos específicos:

- Actualizar la geología en el caserío Millhuish, 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 caserío Millhuish a 1/5 000.
- Realizar estudios de geofísica, con el método de tomografía eléctrica.
- Determinar las condiciones hidrológicas e hidrogeológicas en el caserío Millhuish.
- Caracterizar el macizo rocoso y los depósitos inconsolidados.
- Analizar las condiciones de estabilidad en el deslizamiento activo de Millhuish.
- Realizar el análisis de susceptibilidad a movimientos en masa en el caserío Millhuish 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.

1.2. Alcances

Para la evaluación de las condiciones de estabilidad de los movimientos en masa del caserío Millhuish (Rancas) se realizó las siguientes investigaciones básicas:

- Levantamiento fotogramétrico con equipo Dron no tripulado *Matrice*.
 - Caracterización litológica del macizo rocoso y depósitos cuaternarios, a través de un mapeo detallado y su correspondiente levantamiento de columnas estratigráficas.
 - Caracterización de las subunidades geomorfológicas.
 - Identificación y cartografía de peligros geológicos por movimientos en masa, peligros geohidrológicos y otros peligros, cubriendo un área total de 742 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).
 - Uso de métodos geofísicos de exploración como tomografía eléctrica.
 - 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 para identificar las zonas con probabilidades a generar movimientos en masa
- Monumentación de hitos como propuesta para monitoreo de deslizamientos y la deformación del terreno del caserío Millhuish y alrededores

1.3. Metodología

La metodología empleada para el presente estudio consta de tres etapas: Gabinete I, Campo 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.
- Fotointerpretación a través de imágenes satelitales con la finalidad de reconocer unidades geomorfológicas y depósitos superficiales cuaternarios.
- Reconocimiento y cartografiado de peligros geológicos por movimientos en masa (avalanchas, deslizamientos y derrumbes), peligros geohidrológicos (erosión fluvial) y otros peligros geológicos (erosión de ladera en cárcava), a partir de imágenes satelitales de alta resolución disponibles en la plataforma Google Earth, Terra Incógnita, entre otras.
- 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 02 al 13 de junio del 2024, durante este periodo de trabajo se realizó las siguientes actividades:

- Levantamiento fotogramétrico con Dron *Matrice*, abarcando todo el poblado de Millhuish y alrededores, lo que traduce a un área cubierta de aproximadamente 700 Ha.
- Caracterización de unidades litológicas, unidades geomorfológicas e 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.
- Identificación, cartografiado y caracterización de los peligros geológicos por movimientos en masa, peligros geohidrológicos y otros peligros geológicos a escala 1:5 000.
- Reunión con la población y autoridades del caserío de Millhuish, para la coordinación de los estudios a realizar.

Gabinete II:

Durante 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 mapas temáticos: litológico, geológico, geomorfológico, pendiente, TWI (Índice Topográfico de Humedad), hidrogeológico y la 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 Millhuish, utilizando software como Slide.
- Preparación y redacción del informe final.

1.4. Antecedentes y trabajos anteriores

- A. Informe Técnico N° A7470 “Evaluación de peligros geológicos en el caserío Millhuish, distrito de San Marcos, provincia Huari, departamento Áncash (Huayta *et al.*, 2024); menciona que debido a la geodinámica externa del caserío Millhuish, está considerada como Peligro Alto y Zona Crítica.
- B. Informe técnico N° A7361 “Peligros geológicos y zonas críticas entre Chavín de Huántar y Pomachaca” (Choquenaira *et al.*, 2023). Describe la cartografía realizada entre Chavín de Huántar y Pomachaca, a escala 1/25 000, donde el caserío Millhuish es considerado como zona crítica a deslizamientos.
- C. 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.

- D. Informe técnico. Movimientos en masa en la cuenca del río Huachecsa, Chavín de Huántar (Fidel *et al.*, 2007). Describe la cartografía de peligros geológicos a escala 1:25 000, donde identificaron deslizamientos en el caserío Millhuish. Así mismo, identificaron flujos de detritos en el río Mosna que descendió desde la parte alta del río Huachecsa.
- E. Informe técnico. Primer reporte “Zonas críticas por peligro geológico y geohidrológico en la región Áncash” (Zavala *et al.*, 2007). Determinó que el valle del río Mosna, desde Chavín de Huántar hasta la localidad de Puchca, es considerada como **Zona Crítica**, debido a la peligrosidad que representa ante la ocurrencia de derrumbes, deslizamientos y flujo de detritos, con evidencia de aluviones históricos en el valle.

1.5. Aspectos generales

1.5.1. Ubicación

El caserío de Millhuish se encuentra ubicado en la margen derecha del río Mosna, entre las quebradas Rajra y Ulpirajra, a 4.6 km al suroeste de Chavín de Huántar. Políticamente, pertenece al distrito San Marcos, provincia de Huari y departamento de Áncash (figura 1.1), localizadas en las siguientes coordenadas UTM (WGS84 – Zona 18S) Tabla 1.1:

Tabla 1.1. Coordenadas del área evaluada.

Vértice	UTM - WGS84 - Zona 18S		Geográficas	
	Este	Norte	Latitud	Longitud
1	262223	8943755	-9.548549°	-77.166172°
2	264731	8942008	-9.564480°	-77.143434°
3	264495	8940072	-9.581966°	-77.145693°
4	261042	8940224	-9.580396°	-77.177129°
COORDENADA CENTRAL DE LA ZONA EVALUADA O EVENTO PRINCIPAL				
Coordenada principal	262080	8941928	-9.565045°	-77.167570°

1.1.1. Accesibilidad

El acceso a la zona de estudio se realizó por vía terrestre desde la oficina central de Ingemmet (Lima), hasta el caserío Millhuish (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 – Millhuish	Trocha carrozable	4.6	16 minutos

1.1.1. Características de la población

Según el censo 2017 de vivienda y población (INEI, 2017), la distribución poblacional en el centro poblado Millhuish asciende a 115 habitantes y 55 viviendas (cuadro 1.2), actualmente, se tiene 81 viviendas.

Cuadro 1.2. Distribución poblacional del caserío Millhuish.

DISTRITO	POBLADO	POBLACIÓN	VIVIENDA
San Marcos	Millhuish	115	55

Fuente: INEI

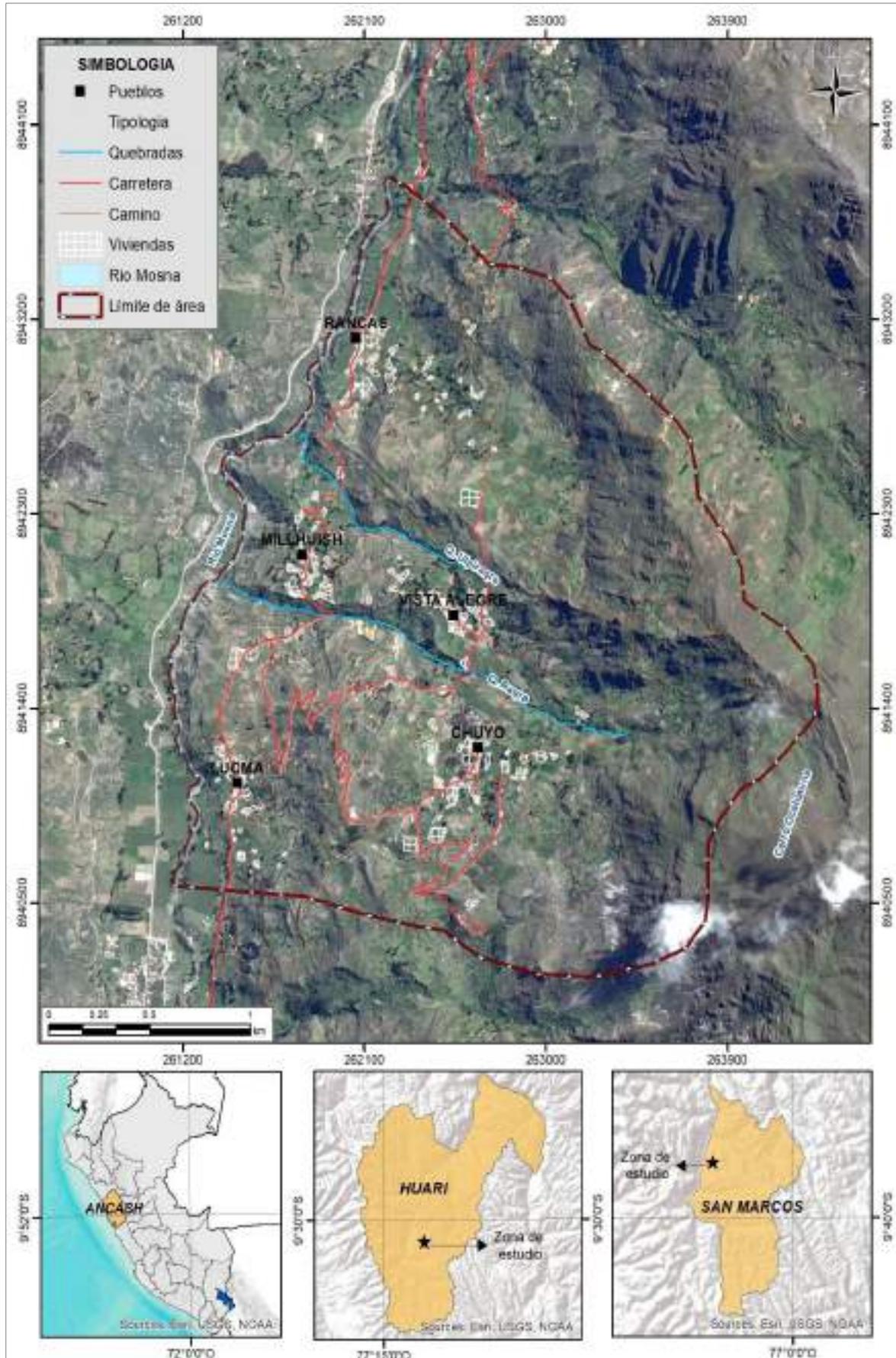


Figura 1.1. Mapa de ubicación del área de estudio.

1.1.2. 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.

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).

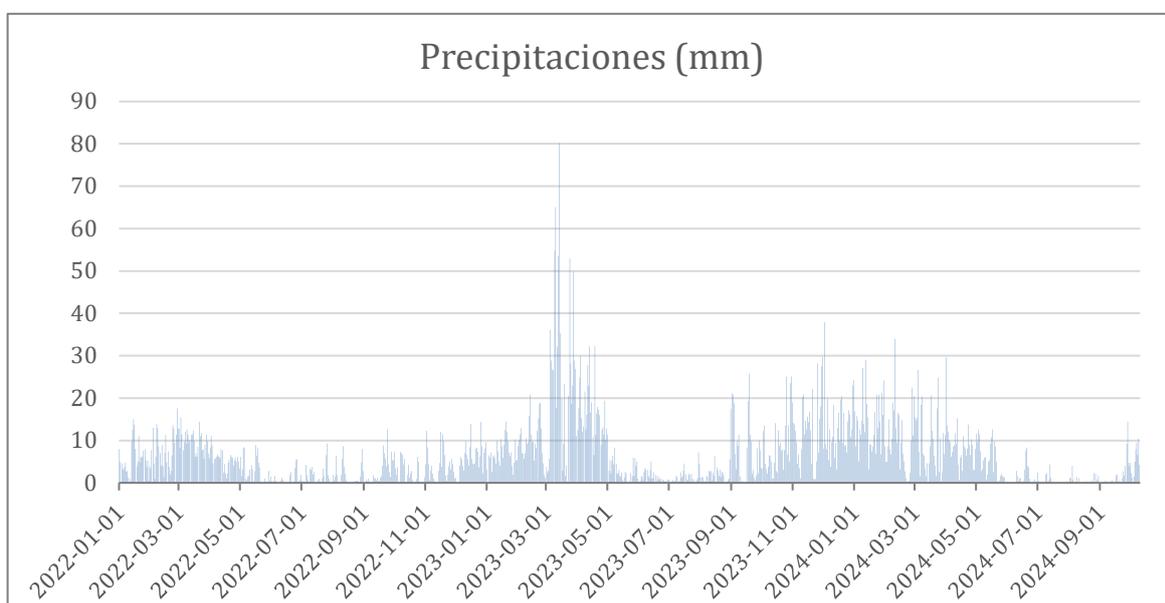


Figura 1.2. Precipitaciones máximas diarias en mm, distribuidas a lo largo del periodo 2022-2024. Fuente: Landviewer, disponible en: <https://cropmonitoring.eos.com/weather-history/field/9082407>.

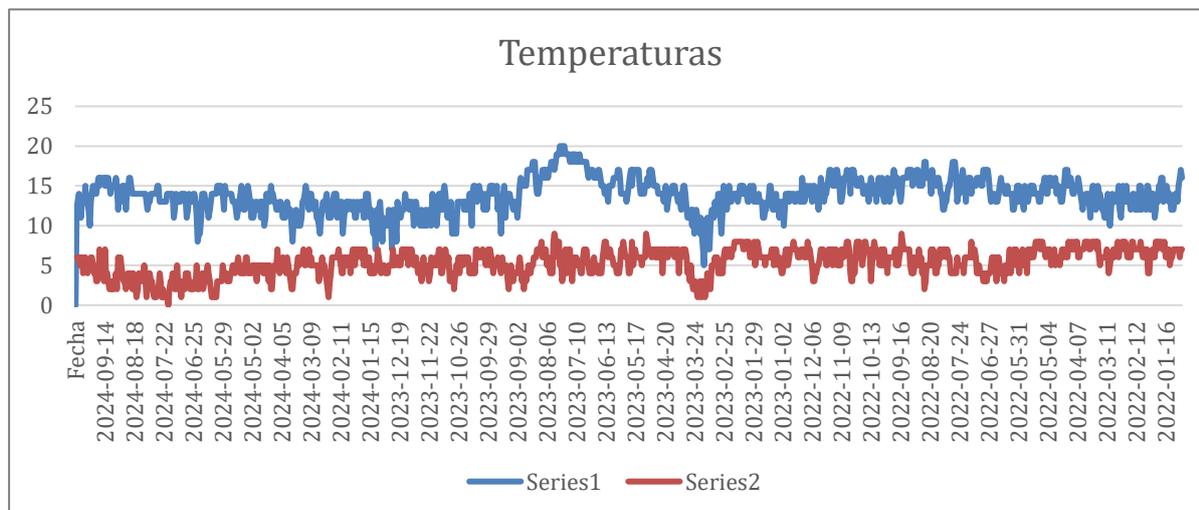


Figura 1.3. Temperaturas máximas y mínimas diarias, distribuidas a lo largo del periodo 2022-2024. Fuente: Landviewer, disponible en: <https://crop-monitoring.eos.com/weather-history/field/9082407>.

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 la Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico del Ingemmet formó parte del grupo GEMMA de esta publicación. 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.

Avalancha de detritos: Flujo no canalizado de detritos saturados o parcialmente saturados, poco profundos, muy rápidos a extremadamente rápidos. Estos movimientos comienzan como un deslizamiento superficial de una masa de detritos que al desplazarse sufre una considerable distorsión interna y toma la condición de flujo. Relacionado con la ausencia de canalización de estos movimientos, está el hecho de que presentan un menor grado de saturación que los flujos de detritos, y que no tienen un ordenamiento de la granulometría del material en sentido longitudinal, ni tampoco un frente de material grueso en la zona distal (Hung et al., 2001).

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.

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

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 de laderas: Se manifiesta a manera de láminas, surcos y cárcavas en los terrenos. Un intenso patrón de estos tipos de erosiones se denomina tierras malas o bad lands. Este proceso comienza con canales muy delgados cuyas dimensiones, a medida que persiste la erosión, pueden variar y aumentar desde estrechas y poco profundas (< 1 m) hasta amplias y de varios metros de profundidad.

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

La geología de Millhuish (Figura 3.1) se desarrolló en base a la información obtenida en campo. Además, la cartografía y toma de datos realizada en campo, apoyada con imágenes satelitales y fotografías aéreas permitió completar un mapa geológico a escala 1/5 000 (Figura 3.1; Anexo 1). Donde, el basamento rocoso, correspondiente a rocas sedimentarias se encuentra cubierta por depósitos Cuaternarios.

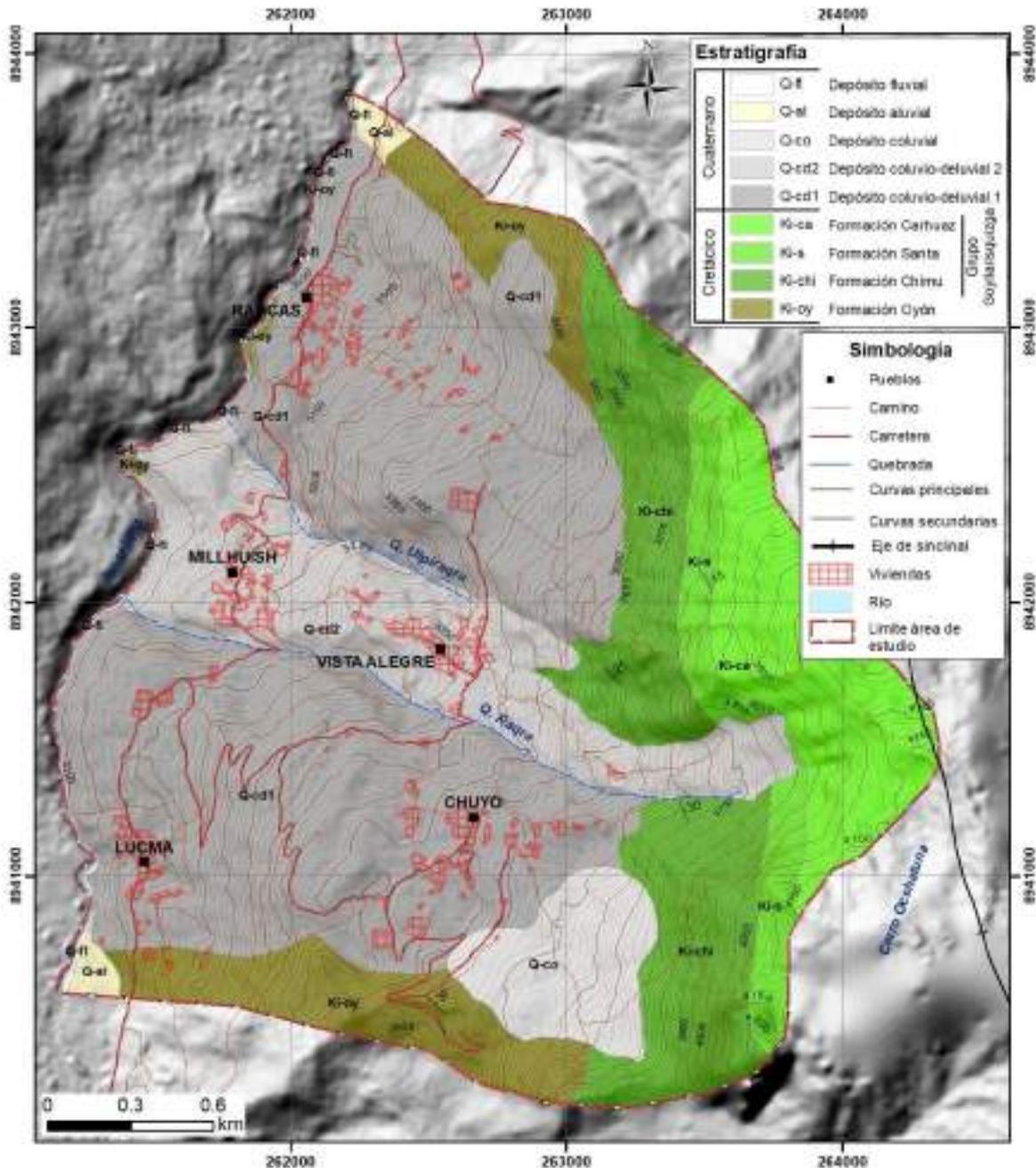


Figura 3.1. Mapa geológico del área de estudio. El basamento rocoso corresponde a rocas cretácicas que están cubiertas por depósitos Cuaternarios.

3.1. Unidades Litoestratigráficas

La estratigrafía está conformada por rocas Cretácicas y depósitos Cuaternarios originados

posiblemente durante el Pleistoceno y los más recientes durante el Holoceno (Figura 3.1):

3.1.1. Cretácico

- 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.

En la zona de estudio se ubica en la margen derecha del río Mosna, presenta una dirección preferencial N 2° y buzamiento de 21° al Este (Figura 3.2), conformada por limolitas, lutitas gris oscuras en estratos delgados de 5 a 30 cm intercaladas con areniscas pardo amarillentas, grises y gris claras en estratos gruesos. Debido al plegamiento y deformación de los estratos se encuentran fallas de tipo inversa (Figura 3.3) con dirección N142° y buzamiento 45° al SW.

- Grupo Goyllarisquizga

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

- Formación Chimú (Ki-chi)

Aflora en el cerro Ocshatuna, en contacto concordante a la Formación Oyón e infrayace a la Formación Santa con similar contacto (Figura 3.4). Está conformada por estratos de areniscas blancas macizas en capas de espesor de 1 a 3 m, hacia la parte inferior se encuentra intercalada con lutitas gris oscuras y carbón, presenta una dirección preferente N 20° y buzamiento 28° al Sureste.

- Formación Santa (Ki-s)

En el área de estudio, esta Formación se encuentra en la parte media - alta del cerro Ocshatuna (Figura 3.4), con dirección preferente N 10° y buzamiento 28° al Sureste. Yace de forma concordante sobre la Formación Chimú. Está compuesta de calizas color azul grisáceo con una meteorización característica de corteza azulina, en estratos de 10 cm a 1 m de espesor.

- Formación Carhuaz (Ki-ca)

Aflora ampliamente en el cerro Ocshatuna (Figuras 3.4 y 3.5) viene a ser parte del anticlinal erosionado, con dirección N 10° y buzamiento 30° al sureste. Esta Formación yace concordante sobre la Formación Santa, conformado por limoarcillitas y capas de arenisca cuarcífera, y la parte superior está constituida por limoarcillitas rojas y limolitas de color pardo gris.

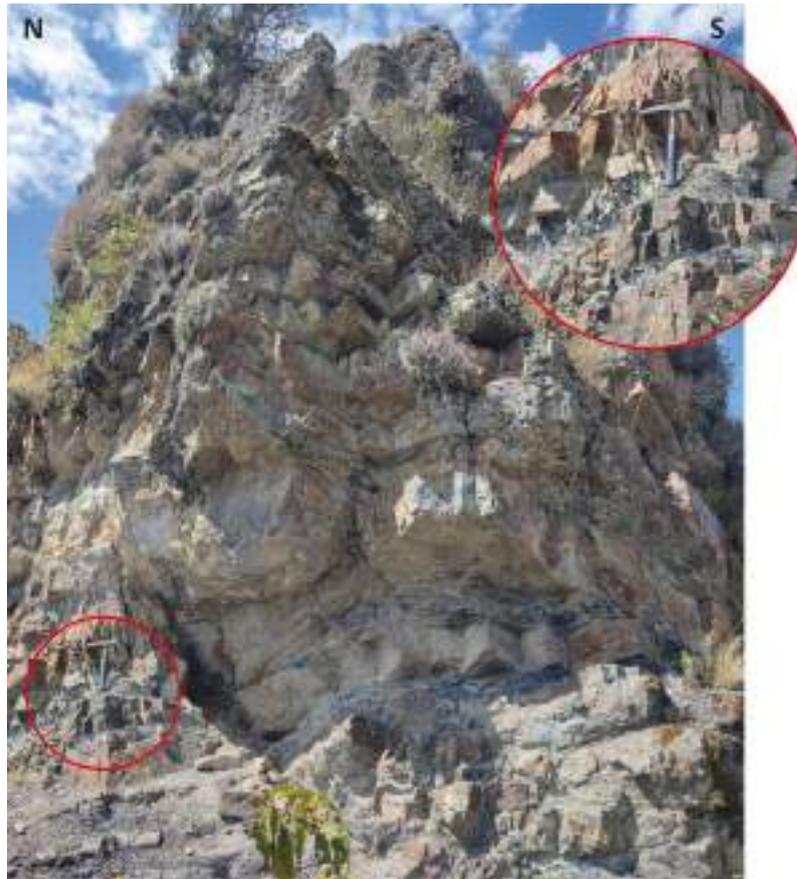


Figura 3.2. Afloramiento de rocas de la Formación Oyón, que viene a ser la intercalación de areniscas, limolitas y lutitas gris oscuras como se observa en el detalle (círculo rojo). Vista al Este.



Figura 3.3. Presencia de falla inversa en la Formación Oyón producto del plegamiento y deformación, con dirección N142° y buzamiento 45° al suroeste. Vista al Noroeste.



Figura 3.4. Vista al Sureste de la secuencia estratigráfica de rocas Cretácicas (formaciones Oyón, Chimú, Santa y Carhuaz) todas presentan una estratificación concordante.

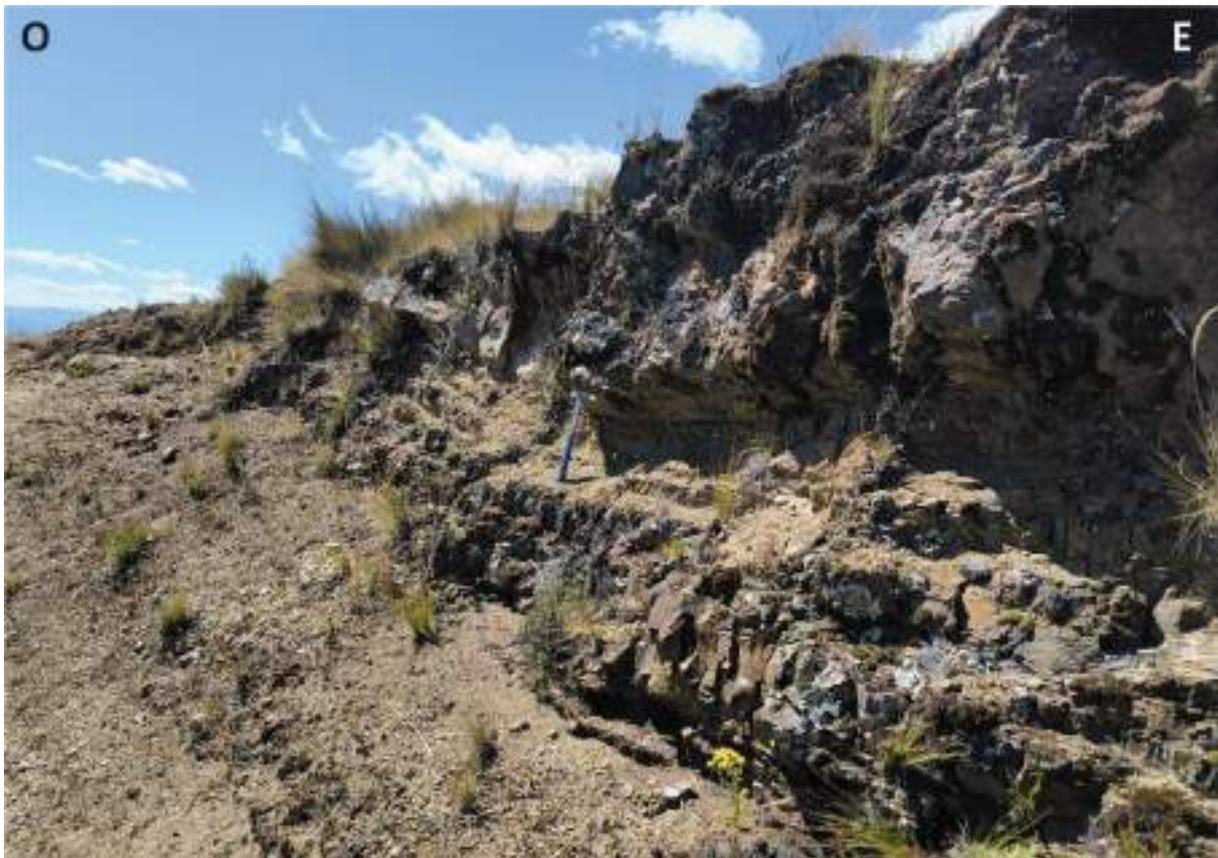


Figura 3.5. Estratificación de la Formación Carhuaz en la parte alta del cerro Ocshatuna, con dirección de los estratos es N 10° y buzamiento 30°sureste. Vista al Norte.

3.1.2. Cuaternario

- 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 por efectos de agua 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, los cuales se describe a continuación:

Depósito coluvio-deluvial 1 (Q-cd1), corresponde a depósitos originados a partir de un deslizamiento de tipo rotacional en la ladera este del cerro Ocshatuna, este depósito presenta parte de la estratigrafía preservada ya que corresponde a un movimiento en bloque muy fracturado, diaclasado y meteorizado; los bloques presentan estratificación que corresponden a las formaciones cretácicas (Oyón, Chimú, Santa y Carhuaz) pero las direcciones y buzamientos son variados, en muchos de estos sectores se hicieron canteras para la extracción como material agregado (Fotografía 3.1) debido a la meteorización producto del agua y el grado de deformación de las rocas. Sobre estos depósitos se han asentado poblaciones como Rancas, Lucma y Chuyo.

Depósito coluvio-deluvial 2 (Q-cd2), corresponde a depósitos originados a partir de una avalancha de rocas, este depósito se presenta como un flujo granular de rocas, compuesto por bloques, cantos rodados y gravas; posteriormente, por erosión de sedimentos se ha compactado, formando una matriz areno arcillosa (Fotografía 3.2). Sobre estos depósitos se han asentado los caseríos de Millhuish y Vista Alegre; además, son utilizados como terrenos de cultivo.



Fotografía 3.1. Depósito coluvio-deluvial 1, corresponde al cuerpo del deslizamiento, debido al gran fracturamiento de las rocas estas se utilizan como material agregado.



Fotografía 3.2. Depósito coluvio-deluvial 2, se observa cantos rodados subangulosos envueltos en matriz areno arcillosa que corresponde al cuerpo de la avalancha.

- **Depósito coluvial (Q-co)**

Este depósito se emplaza al sur del área de estudio, en la parte media de la ladera del cerro Ocshatuna, compuesto por bloques angulosos a subangulosos, generado por derrumbe y/o caída de rocas. Están distribuidos de forma caótica y heterométrica, los bloques corresponden a areniscas cuarzosas de las formaciones Chimú y Oyón, con diámetros de hasta 5 m.

- **Depósito aluvial (Q-al)**

Se encuentra dispuesto al norte y sur del área de estudio, y en la margen derecha del río Mosna, en forma de terrazas. Está compuesto por bloques subredondeados, gravas y arenas gruesas, en matriz limosa.

- **Depósito fluvial (Q-fl)**

Se disponen a lo largo del cauce del río Mosna, están compuestos por bloques y fragmentos de rocas redondeados a subredondeados y arenas gruesas.

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 de 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 produce 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 rellenadas por sedimentos derivados del bloque del Marañón y también del cratón de Brasil, también 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 3.6). En este último se encuentra la cuenca Chavín controlado por fallas importantes en el complejo del Marañón.

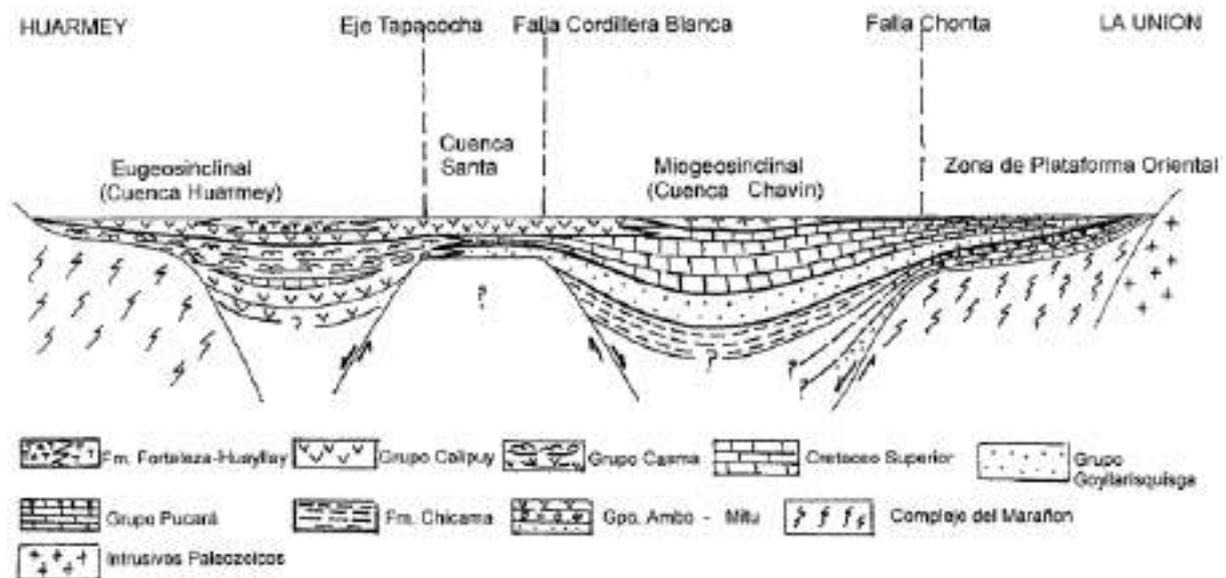


Figura 3.6. Esquema Diagramático de las relaciones Estratigráficas y Facies desde el Paleozoico Superior, Sección Huarmey - La Unión (Tomado de Cobbing et al., 1996).

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, Paleógeno y Neógeno (Figura 3.7).

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 3.8).

4. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS

4.1. Modelo digital de elevaciones

Un modelo digital del terreno (MDT), viene 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. Además, es 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 17 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 para generar los mapas temáticos.

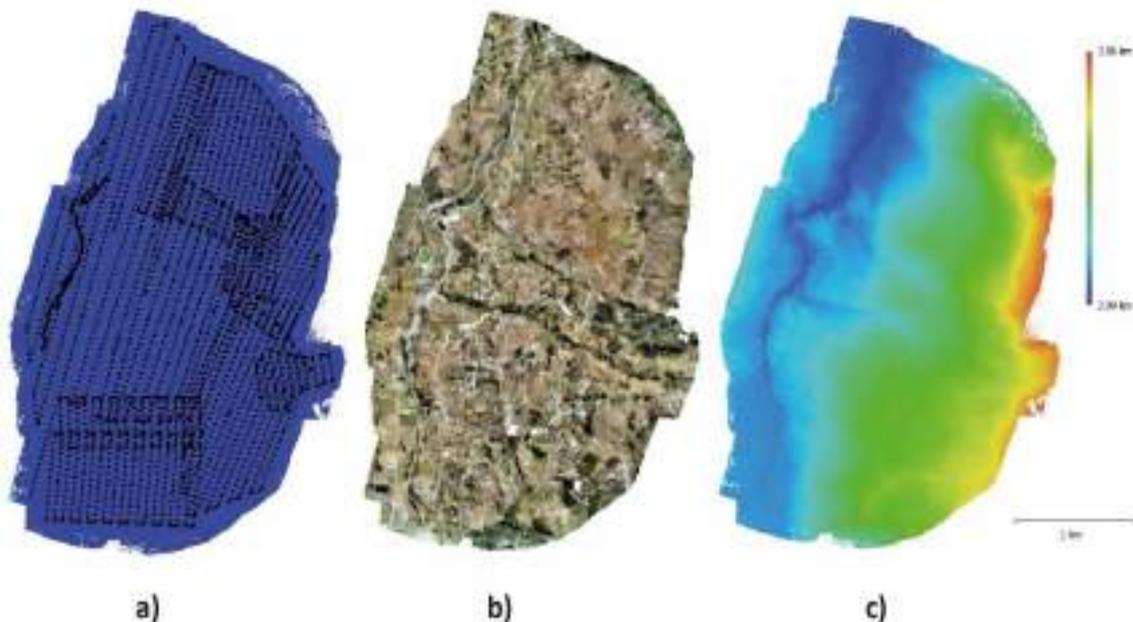


Figura 4.1. Generación de un DEM a partir de fotogrametría con Drone. a) Líneas de sobre vuelo y posición de la cámara. b) obtención de la ortofoto y c) generación del DEM a 17 cm de resolución.

Haciendo un análisis de la elevación del terreno, podemos observar que en la zona de estudio se tiene más de 1300 m de diferencia entre el fondo del valle del río Mosna y el cerro Ocshatuna (Figura 4.2); así también, el caserío Millhuish se ubica a 90 m de diferencia por encima del río Mosna.

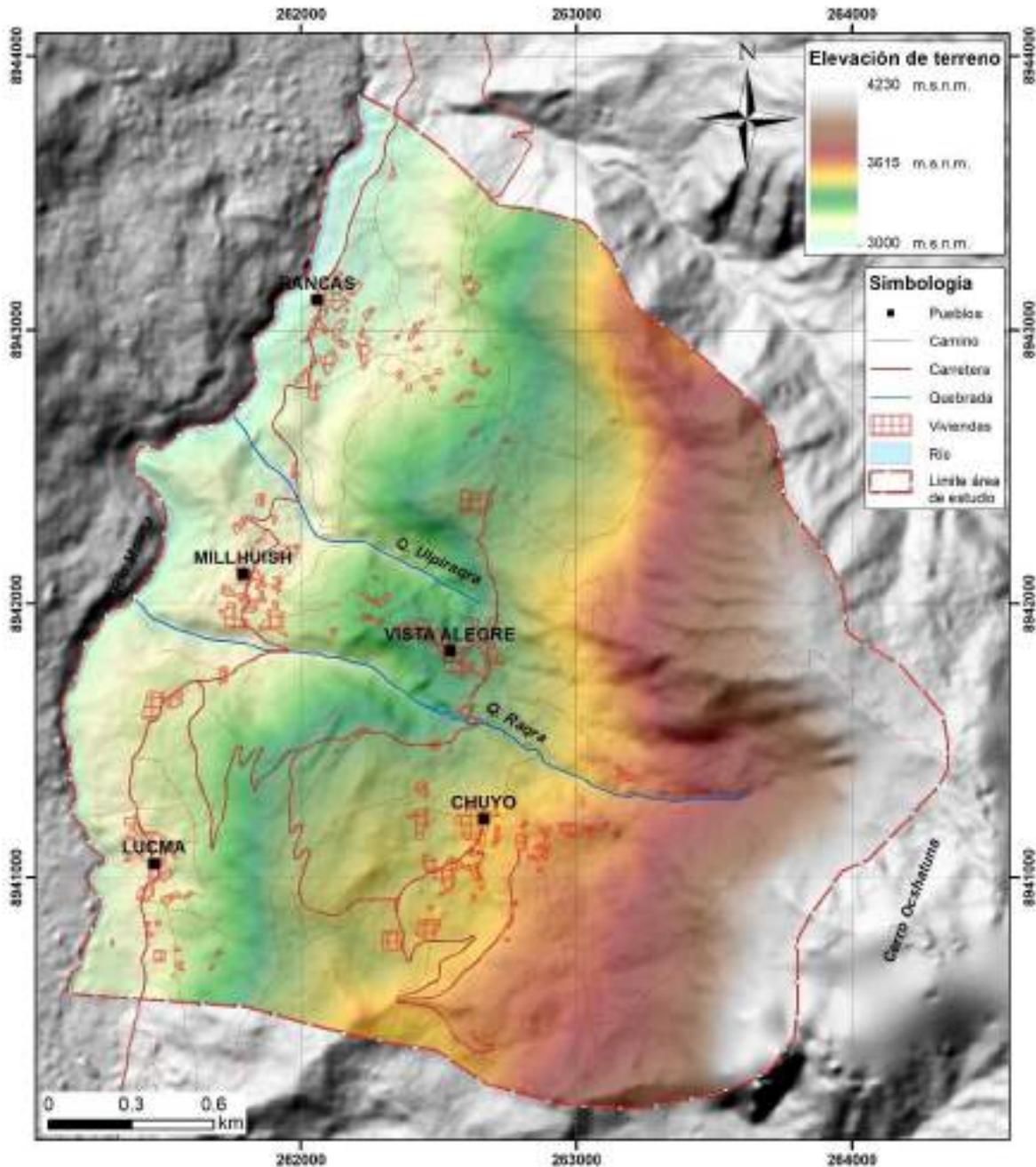


Figura 4.2. Mapa de elevación del terreno a partir del DEM de 6 m de resolución, donde se puede observar más de 1300 m de diferencia entre el valle del río Mosna y el cerro Ocshatuna.

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 4.3) se elaboró con ayuda del software ArcGis, para el cual se utilizó como base el modelo de elevación digital (DEM) de 6 m de resolución.

Se diferenciaron 6 rangos de pendientes como se detalla en el cuadro 5.1, donde el 80 % de la superficie topográfica del área de estudio presenta pendientes fuertes, muy fuertes y terrenos muy escarpados. Este rango de pendientes se observa en el flanco oeste del cerro

Ocshatuna, a lo largo de las quebradas Ulpiraqra y Raqra, también a lo largo del flanco derecho del río Mosna.

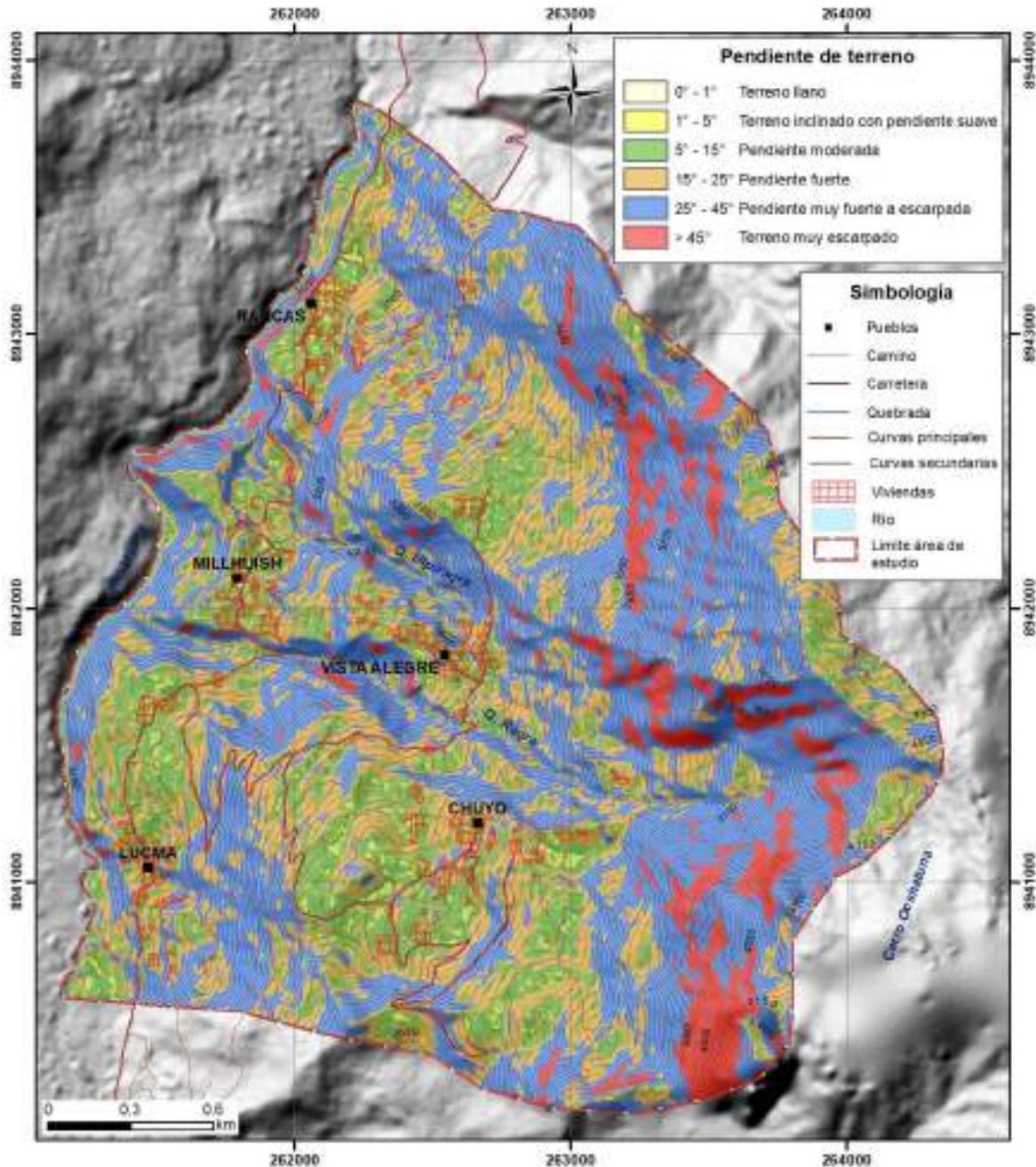


Figura 4.3. Mapa de pendiente del terreno. Se puede observar que gran parte del terreno presenta pendientes entre fuerte a muy escarpado ver Cuadro 4.1.

El caserío Millhuish se encuentra asentado sobre pendiente que varía de suave (1°-5°) a moderado (5°-15°), hacia el sureste, en dirección al caserío Vista Alegre cambia la pendiente de fuerte (15°-25°) a muy fuerte (25°-45°), siendo este un condicionante para la reactivación de la ladera en movimientos en masa tipo deslizamiento. Este último rango de pendientes abarca gran parte del área de estudio, cubriendo un área de 3.4 km² (cuadro 4.1).

Las zonas escarpadas del deslizamiento de Millhuish presentan pendiente muy fuerte (25°-45°) a muy escarpada (>45°), factor que ha contribuido en la reactivación de este evento.

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	0.015	0.20
	1° - 5°	Terreno inclinado con pendiente suave	0.121	1.63
	5° - 15°	Pendiente moderada	1.344	18.18
	15° - 25°	Pendiente fuerte	1.998	27.02
	25° - 45°	Pendiente muy fuerte o escarpada	3.399	45.98
	> 45°	Terreno muy escarpado	0.517	6.99
Área total			7.39	100

4.3. Índice Topográfico de Humedad (TWI)

El Índice Topográfico de Humedad (TWI) permite identificar los lugares potenciales donde se concentra la humedad o las zonas de acumulación de aguas de escorrentía superficial debido a la topografía. Este indicador viene a ser una medida derivada de los Modelos Digitales de Elevación (DEMs) que combina la pendiente del terreno y la acumulación del flujo de agua para determinar áreas potencialmente húmedas. Para el procesamiento se realizó con ayuda del programa SAGA GIS.

En el área de estudio se observa que hay varias zonas con mayor acumulación de agua que llegan a discurrir hasta el río Mosna, estas zonas de acumulación están controladas por la pendiente del terreno, donde ~ 80% presentan pendiente entre fuertes a escarpadas (Figura 4.3). En la figura 4.4 se observa que las zonas saturadas inician en la parte alta del cerro Ocshatuna, hacia el sector de Rancas se observa la mayor cantidad de acumulación de agua, el cual discurre en dirección noroeste. De la misma manera, se observa el sector de Chuyo y Lucma, pero a diferencia del primer poblado, estas zonas húmedas, discurren en dirección oeste.

Las quebradas Upiraqa y Raqra son medios por el cual discurre el agua y llega al río Mosna, mostrándose en el mapa como zonas de alto saturamiento. El caserío Vista Alegre presenta gran acumulación de agua, corroborados en campo con las evidencias de manantiales y filtraciones.

En el caserío Millhuish se observa humedad entre media a alta, contribuido por el grado de pendiente, mientras que, hacia el talud del deslizamiento de Millhuish se presentan zonas con contenido de humedad alta.

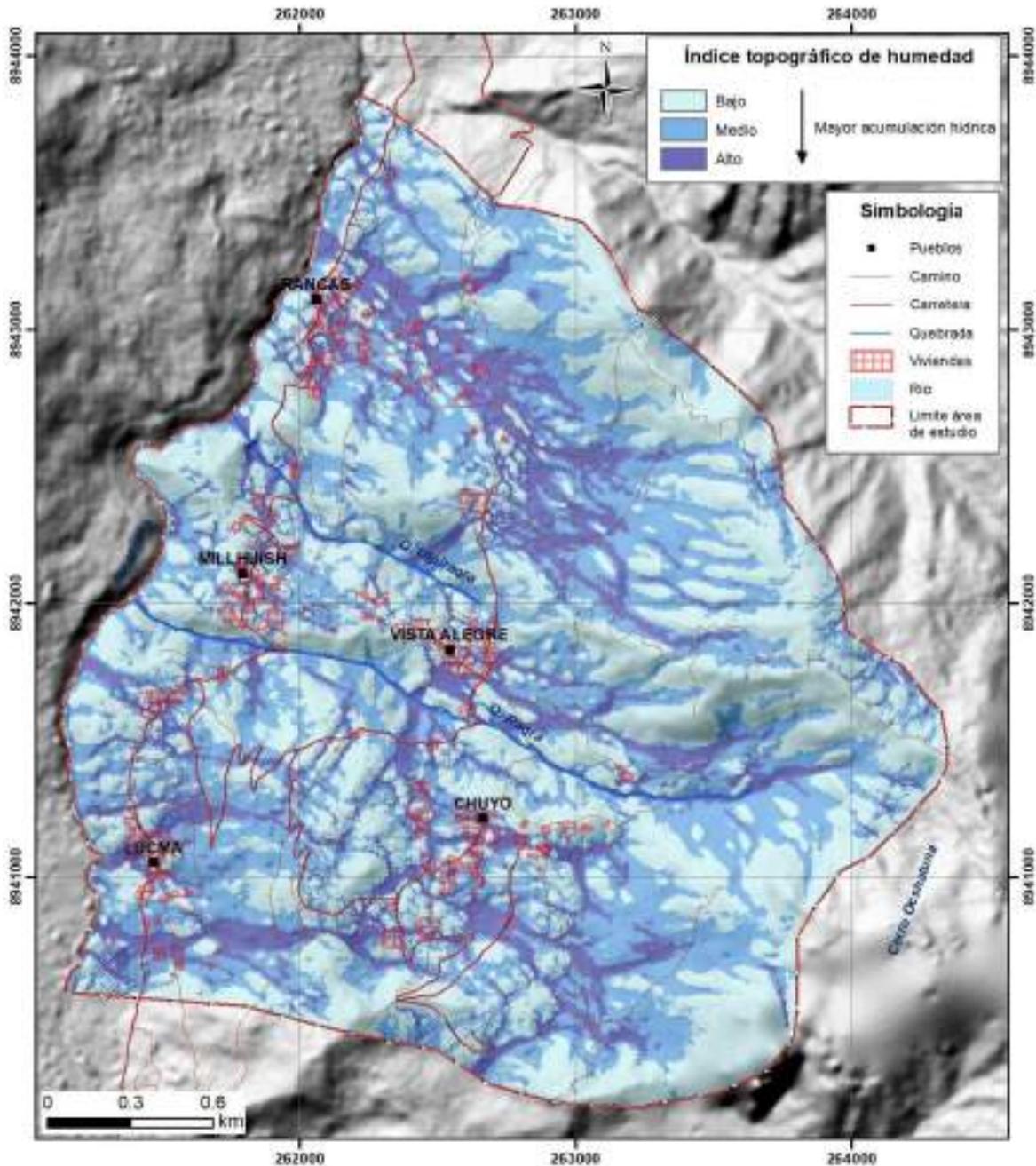


Figura 4.4. Mapa de Índice topográfico de humedad, donde se observa las zonas con mayor acumulación de humedad debido a la topografía de la zona de estudio.

4.4. Caracterización geomorfológica

La zona de estudio se encuentra ubicada detrás de la Cordillera Occidental, que, por su morfología, pendiente, características litológicas y la naturaleza de los suelos junto con los factores desencadenantes (lluvias, sismicidad y actividad antrópica), presentan una gran variedad de procesos de movimientos en masa. Para la caracterización de las unidades geomorfológicas en el área de estudio (Figura 4.5), 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., 2019).

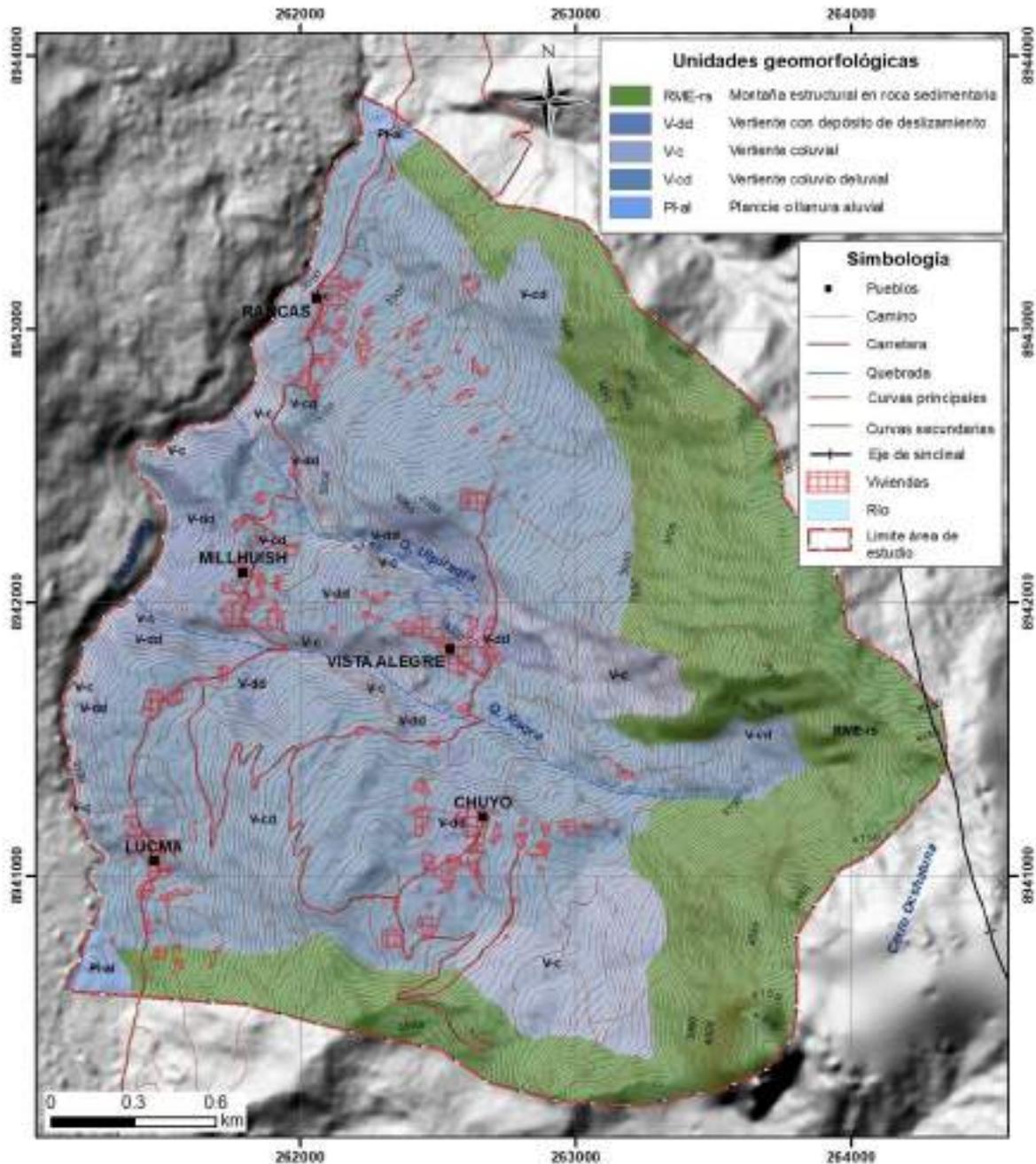


Figura 4.5. Mapa geomorfológico de la zona de estudio.

4.4.1. Unidad de montañas

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). En la zona de estudio esta unidad corresponde al cerro Ocshatuna, de cima alargada – puntiaguda,

dispuestas en dirección noroeste – sureste (Figuras 4.5 y 4.6). Tiene un origen sedimentario, se encuentra plegado y deformado, lo que favoreció la ocurrencia de deslizamientos de grandes proporciones, los cuales se hallan dispuestos de manera escalonada y originan un relieve muy escarpado, con montañas erosionadas y valles profundos característico de la zona. La pendiente de la ladera varía de fuerte (15° - 25°) a escarpada ($>45^{\circ}$).

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:

- **Vertiente con depósito de deslizamiento (V-dd).** Esta subunidad corresponde a las acumulaciones de ladera originadas por deslizamiento, de corto a mediano recorrido relacionados a las laderas superiores adyacentes. En la zona de estudio, esta subunidad se encuentra en las quebradas Urpiraqra, Raqra y el flanco derecho del río Mosna, originadas principalmente en laderas de pendiente muy fuerte a escarpadas (25° - 45°). Presentan una morfología convexa y su disposición semicircular a elongada en relación a la zona de arranque.

- **Vertiente coluvial (V-c).** Se ubica al sureste, en la parte media del cerro Ocshatuna a manera de depósito de derrumbe, también se encuentra en las quebradas Urpiraqra, Raqra y el flanco derecho del río Mosna formada por la acumulación de material detrítico heterogéneo, de formas angulosos a subangulosos, originado por la acumulación de material caído desde las partes altas de laderas de pendiente muy fuerte a escarpadas, por acción de la gravedad.

- **Vertiente coluvio deluvial (V-cd).** Se presenta en la parte media y baja del cerro Ocshatuna, formadas por la acumulación intercalada de materiales de origen coluvial y deluvial, que por su complicada interestratificación hacen muy difícil dividir uno del otro. En esta subunidad se dan los mayores procesos de movimientos en masa (deslizamientos, avalanchas).

4.4.3. Unidad de planicies

- **Planicie o terraza aluvial (PI-al).** Esta subunidad se localiza al norte y sur de la zona de estudio, corresponde a los niveles recientes de terrazas aluviales formadas por material acarreado del río Mosna, cuando un río corta su propio valle, creando un nuevo lecho más bajo y dejando la antigua llanura de inundación en una posición más alta. Está asociada a procesos de erosión fluvial.

Estas planicies son suelos fértiles y utilizadas frecuentemente para la agricultura debido a la rica capa de sedimentos que se deposita.



Figura 4.6. Unidades geomorfológicas de la zona de estudio. RME-rs: Subunidad de Montaña estructural en roca sedimentaria; V-dd: Vertiente con depósito de deslizamiento; V-c: Vertiente coluvial; V-cd: Vertiente coluvio deluvial. Vista al Este.

5. PELIGROS GEOLÓGICOS

Los peligros geológicos identificados en la zona de estudio (Figura 5.1), corresponden a movimientos en masa de tipo deslizamientos, derrumbes y avalanchas. Estos fenómenos gravitacionales influyen en la evolución geomorfológica y la erosión de las montañas (Korup et al., 2007; Roering, 2012). Pueden ser desencadenados por fenómenos climáticos, tectónicos y la intervención antrópica.

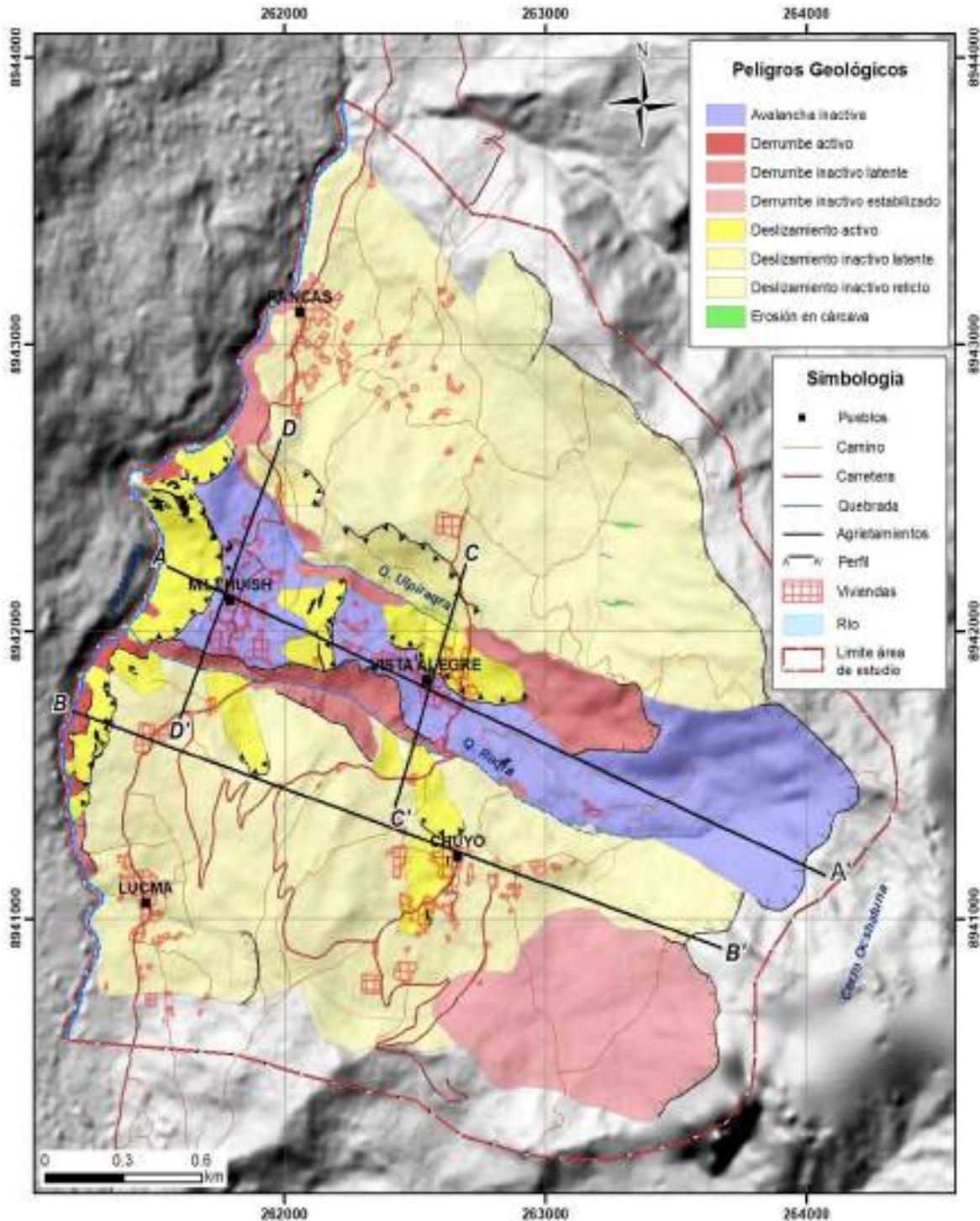


Figura 5.1. Cartografía e inventario de peligros geológicos en la zona de estudio.

En la zona de estudio se realizaron cuatro secciones AA', BB', CC' y DD' (Figuras 5.2, 5.3, 5.4 y 5.5) que combinan la parte geodinámica y estratigráfica, los cuales dan una visión sobre los controles en la deformación del terreno y la reactivación de nuevos deslizamientos.

La sección AA' corresponde a un corte desde el Cerro Oshatuna hasta el río Mosna donde se observa los dos depósitos coluvio - deluviales correspondientes al deslizamiento rotacional (Q-cd1) y la avalancha de rocas (Q-cd2); sobre este último es asentaron los caseríos de Millhuish y Vista Alegre, además se puede observar que este depósito es el que muestra evidencias de deformación en el terreno y reactivaciones en la parte baja (Figura 5.2).

La sección BB' es un corte paralelo a la sección AA', se encuentra a ~500 m. En esta sección se evidencia el depósito coluvio - deluvial (Q-cd1) correspondiente al deslizamiento rotacional, sobre el cual se encuentra asentado el poblado de Chuyo. Además, se observa deformación superficial (deslizamiento y grietas en el terreno), hacia el pie del deslizamiento se evidencian reactivaciones que ponen en peligro a la IE. N° 86465 (Figura 5.3).

Las secciones CC' y DD' son secciones transversales a la sección AA' donde principalmente se puede apreciar cómo se encuentran distribuidos los depósitos coluvio deluviales y los espesores en la parte media (Sección CC') y la parte baja (Sección DD') de la avalancha de rocas y deslizamiento rotacional.

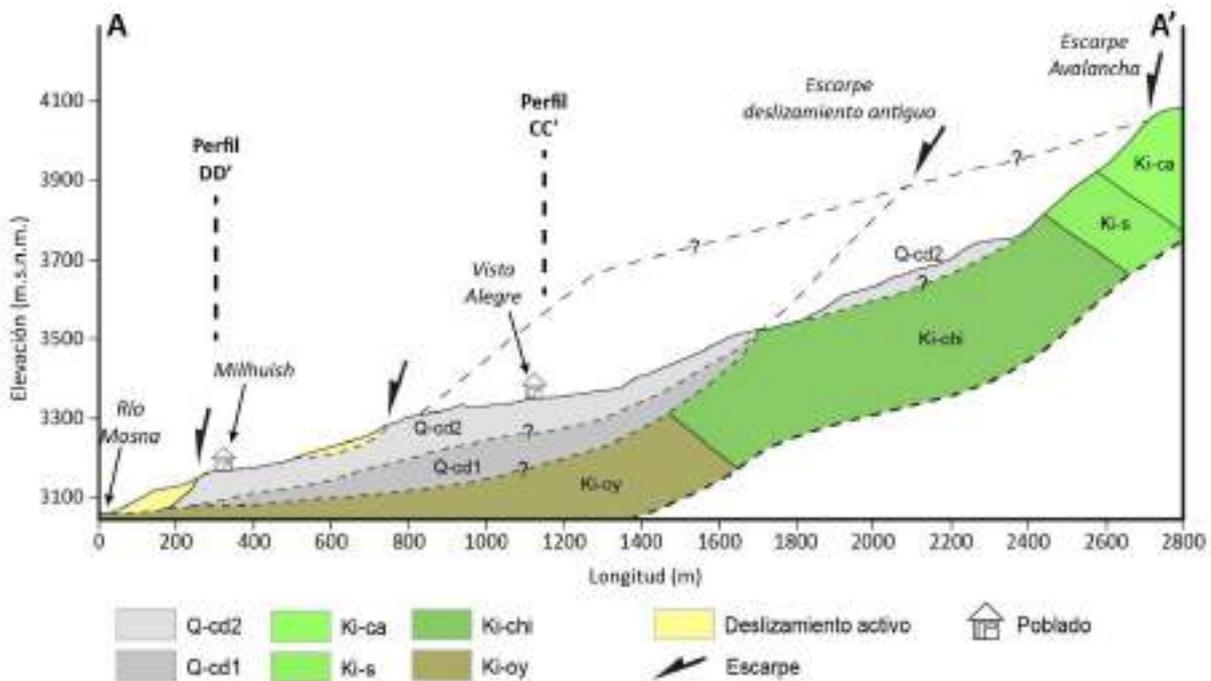


Figura 5.2. Perfil AA', desde el río Mosna hasta la parte alta del cerro Ocshatuna, donde se observa los depósitos antiguos correspondiente al deslizamiento y avalancha.

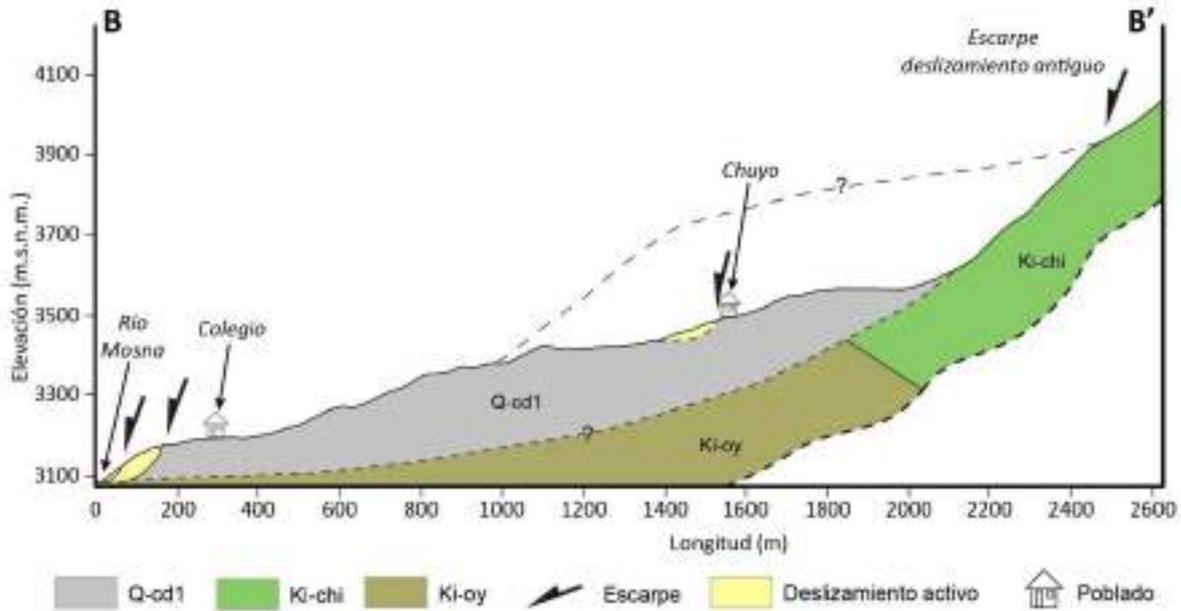


Figura 5.3. Perfil BB', desde el río Mosna hasta la parte alta del cerro Ocshatuna, se observa el depósito del deslizamiento antiguo, con evidencia de reactivaciones hacia el pie del deslizamiento.

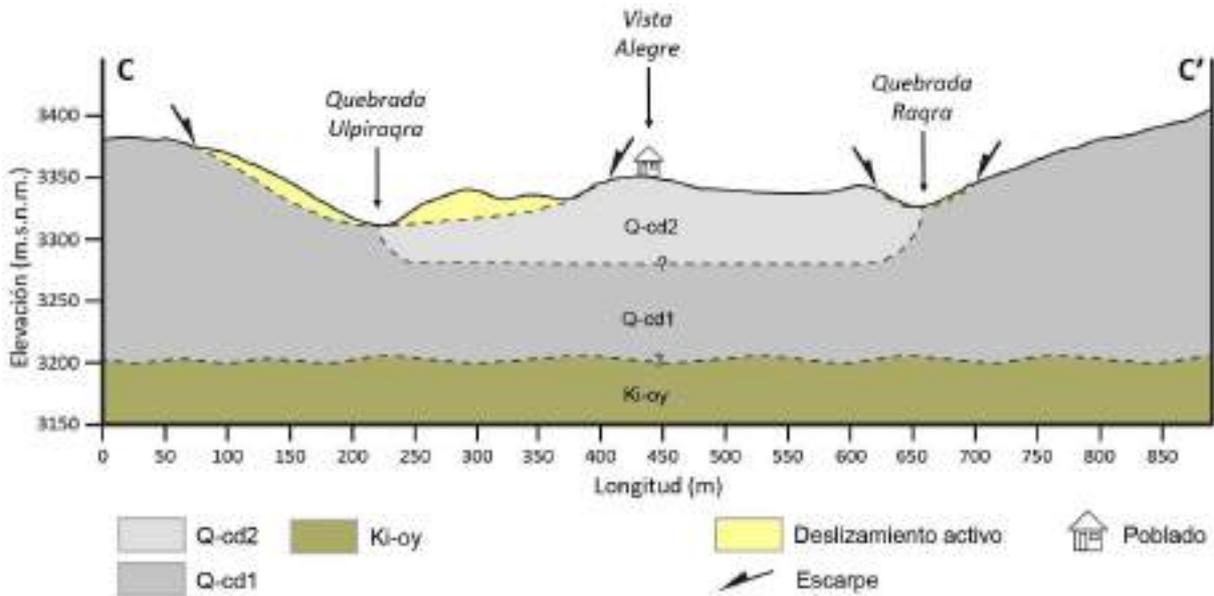


Figura 5.4. Perfil CC', perpendicular al centro poblado Vista Alegre. Donde se observa los depósitos antiguos correspondiente al deslizamiento reciente y avalancha.

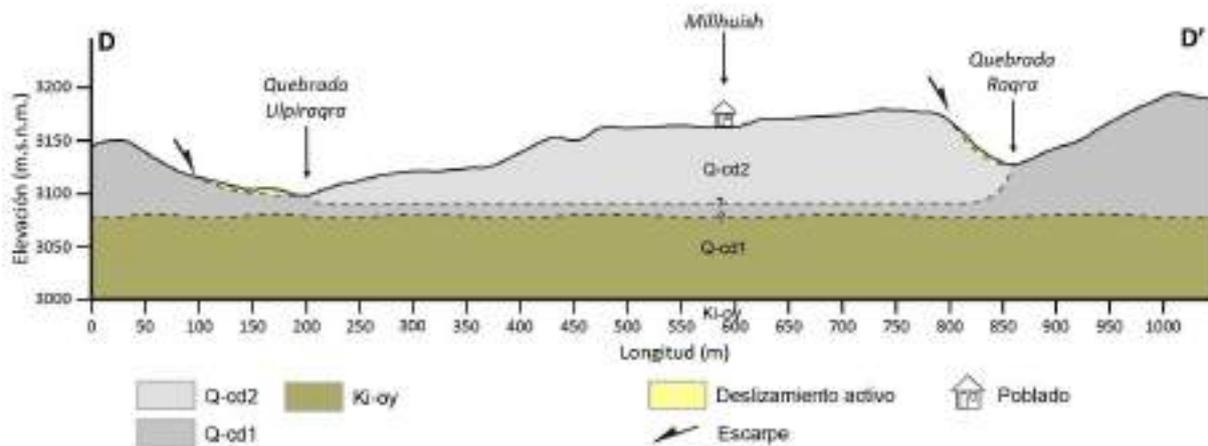


Figura 5.5. Perfil DD', perpendicular al centro poblado Millhuish (Ver figuras 5.1, 5.2). Donde se observa que el centro poblado se encuentra emplazado encima de depósitos antiguos correspondiente a una avalancha.

Durante los trabajos de campo, se pudo identificar 53 procesos por movimientos en masa como deslizamientos, avalanchas y derrumbes; así como otro tipo de peligros geológicos relacionados a erosión de laderas en cárcavas (5) y peligros geohidrológicos como erosión fluvial (01). En este ítem realizaremos una descripción detallada de los diferentes tipos de peligros geológicos identificados en el caserío Millhuish y alrededores:

5.1. Movimientos en masa

Dentro de los procesos por movimientos en masa identificados en la zona de estudio, se tiene:

5.1.1. Deslizamientos

En la zona de estudio se han identificado y cartografiado 24 deslizamientos, de los cuales 9 son considerados inactivos relictos, un ejemplo de este, es el deslizamiento del cerro Ocshatuna. También se ha identificado 02 deslizamientos inactivos latentes, ubicados en la quebrada Ulpiraqra y 13 deslizamientos activos se localizan en la parte baja del caserío Millhuish, margen derecha del río Mosna.

- **Deslizamiento del cerro Ocshatuna.** Se encuentra ubicado en el flanco noroeste del cerro Ocshatuna. Este viene a ser un deslizamiento de tipo rotacional. El escarpe tiene un ancho de ~2.4 km y una diferencia de altura de ~1 km desde el escarpe principal hasta el río Mosna (Figura 5.6). El escarpe principal se originó en calizas de la Formación Santa, presenta evidencias de erosión y reactivación en forma de derrumbes y avalanchas.

Este deslizamiento viene a ser el evento más antiguo en cuyo depósito se emplazó los poblados de Chuyo, Rancas y Lucma; también se tiene extensos terrenos de cultivo que son regados utilizando riego tecnificado entre 6 a 8 horas diarias.

Actualmente, en el cuerpo del deslizamiento se observa evidencias de deformación, uno de ellos es el sector Chuyo, donde las viviendas se encuentran agrietadas; con dirección de movimiento hacia el Oeste (Figuras 5.7 y 5.8).

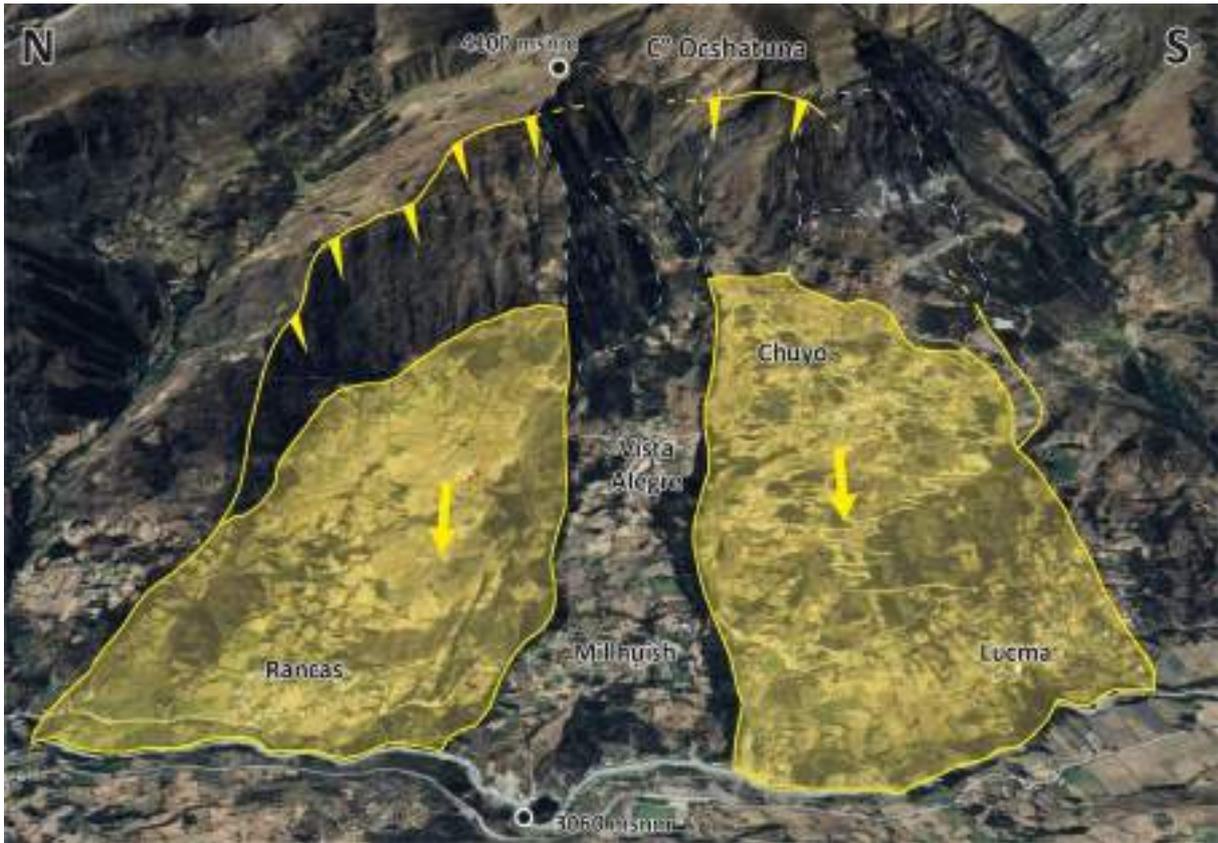


Figura 5.6. Deslizamiento del cerro Ocshatuna, corresponde al evento más antiguo, cuyo escape principal se ha producido en calizas y los depósitos llegaron hasta el río Mosna.



Figura 5.7. Grieta en viviendas, con movimiento hacia el Oeste, Sector Chuyo. Coordenadas UTM 262620, 8941220.



Figura 5.8. Grietas en los muros de la iglesia de Chuyo (Líneas rojas punteadas). Coordenadas UTM WGS84, Zona 18L, 262668, 8941204.

Hacia el pie de este evento, se evidencia reactivaciones en forma de deslizamientos activos producidos por la acción erosiva del río Mosna y por el empuje del depósito. Al Oeste del colegio (IE. N° 86465), margen izquierda de la quebrada Raqra se identificó otro deslizamiento, este moviliza parte del depósito de un antiguo deslizamiento. El movimiento es retrogresivo en dirección a la institución educativa, la distancia entre el escarpe y el colegio es de ~100 m. Este evento afecta terrenos de cultivo (Figuras 5.9; y 5.10).

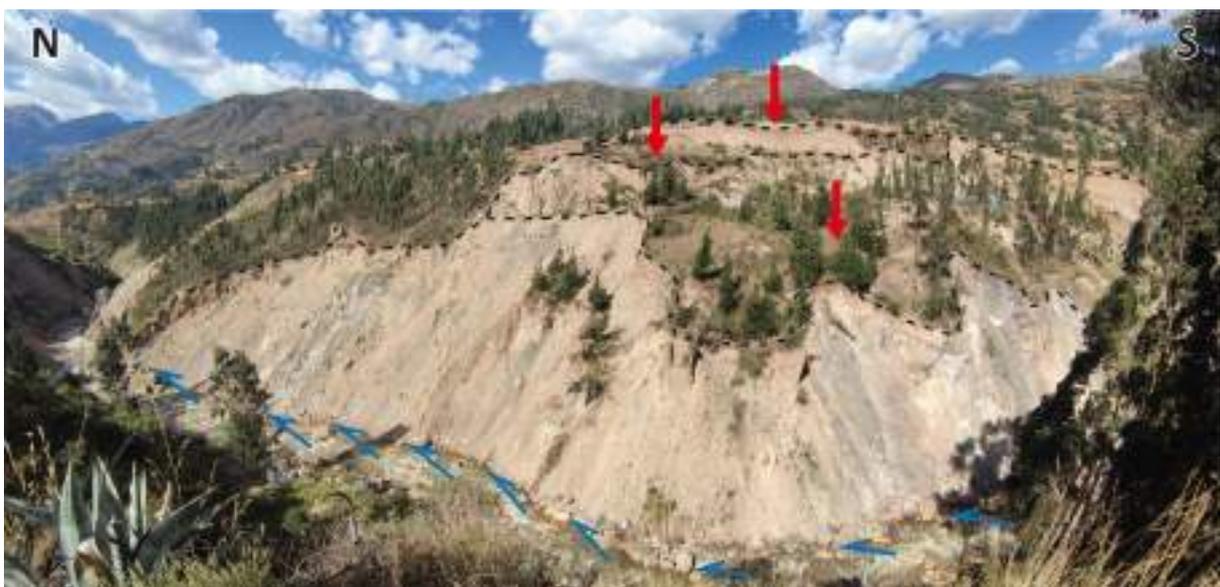


Figura 5.9. Deslizamiento en el flanco derecho del río Mosna, con desniveles hasta ~10 m. Se observa la acción erosiva del río Mosna (Flechas de color azul), terrenos de cultivo afectados y movilizados.

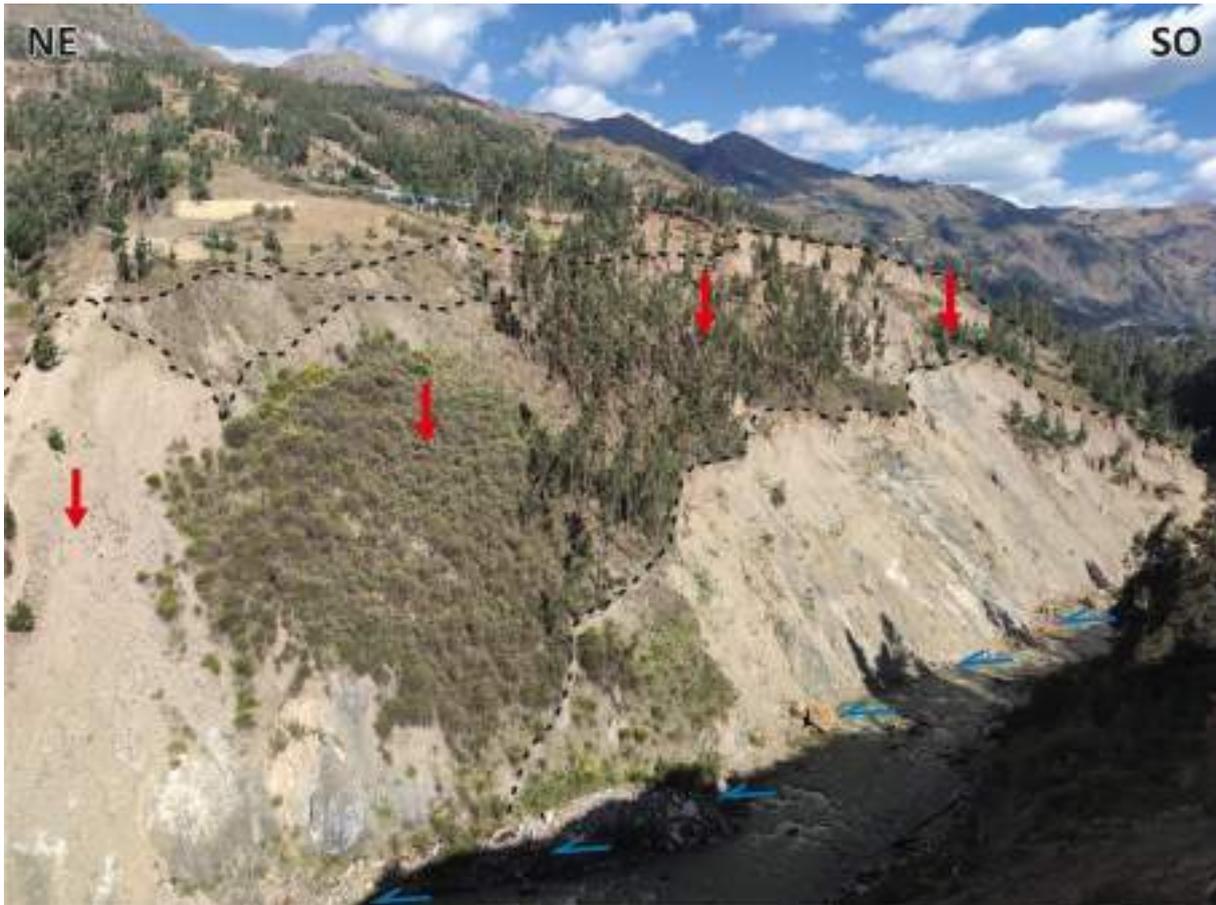


Figura 5.10. Vista con dirección al Sureste del deslizamiento activo de Millhuish, con desniveles >10 m. El río Mosna erosiona la base del deslizamiento (Flechas azules).

5.1.2. Avalancha de detritos

En la zona se identificó una avalancha que tiene su origen en la parte alta del cerro Ocshatuna (Figura 5.11). Esta avalancha corresponde a una reactivación del escarpe del deslizamiento antiguo a 4100 m s.n.m, originadas en areniscas, limolitas y lutitas correspondiente a las formaciones Chimú, Santa y Carhuaz. Los depósitos de esta avalancha tienen un recorrido de ~ 2.5 km hasta llegar al río Mosna, caracterizada por su depósito granular, con bloques pequeños subredondeados. Este depósito está disectado por las quebradas Ulpiraqra y Raqra; y sobre el cual se emplazaron los caseríos de Vista Alegre y Millhuish (Figura 5.9); también, sobre este depósito se tiene terrenos de cultivo de alfalfa (plantación que requiere bastante agua), y vienen siendo regados constantemente por riego tecnificado (según, versión de los pobladores, entre 6 a 7 h al día).

En la parte media de esta avalancha, específicamente al norte del caserío Vista Alegre se observan deslizamientos, de igual forma, entre los caseríos Vista Alegre y Millhuish se evidencia un deslizamiento con presencia de agrietamientos en el terreno llegando a tener aberturas de hasta 10 cm. Así mismo, en el pie de esta avalancha se evidencia reactivaciones en forma de deslizamientos, producto de la erosión fluvial provocada por el río Mosna y el empuje del depósito debido a la pérdida de estabilidad en el pie del depósito y la sobresaturación de agua en el terreno.



Figura 5.11. Vista al Este de la avalancha reactivada en el escarpe del deslizamiento antiguo del cerro Ocshatuna, sobre el cual se encuentran los caseríos de Vista Alegre y Millhuish.

5.1.3. Derrumbes

En la zona de estudio se ha identificado 26 derrumbes activos, inactivo latentes, e inactivo estabilizado, este último se localiza al Sureste del caserío Millhuish. Asimismo, en la parte alta del cerro Ocshatuna se evidencia un derrumbe que se originó en rocas de la Formación Chimú, conformado por areniscas con niveles de limolitas y lutitas.

De igual forma, en los flancos de las quebradas Ulpiraqra y Raqra se evidencian derrumbes (Figura 5.1), estos ocurren debido a la pendiente del terreno que varía de muy fuertes (25° - 45°) a escarpadas ($>45^{\circ}$) (Figura 5.12). Otro sector con evidencias de derrumbes se encuentra en la base del talud o pie de los depósitos de eventos antiguos, debido a la acción erosiva del río Mosna.



Figura 5.12. Vista al Sur de derrumbes inactivos latente en la margen izquierda de la quebrada Raqra.

5.2. Otro peligro geológico

5.2.1. Erosión de ladera en cárcavas

Las cárcavas son surcos o canales profundos formados en el suelo debido a la erosión del agua, especialmente durante lluvias intensas. Estos se evidencian en las quebradas Ulpiraqra y Raqra, que son drenajes profundizados e incisados por el agua que discurre desde la parte alta del cerro Ocshatuna hasta el río Mosna.

5.3. Peligros geohidrológicos

5.3.1. Erosión fluvial

La erosión fluvial corresponde a un proceso mediante el cual los ríos desgastan, remueven y transportan sedimentos y material rocoso de las márgenes y el fondo del cauce. Este fenómeno es una de las principales fuerzas que modelan los paisajes fluviales, afectando tanto las orillas como los taludes a lo largo de los ríos, contribuyendo así a la inestabilidad de taludes y aumentando la susceptibilidad a deslizamientos y/o derrumbes. En la zona de estudio se observa en toda la margen derecha del río Mosna (Figuras 5.9 y 5.10).

5.4. Factores condicionantes

Los factores condicionantes son aquellas características geológicas y geomorfológicas del terreno que predisponen a una zona a ser susceptible a los movimientos en masa. En el área de estudio, estos factores no causan directamente el movimiento, pero crean las condiciones que lo hacen posible. Entre los principales factores condicionantes que se identificaron en la zona de estudio se encuentran:

- **Litología.** Se tienen areniscas intercaladas con lutitas y niveles carbonosos, también se observan niveles de calizas. En un contexto regional, todas estas unidades litológicas del sustrato se encuentran plegadas y deformadas inclusive con presencia de fallas locales las que podrían facilitar su inestabilidad. Además, se tiene la presencia de depósitos holocenos, proveniente de deslizamiento y

avalanchas, las cuales se presentan no consolidados, pueden ser fácilmente movilizados o generar deslizamientos o derrumbes como se ve en el área de estudio y pueden ser influenciados por fuerzas adicionales, como la gravedad, la infiltración de agua o actividad sísmica. Ya que estos depósitos, según los resultados geotécnicos obtenidos en laboratorio, tienen condiciones geotécnicas desfavorables como baja cohesión, alta porosidad y permeabilidad.

- **Morfología y pendiente del terreno.** En la zona de estudio la morfología y la pendiente del terreno se encuentran relacionadas porque ambos determinan la estabilidad del deslizamiento de Millhuish. Las laderas tienen pendiente muy fuerte (25°-45°) a abrupta (>45°) (escarpes de procesos antiguos) y los flancos de las quebradas (Raqra y Urpiraqra) presentan taludes subverticales (50°- 75°), estas características han condicionado la ocurrencia de movimientos en masa y la probabilidad de ocurrencia de nuevos eventos.
- **Vegetación.** La presencia de vegetación ayuda a estabilizar el terreno a través de las raíces, pero su ausencia o la deforestación puede aumentar la susceptibilidad. En la zona de estudio se tiene zonas con árboles de eucalipto cuyas raíces actúan como anclas y sujetan suelo y roca, pero también se tiene lugares con escasa o nula vegetación, muestra de ello, se ve en los taludes con signos de reactivaciones de deslizamientos y derrumbes en la margen derecha del río Mosna.
- **Clima.** Millhuish y alrededores se caracteriza por un clima semiseco frío; las lluvias son estacionales y se dan entre los meses de diciembre a marzo, con humedad relativa calificada como húmeda. Las precipitaciones prolongadas o intensas pueden saturar el terreno y aumentar la presión de los poros, condicionando la estabilidad de las laderas. Por otro lado, también los climas secos y la escasa vegetación hacen que la superficie esté propensa a la erosión y sea menos estable.
- **Aguas subterráneas.** Influyen en la estabilidad de las pendientes y la posibilidad de movimientos en masa, debido a que la infiltración del agua en el subsuelo aumenta la presión de poros y esta reduce la fricción interna y la cohesión del suelo. Además, cuando el suelo se satura su capacidad de soporte disminuye. En la zona de estudio se registró fuentes de aguas subterráneas que se ubican en el cuerpo de los deslizamientos, en las quebradas y los taludes que en general condicionan la estabilidad del terreno (mayor detalle ver el ítem 7).

5.5. Factores desencadenantes

Los factores desencadenantes son eventos o procesos que se encargan de detonar el inicio de un movimiento en masa, los principales detonantes son las precipitaciones pluviales, eventos tectónicos y los factores antrópicos.

Lluvias intensas. Las precipitaciones pluviales intensas y prolongadas son capaces de desencadenar diferentes tipos de movimientos en masa como deslizamientos y derrumbes. En la zona de estudio las lluvias son estacionales, registrándose umbrales de hasta 80 mm durante el mes de marzo del 2023, y 1439 mm acumulados entre diciembre del 2023 a marzo del 2024.

La infiltración de estas aguas incrementa la saturación del suelo y disminuye la resistencia al corte haciendo que una superficie pierda su cohesión y pueda deslizarse. A lo largo del callejón de Conchucos las precipitaciones son estacionales

entre los meses de diciembre a marzo. Por otro lado, el incremento de las precipitaciones influye en el aumento de caudal de los ríos los cuales llegan a erosionar la base de los taludes incrementando la inestabilidad o dan origen a nuevos deslizamientos.

- **Eventos tectónicos.** La zona de estudio tiene antecedentes de eventos antiguos. Los terremotos vienen a ser detonantes de movimientos en masa, debido a que la energía liberada durante un sismo puede desestabilizar las pendientes y provocan deslizamientos, derrumbes o caída de rocas.

Aproximadamente a 18 km del deslizamiento de Millhuish se ubica la falla de la Cordillera Blanca que se extiende sobre 220 km entre los poblados de Corongo y Chiquián, el trazo de esta falla se encuentra bordeando el flanco occidental de la Cordillera Blanca (Macharé et al., 2009), tiene una dirección preferencial que varía entre N100° y N150°, con buzamientos entre 55° y 75° hacia el Suroeste. Las reactivaciones de esta falla evidencian movimientos normales con componente sinistral.

Factores Antrópicos. Las actividades humanas como el riego excesivo, la deforestación, la construcción de carreteras, y la modificación del relieve pueden desencadenar deslizamientos debido a que se altera el equilibrio del terreno.

En el área de estudio, la actividad principal viene a ser la agricultura, que utiliza un riego tecnificado continuo, es decir riegan las plantaciones de alfalfa entre 6 a 7 horas al día, ello estaría contribuyendo a la sobresaturación del terreno, evidenciado por la surgencia de manantiales al pie del talud (ver ítem 7).

5.6. Caserío Millhuish

El caserío de Millhuish se encuentra emplazado en el cuerpo de una avalancha antigua y/o relicta (Figura 5.1). Actualmente, este depósito presenta una intensa actividad geodinámica, donde se observa reactivaciones en forma de deslizamientos y derrumbes recientes (Figura 5.13).



Figura 5.13. Vista del pie de la avalancha donde se ubica el poblado de Millhuish, se observa reactivaciones en forma de deslizamientos y derrumbes que afectan el poblado.

Con ayuda de imágenes satelitales de Google Earth desde el año 2005 al presente (Figura 5.14) se analizó la evolución del pie de la avalancha. Entre los años 2005 al 2017 el pie de la avalancha no presenta reactivaciones como deslizamientos y/o derrumbes, solo se observa la acción erosiva producida por el río Mosna (Figuras 5.14A, 5.14B, 5.14C, 5.14d, 5.14E). A partir del año 2019 se evidencia derrumbes en la margen derecha del río Mosna (Figura 5.14G); asimismo, se presentan agrietamientos en el terreno (Flecha roja, Figura 5.14G). El año 2022 se intensifica la deformación y se genera pérdida de terreno debido a la formación de deslizamientos, cuyas grietas se incrementaron en longitud y profundidad (1 m) (Figuras 5.14H, 5.14I, 5.14J). Durante el 2024 se puede evidenciar que la deformación se incrementó llegando a afectar viviendas del centro poblado de Millhuish (Figura 5.14K).

Producto de esta deformación continua desde el año 2017 luego de la implementación del riego tecnificado para incrementar su producción agrícola, se evidencia la formación de deslizamientos en la margen derecha del río Mosna (Figuras 5.15). Las grietas y desniveles debido al asentamiento del terreno muestran una apariencia escalonada del terreno (Figura 5.16) y llegan a tener alturas variables que llegan hasta ~4 m (Figura 5.17). Debido a esta deformación en el terreno, se evidencia grietas en las paredes y pisos de viviendas del caserío Millhuish (Figuras 5.18 y 5.19), así como también, destrucción de pisos de material de concreto, llegando a presentar aperturas de hasta 32 cm (Figuras 5.20 y 5.21).

Características visuales del deslizamiento:

- Estado de actividad: Reactivado.
- Superficie de rotura inferida: Rotacional.
- Forma de la escarpa: semicircular.
- Estilo de la escarpa: Escarpa única.
- Longitud de la escarpa principal: 780 m.
- Desnivel entre la escarpa principal y el pie del deslizamiento: 242.
- Salto principal o desplazamiento vertical (DV): Varía de 4 m a 10 m.
- Ancho promedio de evento: 60 m.
- Área de deslizamiento reactivado: ~12.3 ha.
- El avance de la reactivación de deslizamiento: Retrogresivo.

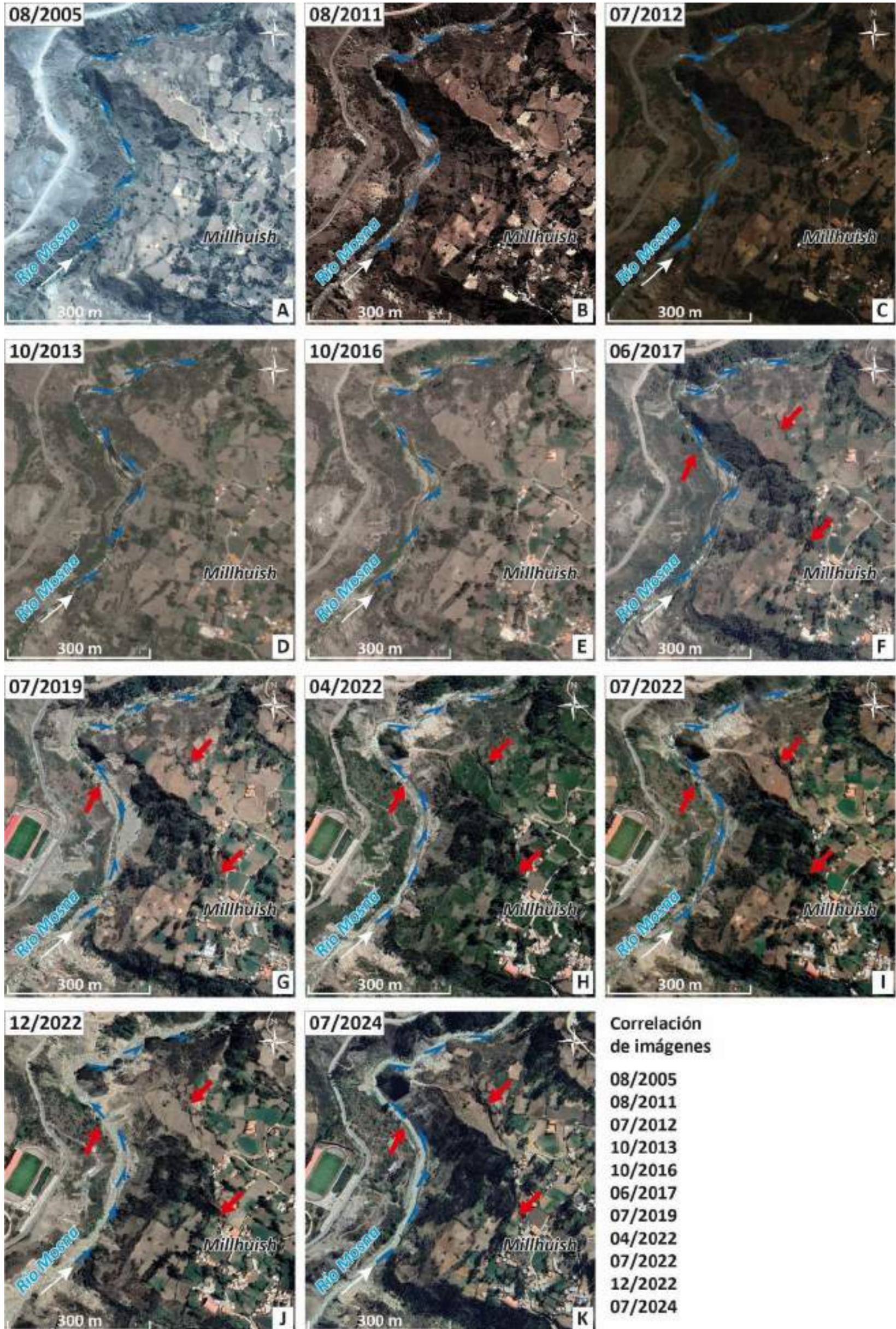


Figura 5.14. Correlación de imágenes satelitales de Google Earth desde el año 2005 hasta la actualidad. Se muestra la evolución temporal de la reactivación del pie de la avalancha, que conlleva a la afectación del caserío Millhuish.

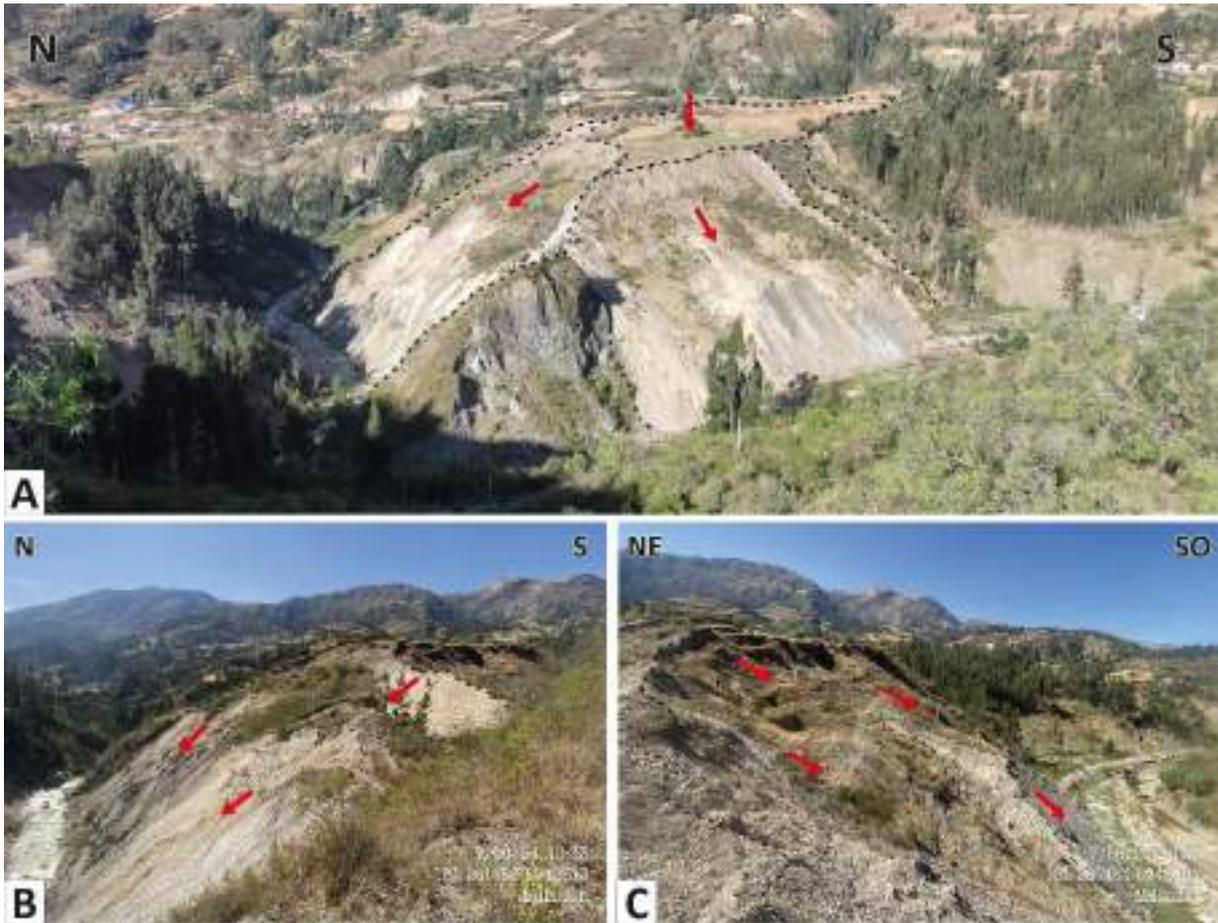


Figura 5.15. A) Deslizamientos en el flanco derecho del río Mosna, estos procesos se evidenciaron desde el año 2019. B y C muestran a detalle los deslizamientos con movimientos opuestos hacia el Norte y hacia el Suroeste.



Figura 5.16. Asentamiento escalonado del terreno (líneas negras punteadas y flechas rojas), con dirección del movimiento al oeste.



Figura 5.17. Escarpe del deslizamiento reactivado de Millhuish, con desnivel de ~4m, que afectó principalmente terrenos de cultivo. Presenta movimiento en dirección oeste.



Figura 5.18. Vivienda afectada, presenta las paredes agrietadas (líneas y flechas blancas). Las líneas blancas señalan la deformación en la puerta de la vivienda producto del movimiento del terreno.



Figura 5.19. Muro afectado, con inclinación de $\sim 22^\circ$ hacia el oeste. Este muro se encuentra en inminente colapso.

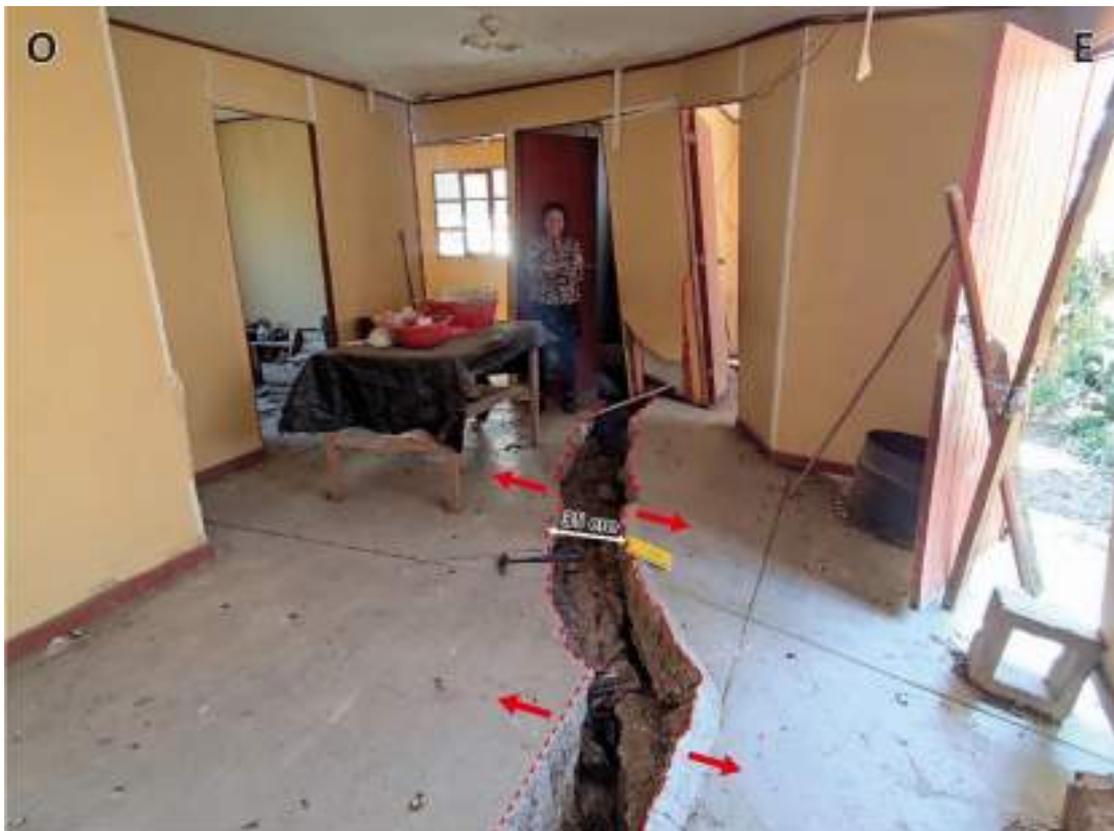


Figura 5.20. Vivienda afectada, presenta el piso de concreto agrietado, con una abertura de ~ 35 cm. Las paredes se encuentran descuadradas, actualmente se encuentra inhabitable.

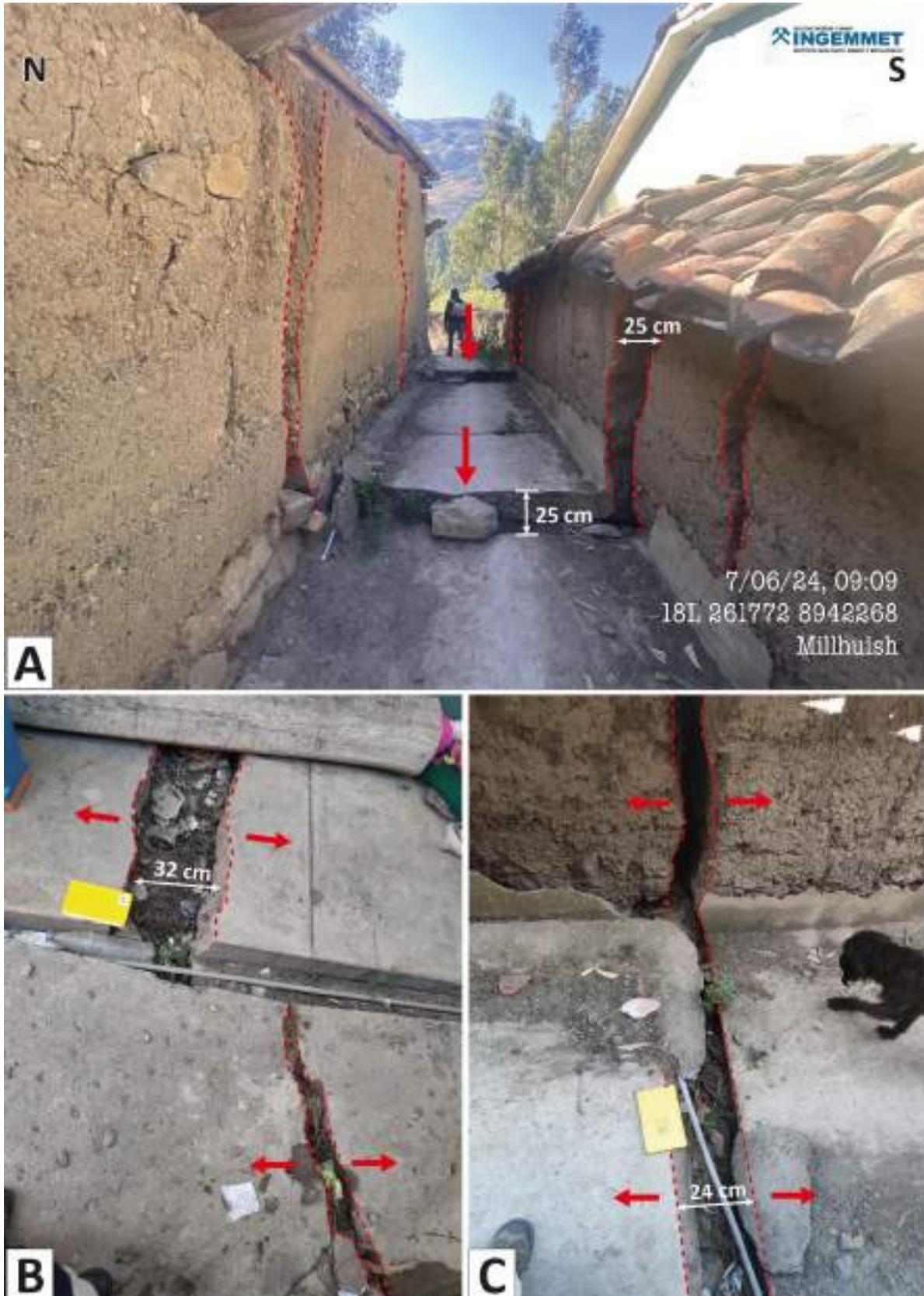


Figura 5.21. Viviendas afectadas debido a la deformación del terreno. A) se observa los muros agrietados y con aperturas de hasta 25 cm de igual forma el piso de concreto se encuentra fracturado y asentado (25 cm). B y C se observa el agrietamiento y se

6. INVESTIGACIONES GEOFÍSICAS

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

Este método 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 Resistímetro GRX8-32 (GDD Instruments)

6.2. Adquisición de datos

Para los estudios de prospección geofísica en el caserío Millhuish se realizaron 03 líneas de tomografía eléctrica, con dipolos de 17 y 17,5 m. En el cuadro 6.1 se muestran las coordenadas de inicio y fin de las líneas de tomografía eléctrica (LTE), en el sistema UTM WGS 84, zona 18S.

Cuadro 6.1. Coordenadas de inicio y fin de las secciones de tomografía eléctrica (LTE) en la zona de Millhuish.

LÍNEA TOMOGRAFÍA ELÉCTRICA	ESTACIÓN INICIO	ESTE (UTM 18S)	NORTE (UTM 18S)	ELEVACIÓN msnm	ESTACIÓN FINAL	ESTE (UTM 18S)	NORTE (UTM 18S)	ELEVACIÓN msnm	LONGITUD (m)
LTE-M-01	-17	262762	8942216	3392.61	680	262646	8941539	3380.84	697
LTE-M-02	-17	261907.37	8942572.38	3094.69	765	261627.64	8941845.69	3126.92	782
LTE-M-03	-17.5	261504.48	8942239.95	3049.62	910	262413.47	8942028.98	3287	927.5

Las líneas LTE-M-01, LTE-M-02 y LTE-M-03 de Millhuish tuvieron una longitud de dipolo variable al igual que la longitud de la línea. El alcance en profundidad fue superior a los 100 m. La ubicación de las líneas de tomografía eléctrica se aprecia en la Figura 6.1.

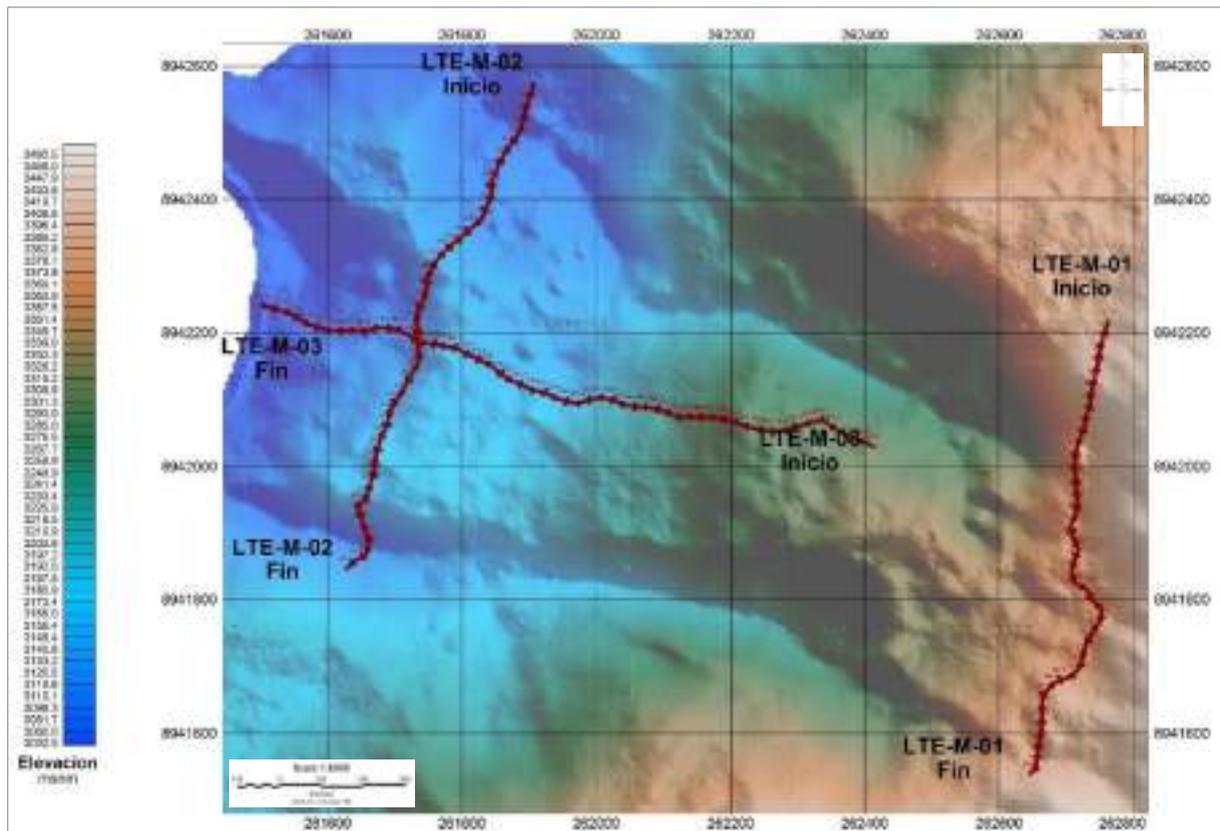


Figura 6.1. Ubicación y distribución de las líneas de Tomografía eléctrica LTE-M-01, LTE-M-02 y LTE-M-03 en el área de estudio.

6.3. Procesamiento de datos

Los datos adquiridos en campo 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 utilizando el software RES2DINV, donde se incluye información de la geología local y valores resistivos del medio. Como resultado de esta inversión de los valores de pseudo resistivos, se obtienen secciones con resistividades ($\text{Ohm} \cdot \text{m}$) reales, donde se puede hacer la interpretación correspondiente.

6.4. Resultados e interpretación

6.4.1. LTE-M-01

Sección orientada de norte a sur ubicado sobre el caserío de Vista Alegre, tiene una longitud de ~700 m y profundidad máxima de investigación de 120 m. Muestra valores de resistividad eléctrica entre 1 y 2000 $\text{Ohm} \cdot \text{m}$ (Figura 6.2).

Los valores altos representados en tonos rojos ($>1000 \text{ Ohm} \cdot \text{m}$), estarían relacionados con materiales de tipo suelo/rocas impermeables. Los niveles superficiales (primeros 20 m) podrían relacionarse con suelos secos. Los valores ubicados en profundidad (debajo de los 20 a 30 m de profundidad), representan posibles materiales de tipo roca, ya sea como bloques sueltos (movilizados) o el mismo basamento.

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, es decir, ubicados a un mismo nivel de profundidad, podría representar una zona de flujo debido a la pendiente. 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 o contacto de depósitos que llevan fluidos desde la superficie hasta los niveles más profundos, como se observa en la Figura 6.2 zonas delimitadas por líneas rojas discontinuas. Los valores en profundidad podrían estar relacionados con acuíferos profundos.

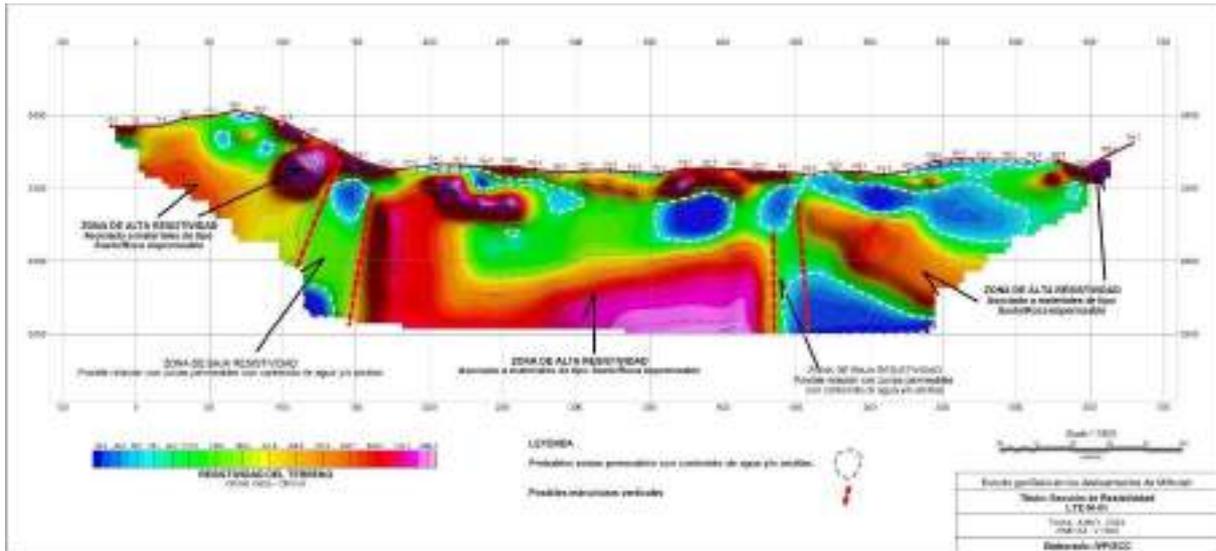


Figura 6.2. Sección de resistividad eléctrica LTE-M-01.

6.4.2. LTE-M-02

Sección orientada de Norte a Sur ubicado debajo del caserío Millhuish, con una longitud de ~790 m de longitud y profundidad máxima de 120 m. Muestra valores de resistividad eléctrica entre 1 y 600 Ohmio.m (Figura 6.3).

Los valores altos representados en tonos rojos (>300 Ohm.m), estarían relacionados con materiales de tipo suelo/rocas impermeables, con poco o ausencia en contenido de agua, principalmente en superficie. En profundidad podrían estar relacionados con materiales de tipo roca desplazados y/o sueltos. No se aprecia una continuidad de estos valores en profundidad que representa el afloramiento rocoso.

Los valores de resistividad eléctrica baja representan materiales de tipo suelo/rocas permeables con contenido de agua. Al igual que en la sección LTE-M-01, los niveles con disposición de tipo capa, es decir, ubicados a un mismo nivel de profundidad, podría representar una zona de flujo debido a la pendiente (plano de filtración). Por otro lado, se puede apreciar zonas dispuestas de manera vertical que representan estructuras permeables de tipo fallas, fracturas o zonas de roca triturada correspondiente al depósito del deslizamiento rotacional, estos llevan fluidos desde la superficie hasta los niveles más profundos, De igual forma, en la figura 6.3 se muestra estas zonas limitadas por líneas rojas discontinuas.

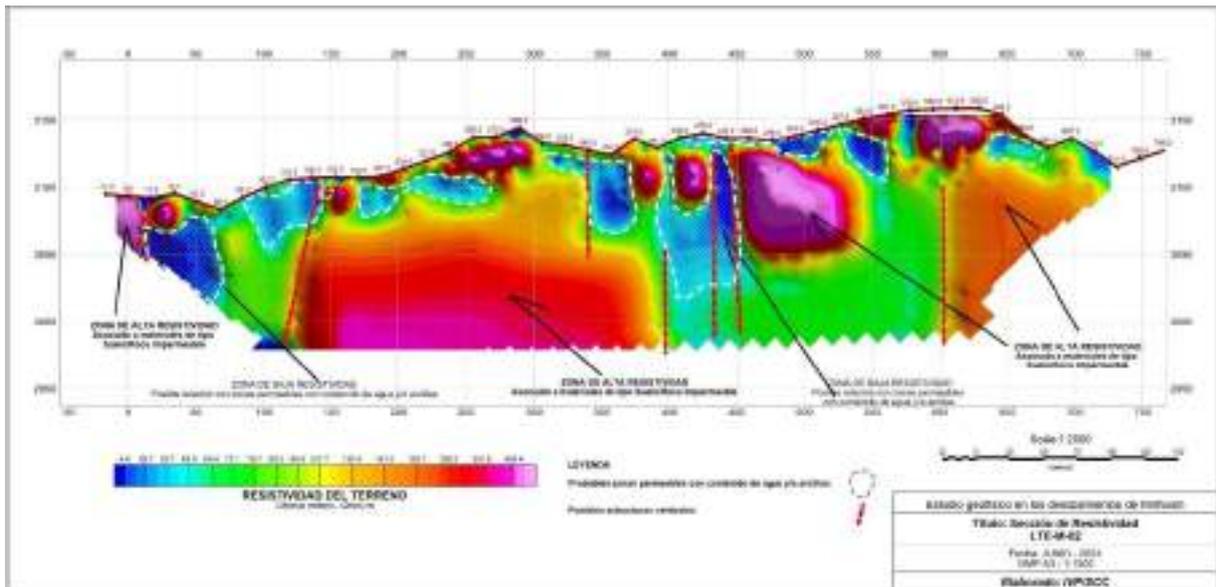


Figura 6.3. Sección de resistividad eléctrica LTE-M-02.

6.4.3. LTE-M-03

Sección orientada de Oeste a Este ubicado sobre el caserío Millhuish hasta el caserío de Vista Alegre, tiene una longitud de ~930 m de longitud y la profundidad máxima de investigación es de 120 m. Esta sección muestra valores de resistividad eléctrica entre 1 y 600 Ohm.m (Figura 6.4).

Los valores altos representados en tonos rojos (>300 Ohm.m), estarían relacionados con materiales de tipo suelo/rocas impermeables, con poco o ausencia en contenido de agua, principalmente en superficie. En profundidad podrían estar relacionados con materiales de tipo roca en rodados, ya que no se aprecia una continuidad de estos valores representando a depósitos de un deslizamiento rotacional y el afloramiento rocoso.

Los valores bajos de resistividad eléctrica representan materiales de tipo suelo/rocas permeables con contenido de agua. Al igual que en las secciones LTE-M-01 y LTE-M-02, los niveles con disposición de tipo capa, podría representar una zona de flujo debido a la pendiente (plano de filtración). Por otro lado, se puede apreciar tres zonas dispuestas de manera vertical, los cuales podrían estar representados por estructuras permeables de tipo fallas, fracturas o zonas de debilidad dentro de depósitos de deslizamientos antiguos, que llevan fluidos desde la superficie hasta los niveles más profundos; en la figura 6.4 estas zonas se delimitaron por líneas rojas discontinuas. Por otro lado, en la sección se observa una zona profunda de baja resistividad la cual podría estar relacionado con un acuífero profundo (Figura 6.4).

En esta sección se puede ver dos tipos de materiales uno superficial con características más permeables y uno más profundo con menor permeabilidad, estos dos materiales están separados por una línea discontinua de color negro, los cuales guardan correspondencia con los dos depósitos coluvio deluviales Q-cd1 y Q-cd2 correspondientes al deslizamiento rotacional y la avalancha de rocas respectivamente.

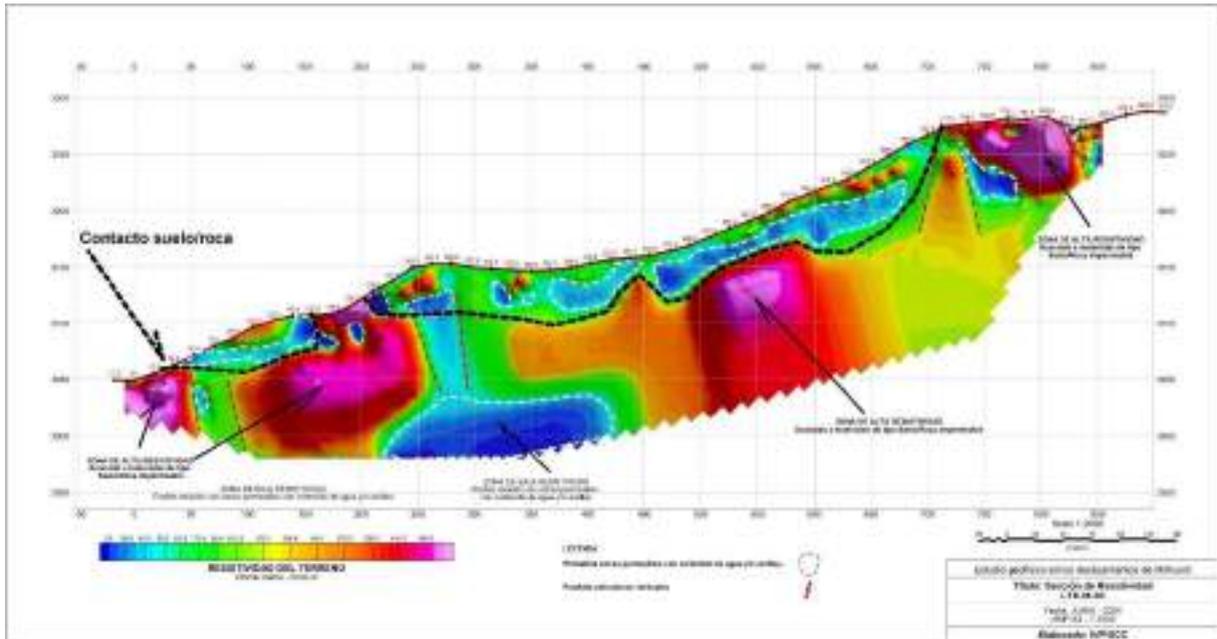


Figura 6.4. Sección de resistividad eléctrica LTE-M-03.

7. ASPECTOS HIDROLÓGICOS E HIDROGEOLÓGICOS

7.1. Hidrología

En el contexto hidrológico, la zona de estudio forma parte de la cuenca del río Mosna (Pushca), la cual se ubica en la sierra central del Perú, pertenece a la vertiente del Marañón y nace de la confluencia de dos quebradas Pachachaca y Tayash. En su recorrido tiene una serie de tributarios, entre ríos y quebradas. Al atravesar por el caserío Millhuish (distrito de San Marcos,) recoge las aguas provenientes de las quebradas Raqra y Ulpiraqra (Figura 7.1).

Debido a sus características topográficas y climáticas, el comportamiento estacional de la cuenca Mosna es la típica de los Andes peruanos, donde se observa un aumento de caudal en las quebradas durante los meses de verano (temporada de lluvias), época cuando ocurren las lluvias más intensas. Este aumento de caudal genera erosión fluvial en las márgenes del río Mosna, originando la reactivación de movimientos en masa, tal como lo acontecido en el deslizamiento de Millhuish.

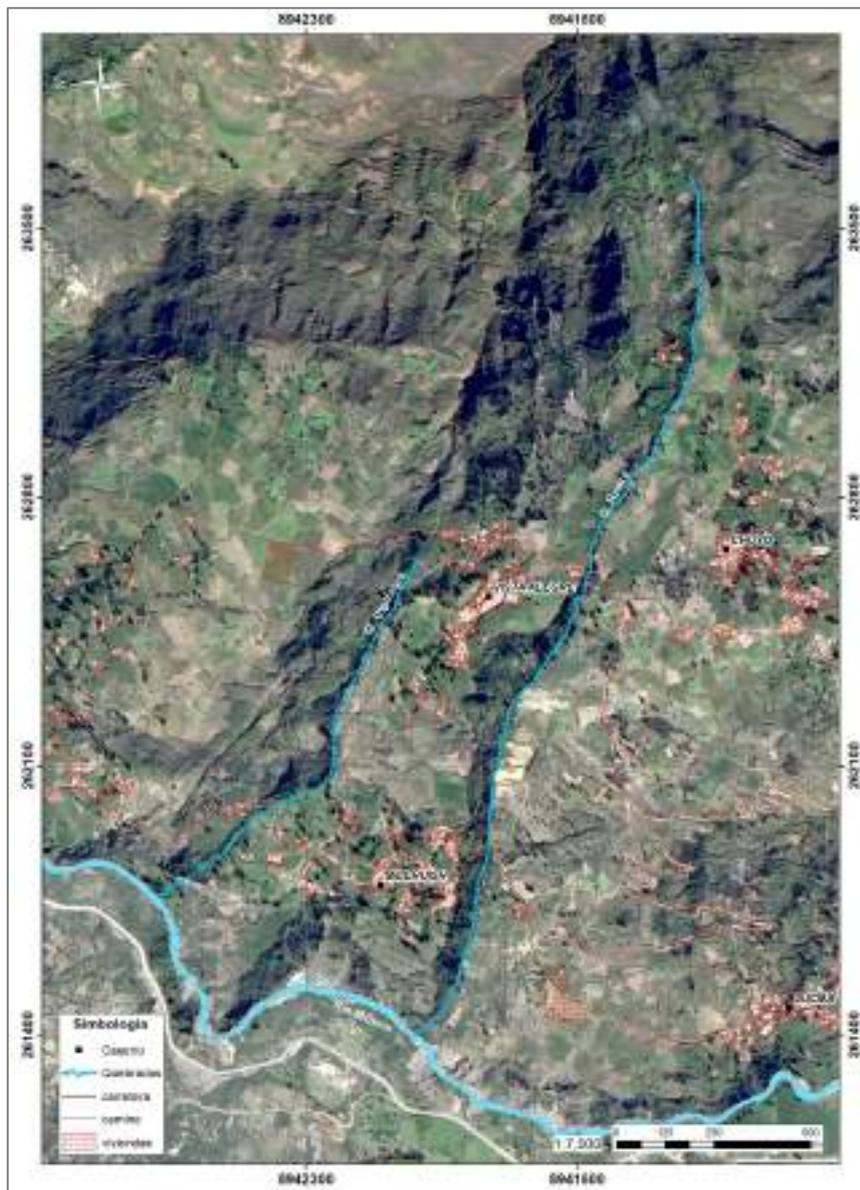


Figura 7.1. Ubicación de las quebradas Ulpiraqra y Raqra, dispuestas en dirección SE-NW.

Quebrada Raqra: Se encuentra entre los 3765 m.s.n.m. y 3090 m.s.n.m. El agua discurre en dirección SE-NW, y desemboca en el río Mosna. El su recorrido, en varios puntos, llega a infiltrarse en el terreno.

Aguas arriba del puente de acceso al caserío Vista Alegre, la quebrada se encuentra seca. No obstante, bajo el puente emerge el manantial 498996-001, con un caudal de 0.22 l/s, medido durante la transición entre la temporada de lluvias a la época de estiaje.

Quebrada Ulpiraqra: Tiene una longitud aproximadamente de 1189 m. Se encuentra al noreste del caserío Millhuish y paralelo a la quebrada Raqra. Inicia a una altitud de 3304 m s.n.m. y termina a 3047 m s.n.m, vertiendo sus aguas en el río Mosna.

7.1.1. Registro de aforos

El aforo de caudal en el río Mosna se llevó a cabo mediante el método de Velocidad-área con ayuda del sensor digital OTT-MF pro, en las coordenadas UTM 18L, N 8942275, E 261523, Altitud 3068 m s.n.m; el aforo se realizó el día 16/06/2024, hora 10:15 am, en una sección regular del río, y las distancias entre márgenes de 10.92 m, con un caudal de 4732.85 l/s (4.73285 m³/s).

En el cuadro 7.1 se observa el resumen de los caudales registrados durante la campaña de inventario:

Cuadro 7.1. Caudales registrados en manantiales.

N°	Código	UTM (WGS 84)		Altitud (msnm)	Caudal Q (l/s)
		Este	Norte		
1	498996-002	262464	8941634	3299	0.22
2	498996-003	262631	8941813	3339	0.22
3	498996-006	262546	8942003	3315	0.38
4	498996-010	262004	8942340	3113	0.70
5	498996-013	261472	8942080	3081	0.17
6	498996-015	262434	8941636	3310	16.10
7	498996-016	262251	8941783	3210	2.60
8	498996-017	262037	8941817	3167	0.15
9	498996-018	262705	8941757	3360	0.34
10	498996-019	263399	8941286	3622	0.50
11	498996-023	262068	8942253	3144	0.36
12	498996-030	263835	8941441	3896	0.66

Medida de caudal en las diferentes fuentes de agua en manantiales y manantiales captados, en la quebrada Raja se evidenció un caudal de 16.1 l/s (Figura 7.2).



Figura 7.2. A) Aforo de caudal método volumétrico en la quebrada Raja. B) Manantial captado de código 498996-016. Presenta un caudal de 2.60 l/s.

7.2. Hidrogeología

El estudio hidrogeológico se basó en la identificación de fuentes de agua subterránea y caracterización de las formaciones geológicas, la que nos proporciona información acerca del nivel freático, características de flujo y los parámetros fisicoquímicos in situ; así mismo, se realizaron ensayos de infiltración, muestreo de agua, y líneas de tomografía eléctrica para identificar las zonas saturadas.

Durante el cartografiado hidrogeológico se identificaron fuentes de agua subterránea tales como manantiales, en algunos casos descargas esporádicas con caudal escaso. Una zona probablemente de un humedal en la quebrada Ulpiraja, y en la parte baja cercana al río Mosna se localizó pequeñas descargas de agua (0.17 l/s) en el depósito coluvio - deluvial, con una marcada coloración marrón naranja, lo cual nos infiere la presencia de óxidos.

7.2.1. Inventario de fuentes de agua (subterráneas y superficiales)

Para la adquisición de data hidrogeológica se llevó a cabo una campaña de inventario de fuentes abarcando los caseríos de Millhuish, Vista Alegre, Chuyo, y la parte alta de este último, quebrada Raja, Ulpiraja y alrededores, los trabajos de campo se llevaron a cabo del 3 al 10 de junio del 2024.

La información se obtuvo utilizando un dispositivo Multiparámetro portátil de la marca HANNA HI 9828, se efectuó la medición de parámetros fisicoquímicos (conductividad eléctrica, sólidos disueltos totales, temperatura, potencial de hidrógeno y potencial de reducción de oxidación).

Se identificaron treinta (30) fuentes de agua subterránea y superficial entre manantiales, manantiales captados y puntos de control, los cuales se detallan en el siguiente cuadro 7.2:

Cuadro 7.2. Resumen de tipos de fuentes de agua.

Tipo de fuente	Total
Manantial	20
Manantial captado	03
Punto de control	07
Total	30

Cuadro 7.3. Resumen del inventario de fuentes en el caserío Millhuish, Vista Alegre y Chuyo.

N°	Código	UTM (WGS 84)		Altitud (msnm)	Tipo de fuente	Fecha	Parámetros hidráulicos y fisicoquímicos				
		Este	Norte				Q (L/s)	T° C	pH	CE (μS/cm)	TDS (ppm)
1	498996-001	262642	8941566	3363	Manantial	3/06/2024	0.1	15.1	7.1	520	261
2	498996-002	262464	8941634	3299	Manantial	3/06/2024	0.2	15.3	7.3	319	160
3	498996-003	262631	8941813	3339	Manantial	4/06/2024	0.2	13.5	6.8	484	242
4	498996-004	262708	8942006	3366	Manantial	4/06/2024	0.0	14.5	7.7	621	316
5	498996-005	262686	8942106	3371	Manantial	4/06/2024	0.0	15.6	8.6	1151	576
6	498996-006	262546	8942003	3315	Manantial	5/06/2024	0.4	14.4	7.1	558	279
7	498996-007	262481	8942088	3251	Punto de control	5/06/2024	0.1	14.9	8.2	650	325
8	498996-008	262403	8942124	3223	Manantial	5/06/2024	0.1	16.8	7.2	501	250
9	498996-009	261547	8942234	3051	Manantial	5/06/2024	--	16.3	7.7	1804	902
10	498996-010	262004	8942340	3113	Manantial	5/06/2024	0.7	16.1	7.9	810	405
11	498996-011	261803	8942468	3101	Manantial	5/06/2024	0.1	16.9	7.3	945	473
12	498996-012	261803	8942296	3134	Manantial	5/06/2024	0.0	16.4	7.8	697	348
13	498996-013	261472	8942080	3081	Manantial	5/06/2024	0.2	18.3	7.5	1381	690
14	498996-014	262417	8941506	3362	Punto de control	3/06/2024	2.7	18.1	6.5	235	118
15	498996-015	262434	8941636	3310	Manantial Captado	3/06/2024	16.1	15.2	7.3	310	155
16	498996-016	262251	8941783	3210	Manantial Captado	3/06/2024	2.6	15.2	7.2	324	162
17	498996-017	262037	8941817	3167	Manantial	3/06/2024	0.2	15.1	6.8	646	323
18	498996-018	262705	8941757	3360	Manantial Captado	4/06/2024	0.3	14.1	7.6	426	213
19	498996-019	263399	8941286	3622	Manantial	4/06/2024	0.5	11.4	7.5	294	147
20	498996-020	263388	8941274	3614	Punto de control	4/06/2024	--	13.8	7.5	116	58
21	498996-021	263159	8941191	3580	Punto de control	4/06/2024	--	13.4	7.6	236	118
22	498996-022	262174	8942233	3188	Manantial	5/06/2024	0.1	15.6	7.6	718	359
23	498996-023	262068	8942253	3144	Manantial	5/06/2024	0.4	13.6	8.5	709	354
24	498996-024	262058	8942274	3132	Manantial	5/06/2024	0.1	15.2	8.4	713	357
25	498996-025	261899	8942274	3132	Punto de control	5/06/2024	0.1	15.5	7.1	1204	602
26	498996-026	261812	8941864	3149	Manantial	5/06/2024	0.1	13.1	8.0	742	371
27	498996-027	262836	8941606	3419	Punto de control	6/06/2024	0.2	15.1	8.7	396	198
28	498996-028	262880	8941571	3443	Manantial	6/06/2024	--	16.0	7.3	604	302
29	498996-029	263644	8941812	3937	Punto de control	6/06/2024	0.2	13.8	6.8	36	18
30	498996-030	263835	8941441	3896	Manantial	6/06/2024	0.7	16.4	6.6	245	123

7.2.1.1. Manantiales

Los manantiales en el área de estudio afloran a lo largo de las quebradas Ulpiraqra, Raqra y en zonas aledañas a los caseríos de Millhuish, Vista Alegre y al pie del depósito coluvio - deluvial muy cerca al río Mosna; además, se observaron zonas húmedas en diferentes zonas del talud (Figura 7.3).

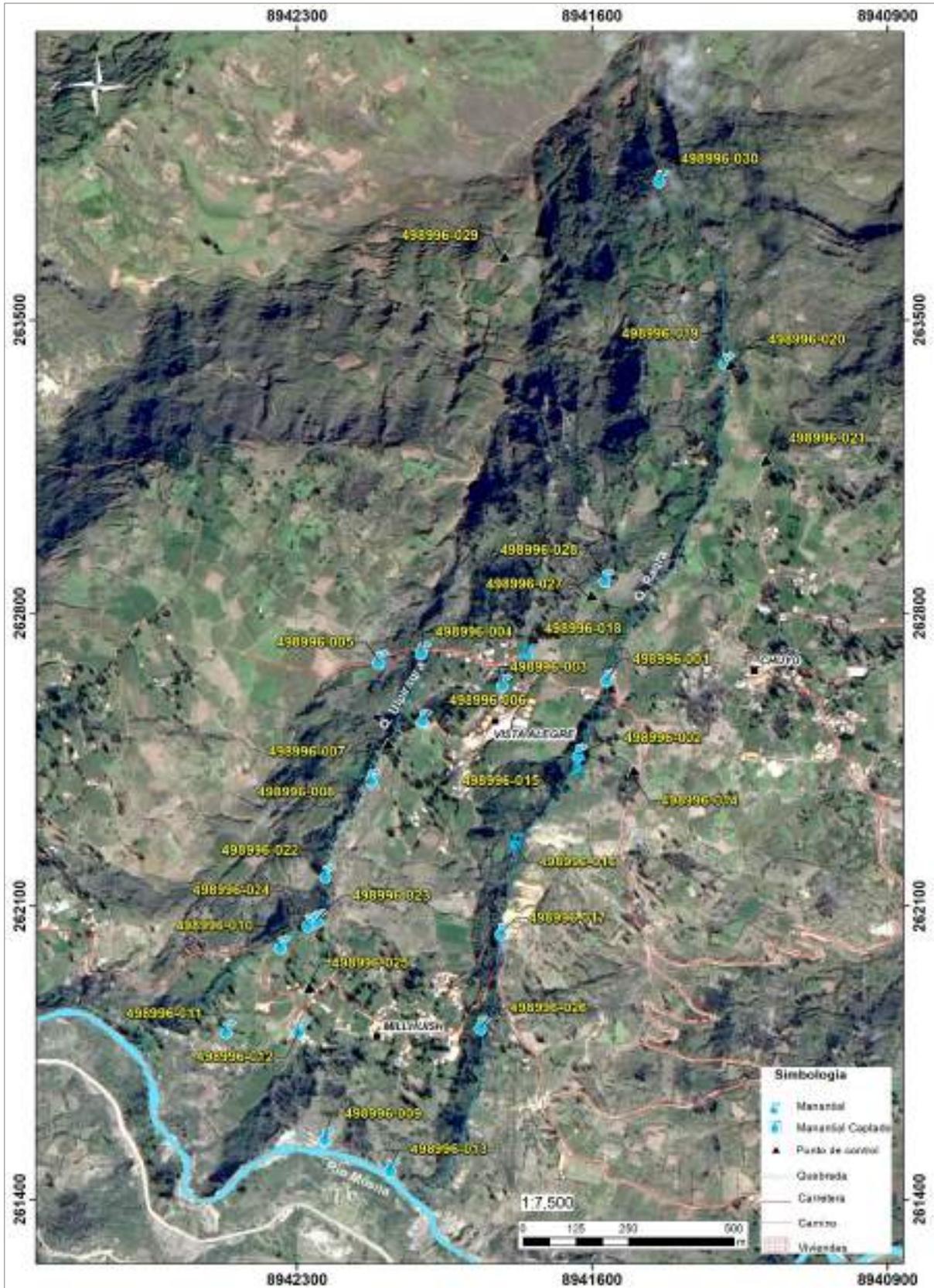


Figura 7.3. Mapa de inventario de fuentes de agua.

La quebrada Raqra presenta un mayor número de surgencias, esto sugiere que la quebrada Raqra podría tener un mayor caudal, reflejado por la presencia de un mayor número de

surgencias y flujos en los manantiales. La mayor cantidad de agua que emerge en Raqra podría estar relacionada con una mayor acumulación de agua en el acuífero poroso no consolidado o una mayor infiltración de aguas superficiales.

Los manantiales registrados en la parte alta del área de estudio 498996-030, 498996-019 se encuentran en el contacto entre areniscas con intercalaciones de limolitas y los depósitos coluvio - deluviales con caudales de 0.66 y 0.5 l/s respectivamente, pH de 6.5 a 7.4 y C.E. de 245 y 294 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Tres de los manantiales son captados en las zonas cercanas al caserío Vista Alegre con fines agrícolas, con pH 6.8 y 8.6, consideradas aguas neutras y ligeramente alcalinas, C.E. de 319 y 621 $\mu\text{S}/\text{cm}$, y caudales de 2.6 y 16.1 l/s; en la quebrada Raqra se tiene un manantial de código 498996-015 con un caudal de 16 l/s considerable respecto a los demás (Figura 7.4).



Figura 7.4. A y B) Captación de agua con concreto, presenta una captación con tuberías destinadas para riego tecnificado, con un caudal aproximado de 16 l/s, quebrada Raqra, código 498996-015.

En la parte baja próximo al río Mosna se encuentra el manantial 498996-013, el cual presenta valores de pH de 7.48 y C.E. de 1381 $\mu\text{S}/\text{cm}$, este manantial proviene desde la parte alta del cerro Ocshatuna y desemboca en el río Mosna (Figura 7.5).



Figura 7.5. A) Manantial de código 498996-013 en el talud escarpado del deslizamiento. B) Coloración naranja, las aguas vierten en el río Mosna.

7.2.1.2. Puntos de control

Para complementar el inventario de fuentes se levantó información de siete (7) puntos de control, estos serán útiles para monitorear los parámetros fisicoquímicos de las fuentes de agua, dado que la mayoría de las fuentes de agua proviene de manantiales.

7.2.2. Parámetros hidráulicos

7.2.2.1. Ensayos de infiltración

Se llevaron a cabo pruebas de infiltración en los depósitos coluviales para determinar la permeabilidad de las rocas circundantes a los caseríos Millhuish y Vista Alegre. Para calcular la permeabilidad se realizaron 15 pruebas de infiltración aplicando el método Lefranc Variable, las cuales se muestra en la figura 7.6.

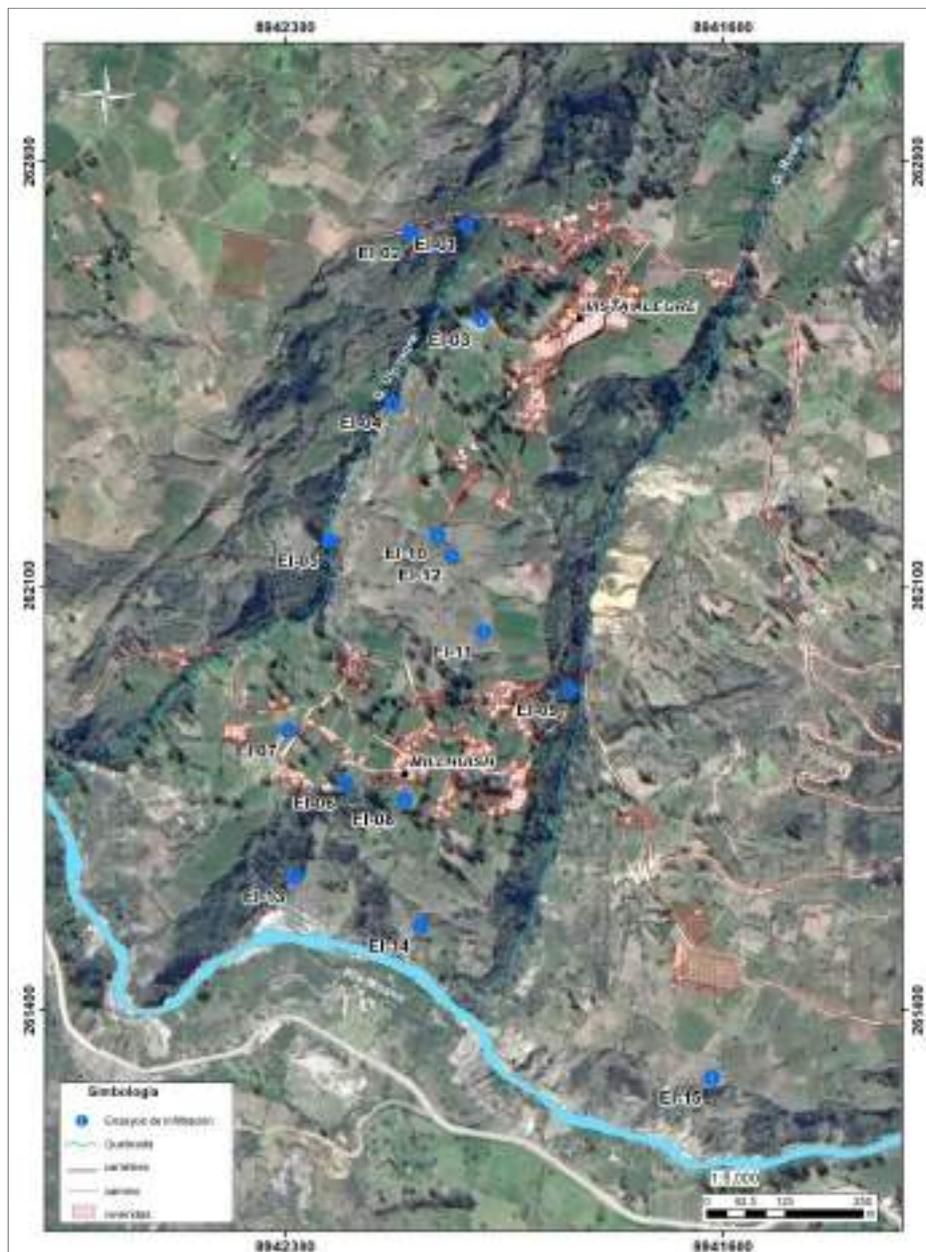
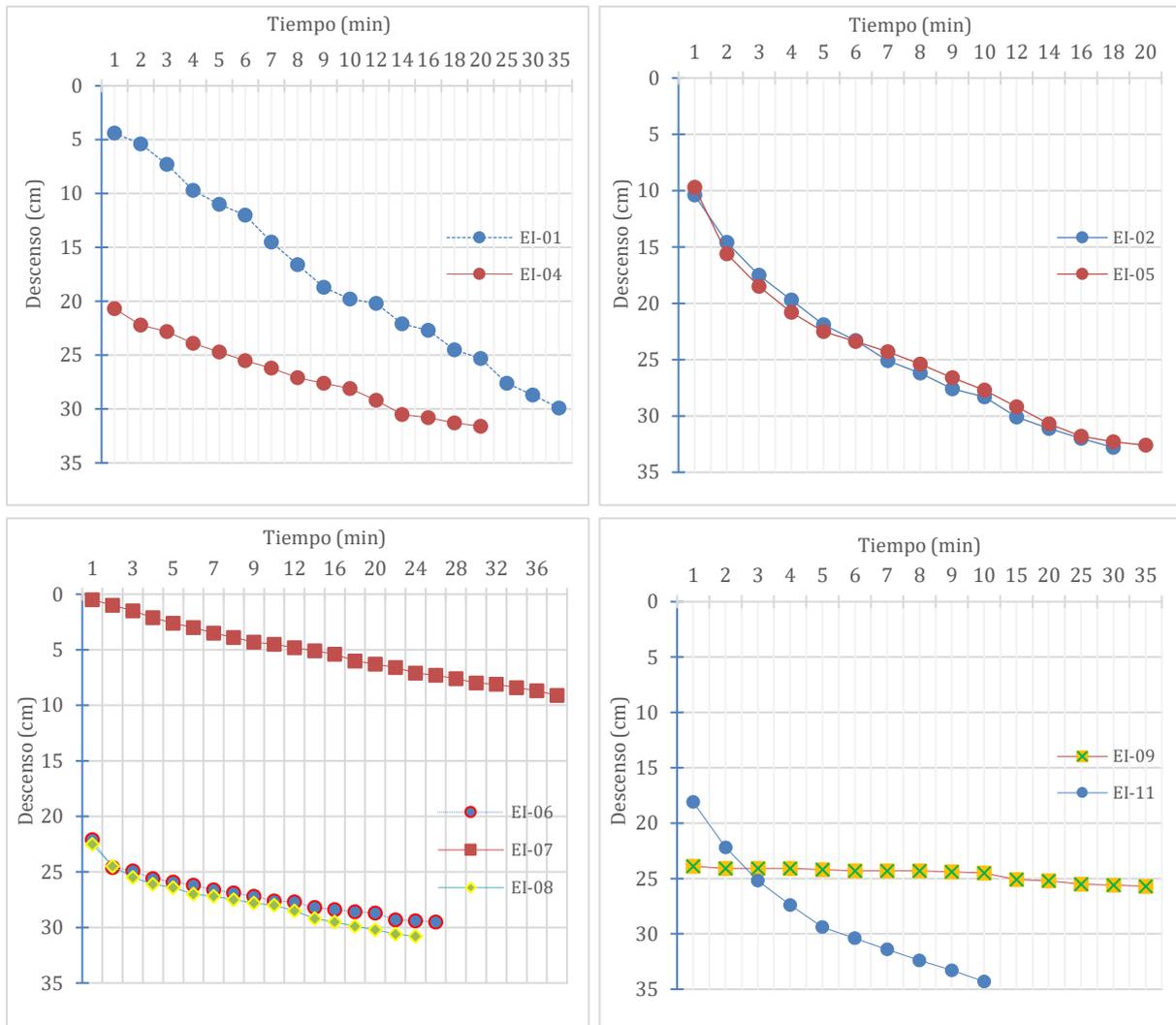


Figura 7.6. Distribución de los ensayos de infiltración.

Estos ensayos ayudarán a calcular la tasa de infiltración de manera referencial en el área de estudio. Gran parte está compuesta por depósitos Cuaternarios como coluviales, coluvio - deluviales, aluviales; en la parte alta por afloramientos de rocas como areniscas, limolitas, lutitas y calizas.

Con los datos de los ensayos de infiltración se comenzó el análisis y la comparación de las tasas de descenso, representándolas en gráficos de dispersión.

El análisis del flujo de aguas subterráneas revela variaciones significativas en los tiempos de descenso de las aguas, como se muestra en la figura 7.7. El gráfico presenta dos categorías principales: ensayos de infiltración con descenso rápido, como los ensayos EI-13, EI-14 y EI-15, que se encuentran en depósitos cercanos al deslizamiento activo, y ensayos con descenso medio como los ensayos EI-06, EI-08, EI-09 y EI-11, ubicados en la avalancha inactiva y en el derrumbe inactivo latente (Figura 7.8). Estas categorías reflejan diferencias en la velocidad de infiltración y en la capacidad de permeabilidad del suelo.



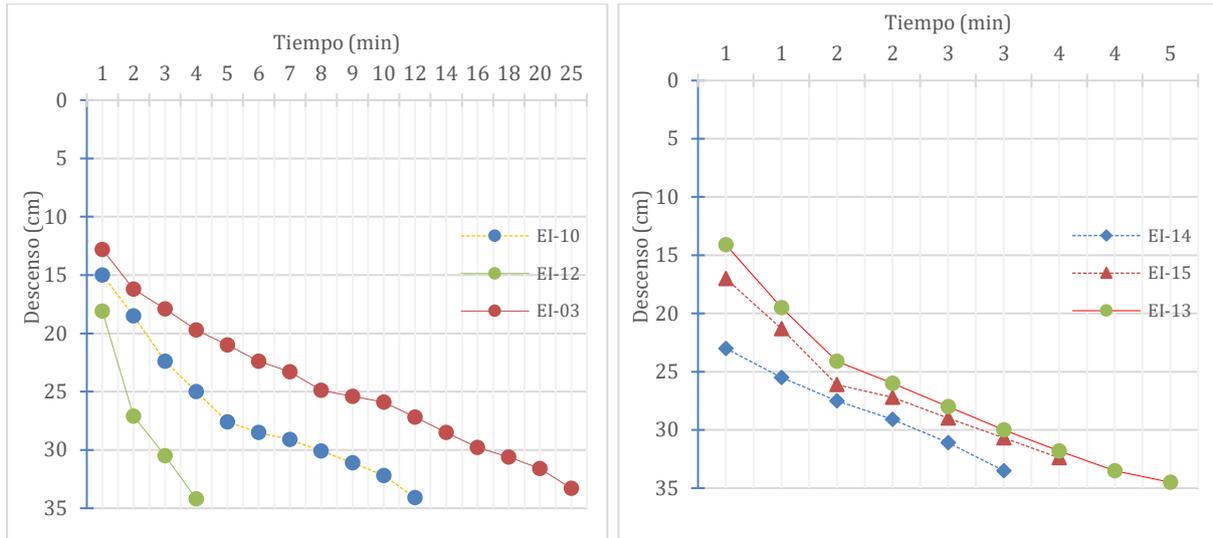


Figura 7.7. Análisis de descenso con respecto al tiempo de ensayos de infiltración realizadas en el caserío Millhuish y Vista Alegre.



Figura 7.8. Ensayo de infiltración en depósitos coluvio - deluviales, a) EI-09 en la trinchera (T-04). b) EI-15 en la parte baja del colegio, en dirección al río.

7.2.2.2. Conductividad Hidráulica

La conductividad hidráulica de 15 ensayos de infiltración fue determinada en el software Aqtsolv, Solución Hvorslev, las que determinan las propiedades hidráulicas de los depósitos coluviales y coluvio - deluviales, los cuales se muestran en el cuadro 7.4.

Cuadro 7.4. Resumen de los ensayos de infiltración en Millhuish y Vista Alegre.

N°	Código	Ensayo	Unidad Hidrogeológica	Permeabilidad
1	EI-01	LCV	Depósito coluviodeluvial 2	Algo permeable
2	EI-02	LCV	Depósito coluviodeluvial 1	
3	EI-03	LCV	Depósito coluviodeluvial 2	
4	EI-04	LCV	Depósito coluviodeluvial 1	
5	EI-05	LCV		
6	EI-06	LCV	Depósito coluviodeluvial 2	Algo permeable a poco permeable
7	EI-07	LCV		
8	EI-08	LCV		
9	EI-09	LCV		
10	EI-10	LCV		Algo permeable
11	EI-11	LCV		
12	EI-12	LCV		
13	EI-13	LCV		
14	EI-14	LCV		
15	EI-15	LCV		

a. Distribución de la conductividad hidráulica y permeabilidad

Para identificar las unidades hidrogeológicas se realizó un mapa de distribución de la permeabilidad en el caserío de Millhuish y alrededores, y fueron tomados en cuenta los valores de los ensayos de infiltración en m/d, de acuerdo al análisis en la zona baja se tiene valores entre 0.09 y 0.21 m/d, en zonas donde están ubicados los caseríos de Millhuish hacia Vista Alegre se tienen valores de 0.04 a 0.09 m/d, y en las quebradas Ulpiraqra y Raqra se muestran valores bajos de 0.01 a 0.04 m/d (Figura 7.9)

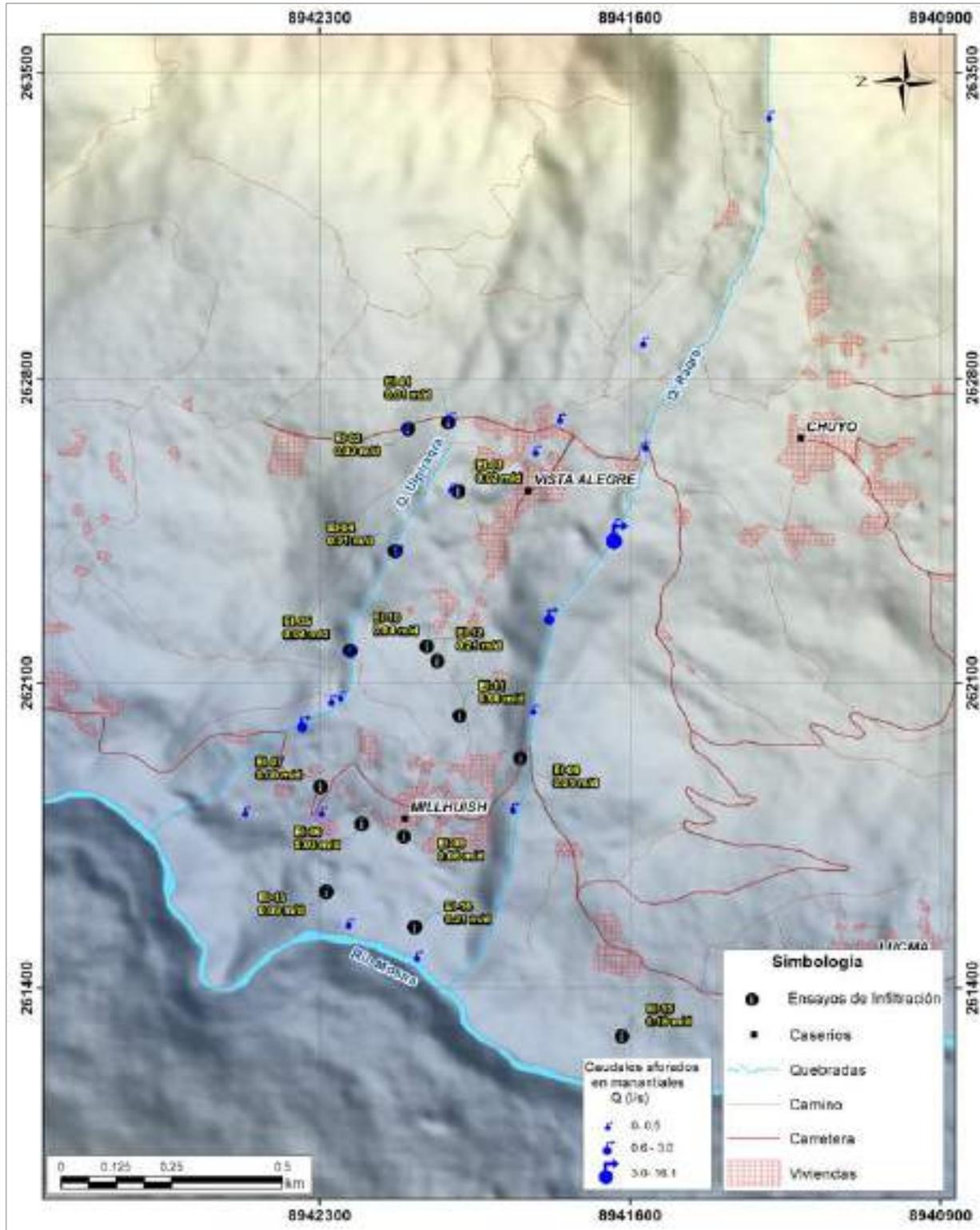


Figura 7.9. Mapa de distribución de la conductividad hidráulica de los ensayos de infiltración.

7.2.3. Caracterización hidrogeológica

En este apartado se desarrolla la hidrogeología desde el punto de vista litológico. Es crucial identificar las principales unidades litológicas que afloran en la zona de estudio, las cuales se describen en el cuadro 7.5.

Cuadro 7.5. Clasificación de las unidades geológicas.

Origen	Símbolo	Formación geológica
Depósitos cuaternarios	Q-co	Depósito coluvial
	Qh-cd1	Depósito coluvio-deluvial 1
	Qh-cd2	Depósito coluvio-deluvial 2
Rocas sedimentarias	Ki-ca	Formación Carhuaz
	Ki-sa	Formación Santa
	Ki-chi	Formación Chimú
	Ki-Oy	Formación Oyón

7.2.3.1. Unidades hidrogeológicas

Las unidades hidrogeológicas, se clasifican según la litología de las formaciones geológicas, se caracterizan a partir de un análisis detallado que toma de base a los resultados de ensayos de infiltración. Estos ensayos permiten evaluar la capacidad de las formaciones para almacenar y transmitir agua, proporcionando información clave sobre la porosidad, permeabilidad y conductividad hidráulica de cada unidad. Con base en estos parámetros, se elabora un cuadro de caracterización que distingue entre acuífero, acuitardo, acuicludo y acuífugo. Este análisis es fundamental para comprender la dinámica del flujo subterráneo (Cuadro 7.6).

Cuadro 7.6. Caracterización hidrogeológica según las formaciones geológicas.

Formación geológica	Litología	Unidad hidrogeológica
Depósito coluvial	Bloque, cantos, gravas, arenas y limos	Acuífero poroso no consolidado
Depósito coluvio-deluvial 1	Grava arcillosa con arena	
Depósito coluvio-deluvial 2	Arena arcilloso-limosa con grava	
Depósito coluvio-deluvial 3	Arena arcillosa con grava	
Formación Carhuaz	Limoarcillitas. Estratos de areniscas cuarcíferas. Areniscas y limolitas areniscosas	Acuitardo sedimentario

Formación Santa	Calizas de color azul grisáceo. Lutitas de coloración gris y de fina laminación horizontal.	Acuitardo sedimentario
Formación Chimú	Consiste de areniscas de coloración gris blancas intercalado con niveles de limolitas.	Acuífero fisurado sedimentario chimú
Formación Oyón	Areniscas de grano fino a subgrawaca, intercalado con limolitas. Lutitas gris oscuras en estratos delgados. Niveles de carbón bastante irregulares.	Acuitardo sedimentario

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.

Acuíferos porosos no consolidados están representados por unidades de depósitos cuaternarios como los depósitos coluviales y coluvio-deluviales. Estas formaciones geológicas consisten en una mezcla de materiales no consolidados como arena, grava, limo y arcilla, que facilitan el flujo y almacenamiento de agua subterránea. Estos acuíferos se distinguen por su estructura porosa y permeable, donde los espacios entre las partículas de sedimento actúan como canales para el flujo y son capaces de almacenar, los sedimentos no consolidados presentan espacios intersticiales o poros entre las partículas, estos poros varían en tamaño y forma, influenciando la capacidad de almacenamiento de agua del acuífero.

En los depósitos cercanos al deslizamiento activo se presentan rangos de tasas de infiltración de 0.09 m/d y 0.21 m/d, los ensayos en esta categoría incluyen EI-13 (0.09 m/d), EI-14 (0.21 m/d), y EI-15 (0.16 m/d), esta tasa de infiltración indica una mayor velocidad de infiltración y permeabilidad en estos depósitos coluvio-deluviales 2.

Los ensayos con descenso medio se encuentran en la avalancha inactiva y en el derrumbe inactivo latente, con valores de las tasas de infiltración que varían entre 0.01 m/d y 0.08 m/d. Incluyen ensayos como EI-02 (0.03 m/d), EI-03 (0.02 m/d), y EI-08 (0.06 m/d), los depósitos en esta categoría muestran una permeabilidad menor, reflejando una velocidad de infiltración más lenta.

b. Acuitardos

Los acuitardos sedimentarios en la zona de estudio están representados por las formaciones Carhuaz, Santa y Oyón, están compuestas por materiales sedimentarios, como arcillas y limos, de baja permeabilidad. Esto implica que los acuitardos no permiten un flujo significativo de agua a través de ellos y juegan un papel crucial en los sistemas hidrogeológicos al actuar como barreras o confinamientos para el movimiento del agua subterránea. A diferencia del acuífero poroso no consolidado, que puede almacenar y transmitir el agua subterránea, los acuitardos tienen una permeabilidad mucho menor. Esto resulta en un flujo de agua extremadamente lento, limitado principalmente a procesos de difusión, debido a su baja permeabilidad.

7.2.4. Mapa hidrogeológico

En el mapa hidrogeológico (Figura 7.10), se observa que la zona de los caseríos de Millhuish y Vista Alegre están sobre una unidad hidrogeológica correspondiente a un acuífero poroso no consolidado, clasificado como depósitos coluvio-deluviales. La topografía del terreno y las propiedades de estos depósitos determinan el comportamiento del agua subterránea en la zona.

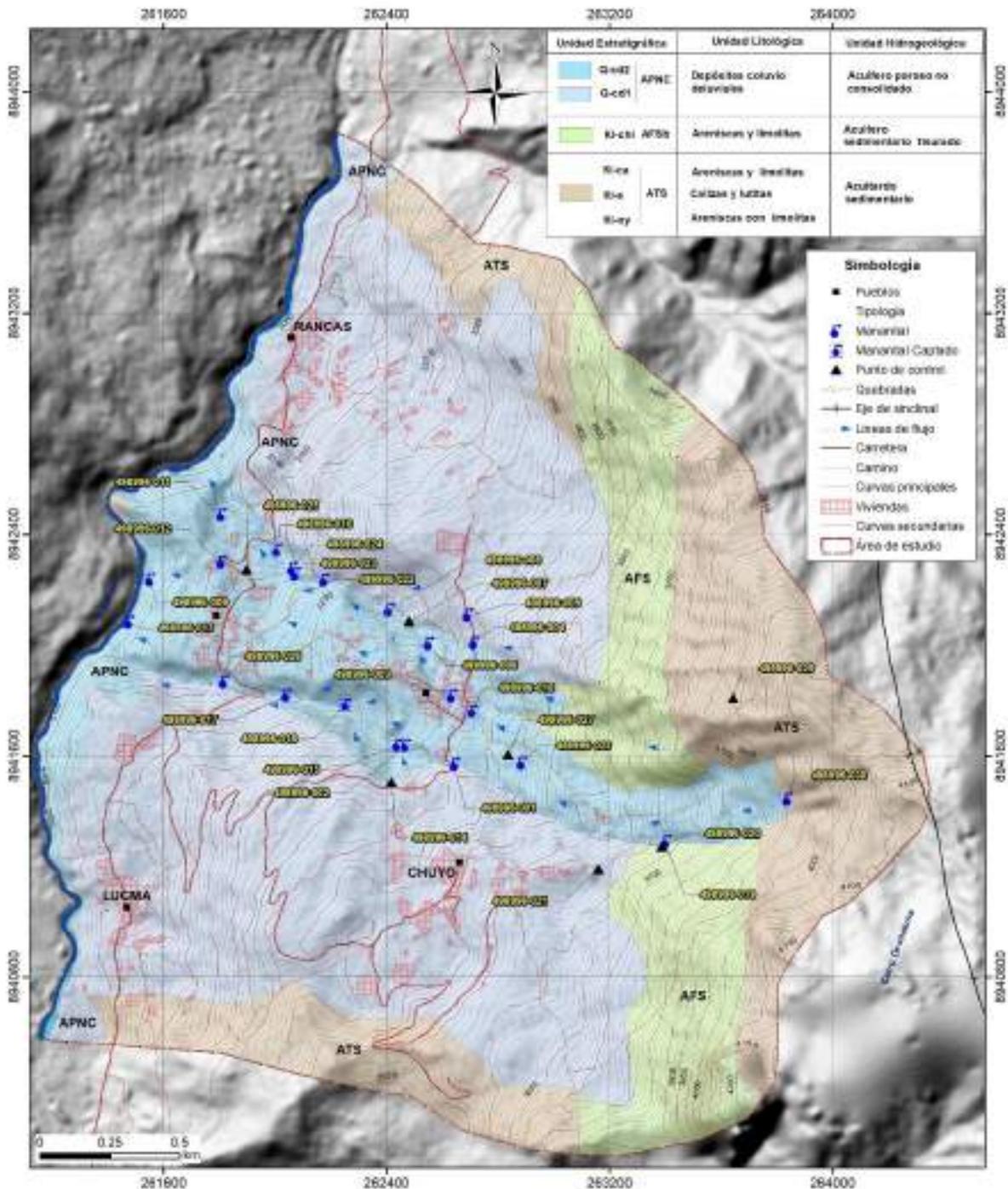


Figura 7.10. Mapa hidrogeológico del área de estudio.

Las direcciones de flujo del agua subterránea muestran que se desplaza desde las zonas de recarga, ubicadas en áreas elevadas, hacia las zonas de descarga situadas en áreas más bajas. Estos flujos subterráneos se concentran a lo largo de las quebradas Raqra y Ulpiraqra,

donde se encuentran la mayor parte de los manantiales y cursos de agua. La presencia de depósitos coluvio-deluviales y la topografía local generan direcciones de flujo preferenciales que siguen las pendientes del terreno y las características geológicas.

Durante la temporada de alta precipitación, el aumento en la saturación de estos depósitos puede incrementar el volumen de agua subterránea, intensificando el riesgo de deslizamientos y movimientos en masa. Esto es especialmente relevante en áreas donde los flujos subterráneos convergen, ejerciendo presión sobre las barreras de acuitardos y potencialmente desestabilizando el terreno. Los manantiales en las quebradas y áreas adyacentes al río Mosna son indicativos de esta dinámica, mostrando variaciones en caudales y propiedades fisicoquímicas que reflejan el impacto de los flujos subterráneos y las condiciones geológicas de la región.

7.2.5. Modelo hidrogeológico conceptual

Se ha empleado la cartografía del mapa hidrogeológico como base para desarrollar el modelo hidrogeológico utilizando el Software Leapfrog Geo 5.1 (Figura 7.11). Se ha creado dos secciones hidrogeológicas (A – A' y B – B') que abarcan los caseríos de Millhuish y Vista Alegre (Figuras 7.12 y 1.13). Esto permite analizar la dinámica del agua subterránea y superficial en relación con el deslizamiento y la avalancha activa.

El modelo hidrogeológico conceptual del área del deslizamiento incluye la caracterización de depósitos coluvio-deluviales y el nivel freático como componentes clave. Los depósitos coluviales cd1 y cd2 actúan como medios porosos que se recargan principalmente por la infiltración del agua en el suelo debido a la precipitación durante períodos de lluvia en los meses de enero febrero y marzo, estos depósitos pueden sobresaturarse, provocando pequeños movimientos y grietas en la parte baja del deslizamiento, lo que contribuye a la inestabilidad del terreno y puede desencadenar movimientos en masa en los caseríos de Millhuish y Vista Alegre.

El nivel freático, por otro lado, representa el nivel subterráneo donde el suelo está completamente saturado de agua. En el contexto del deslizamiento, el nivel freático puede fluctuar significativamente debido a cambios estacionales en la recarga de agua y a la interacción con los depósitos coluvio-deluviales.

El modelo conceptual también considera la dinámica del agua subterránea en relación con la topografía local y la estructura geológica subyacente. Esto implica la identificación de zonas de recarga y descarga, así como la dirección preferencial del flujo subterráneo influenciada por la pendiente del terreno y la permeabilidad de los materiales geológicos.

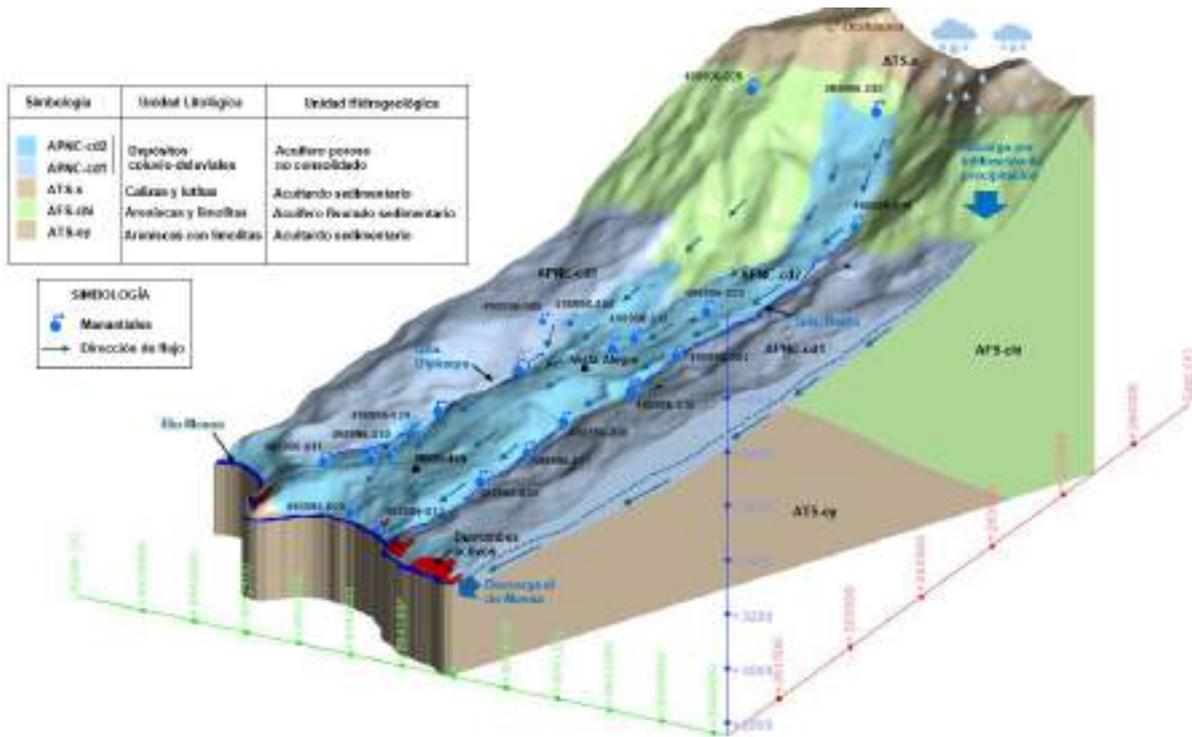


Figura. 7.11. Modelo hidrogeológico conceptual del área de estudio.

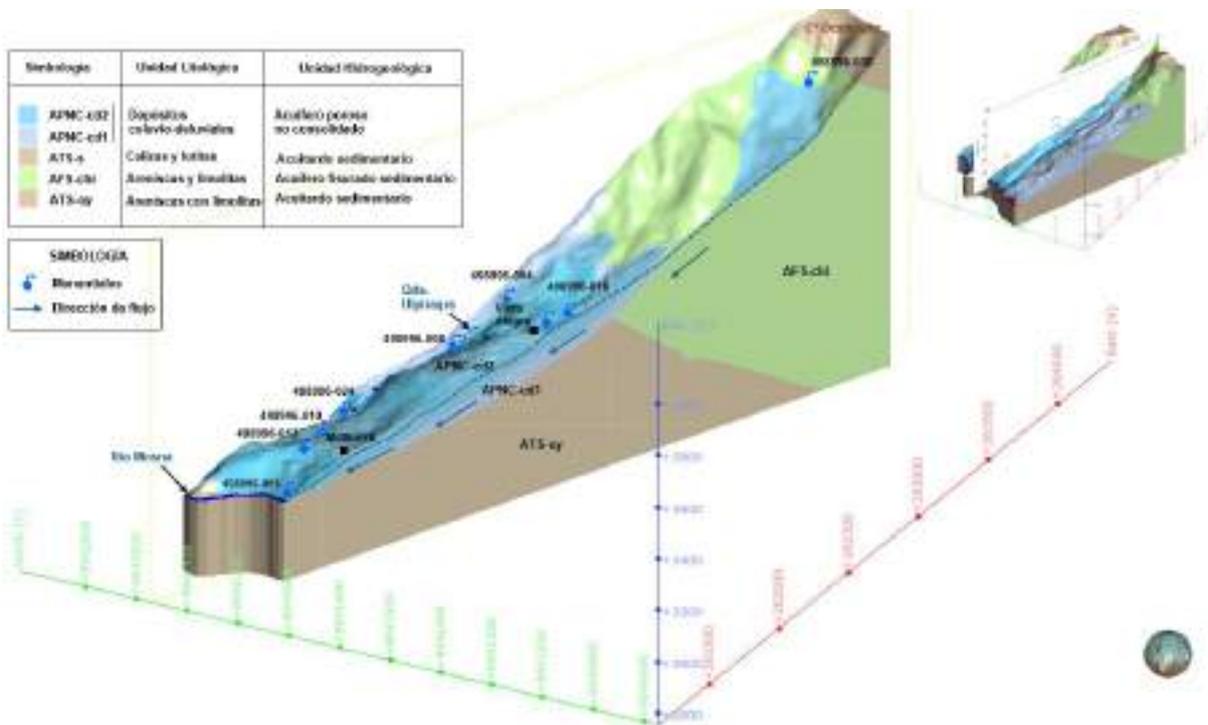


Figura 7.12. Modelo hidrogeológico conceptual de la sección A-A'.

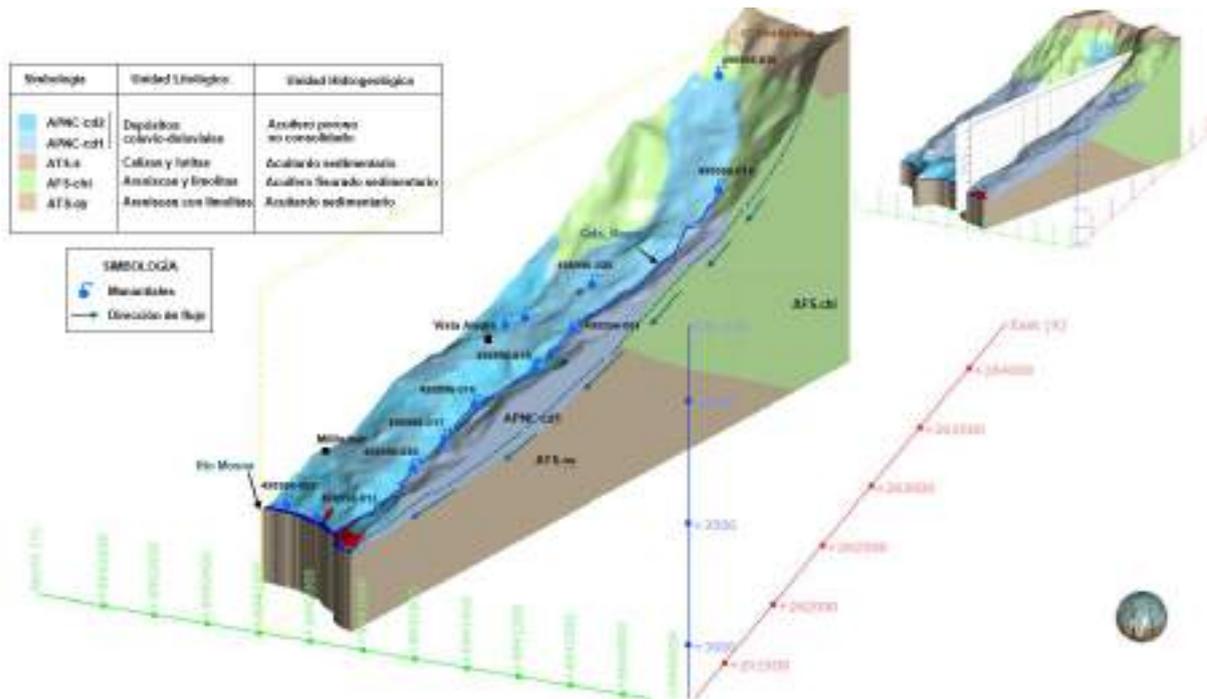


Figura 7.13. Modelo hidrogeológico conceptual de la sección B-B'.

En resumen, el modelo hidrogeológico conceptual del área del deslizamiento integra la comprensión de los depósitos coluviales, coluvio-deluviales y el nivel freático para evaluar la respuesta hidrológica del terreno ante diferentes condiciones climáticas y eventos de recarga, lo cual permite sectorizar zonas susceptibles a la prevención de riesgos asociados a movimientos de masa.

En la parte baja del deslizamiento y derrumbe activos, se han identificado evidencia de flujo de agua en el manantial 498996-013, este presenta un caudal de 0.17 l/s. En el sitio se ha observado una significativa escarpa formada por el derrumbe activo asociado al manantial, así mismo en las cercanías de la ladera muy próximos al río Mosna se observan zonas húmedas que evidencian un nivel freático y una dirección de flujo subterráneo que proviene desde la parte alta del cerro Ocshatuna y sigue una dirección natural de la pendiente del terreno.

7.2.6. Hidroquímica

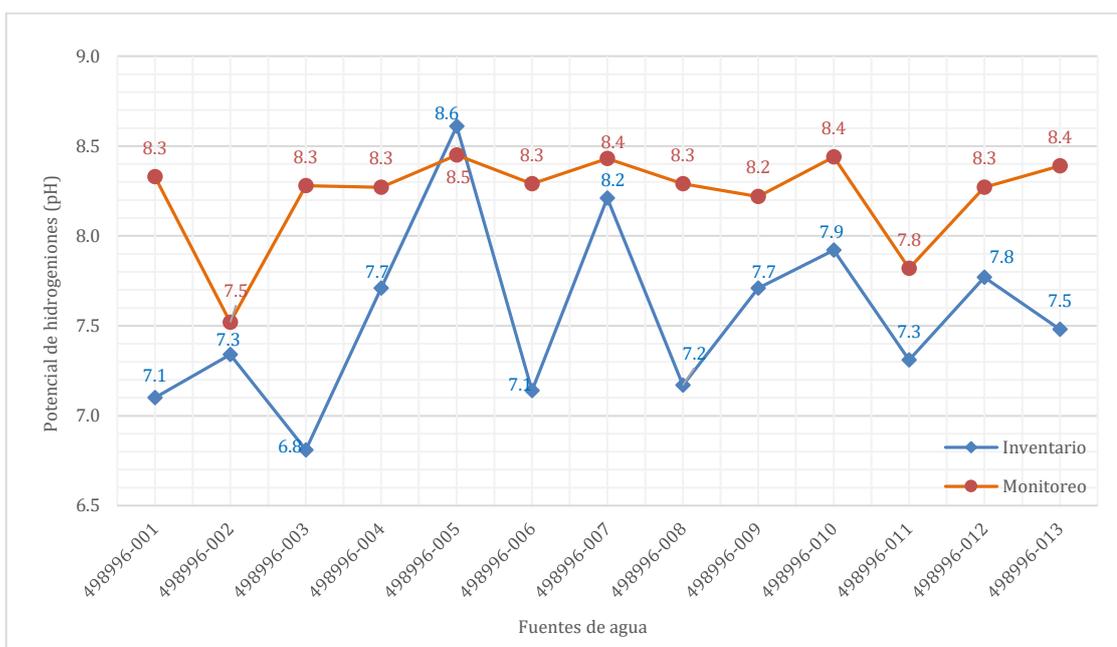
Se realizaron mediciones in situ de los parámetros fisicoquímicos en 30 fuentes de agua ubicadas en los caseríos de Millhuish, Vista Alegre y Chuyo. Los parámetros evaluados incluyeron el potencial de hidrógeno (pH), conductividad eléctrica (CE), sólidos disueltos totales (TDS), temperatura (°C), y potencial de oxidación y reducción (ORP). Además, se tomaron 13 muestras de agua durante la época de transición entre la temporada lluviosa y seca en las que se monitorearon los parámetros de pH, conductividad eléctrica, carbonatos, bicarbonatos, nitritos, nitratos y sulfatos. Estas muestras se analizaron en el laboratorio del Ingemmet, utilizando los métodos: Cromatografía Iónica, método Titrimétrico y un análisis complementario fisicoquímico.

7.2.6.1. Parámetros fisicoquímicos

a. Variación de Potencial de Hidrogeniones (pH)

El parámetro de pH se evaluó en 13 fuentes de agua. En el inventario de fuentes de agua se registraron valores de pH que fluctúan entre 6.8 y 8.6. Durante el proceso de monitoreo, los valores observados se encuentran en un rango de 7.5 a 8.4. Estos datos se ilustran en detalle en el gráfico 7.1.

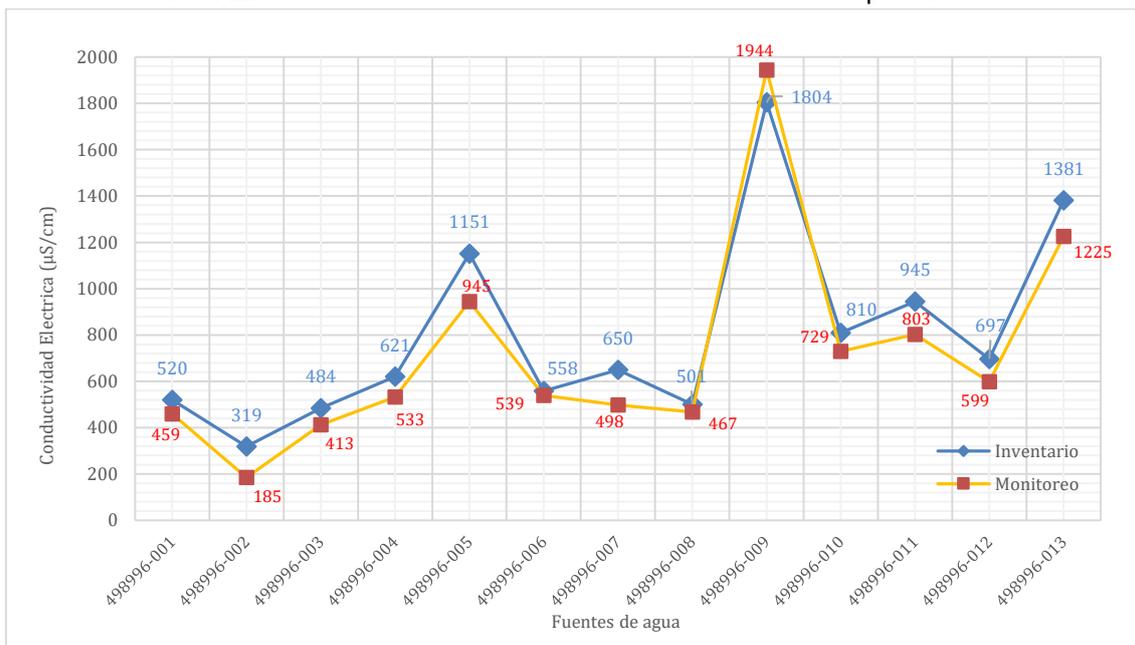
Gráfico 7.1. Variación de pH en dos tiempos diferentes.



b. Variación de Conductividad Eléctrica (CE)

La conductividad eléctrica del agua se midió en 13 fuentes, como se ilustra en el gráfico adjunto. Durante el inventario, los valores de conductividad fluctuaron entre 319 y 1804 $\mu\text{S}/\text{cm}$. En el monitoreo, los valores variaron entre 185 y 1944 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Estas variaciones en la conductividad eléctrica pueden ser influenciadas por factores estacionales, como cambios en la temperatura y en la precipitación, así como por factores ambientales que afectan la concentración de sólidos disueltos totales (TDS) en el agua. Durante las lluvias, la dilución de las aguas superficiales puede provocar una disminución temporal en la conductividad, mientras que, en períodos de sequía, la evaporación y la concentración de solutos pueden incrementar la conductividad (Gráfico 7.2).

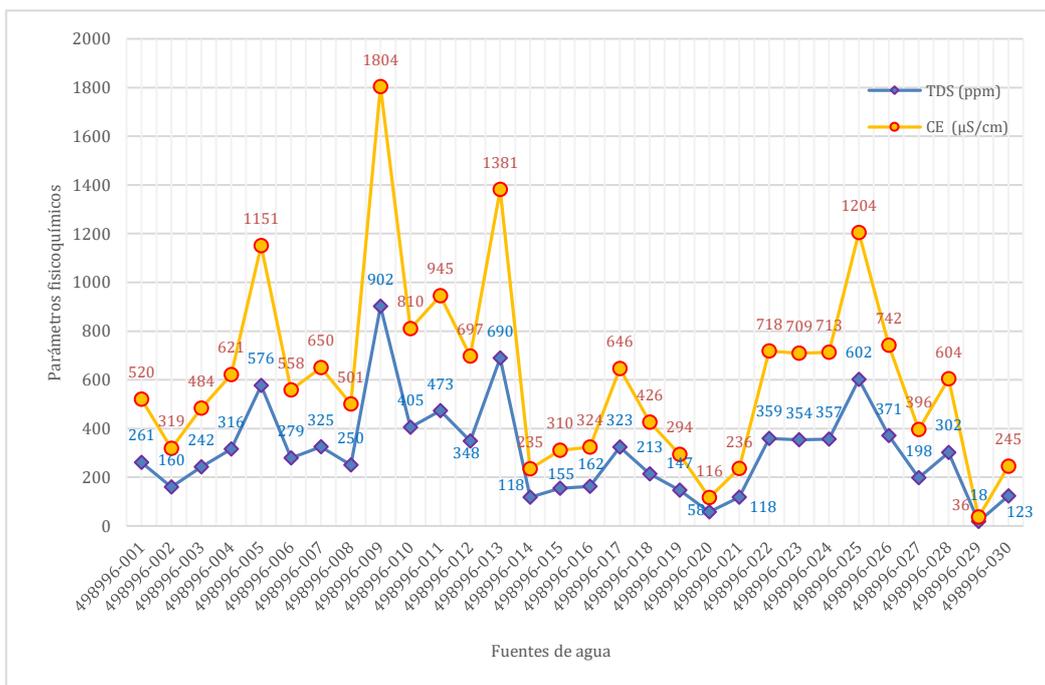
Gráfico 7.2. Variación de la conductividad eléctrica en dos tiempos diferentes.



c. Sólidos Disueltos Totales (TDS)

Los sólidos totales disueltos (TDS) observados en esta área de estudio presentan valores entre 18 y 902 ppm, en el siguiente grafico se observan todas las fuentes inventariadas son una medida importante de la calidad del agua, ya que reflejan la cantidad total de sólidos disueltos en forma iónica, molecular o coloidal presentes en el agua. Estos sólidos pueden incluir sales, minerales, metales y otros compuestos orgánicos e inorgánicos que se encuentran en solución (Gráfico 7.3).

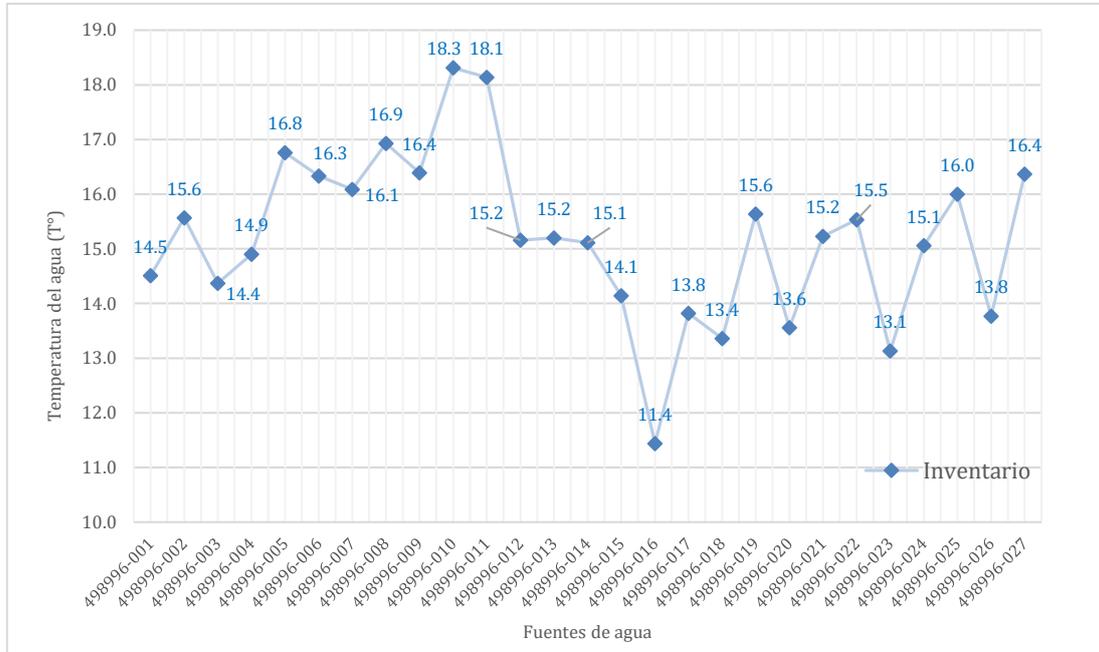
Gráfico 7.3. Variación de TDS y CE en las fuentes de agua del inventario.



d. Temperatura

Los datos del inventario revelan que las fuentes de agua presentan temperaturas que oscilan entre 11.4 y 18.3 °C, abarcando un rango que va desde temperaturas frías hasta moderadamente cálidas (Gráfico 7.4).

Gráfico 7.4. Variación de la temperatura en las fuentes agua del inventario.



7.2.6.2. Análisis de aniones en muestras de agua

El análisis de aniones es crucial para entender la calidad del agua subterránea y superficial en el contexto de un estudio hidrogeológico. Los aniones como carbonatos (CO_3^{2-}), bicarbonatos (HCO_3^-), cloruros (Cl^-), fluoruro (F^-), nitratos (NO_3^-), nitritos (NO_2^-), sulfatos (SO_4^{2-}) y los parámetros de alcalinidad proporcionan información detallada sobre la composición química del agua (Cuadro 7.7).

Cuadro 7.7. Resumen del análisis de aniones en muestras de agua.

Elementos		(*) Alcalinidad total	(*) CO_3^{2-}	(*) HCO_3^-	F^-	Cl^-	NO_3^-	SO_4^{2-}	NO_2^-
Unidades		mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
No	LDM Código	1.2 LCM	1.2 LCM	1.2 LCM	0.2	0.2	0.5	1	0.5
1	4988996-001	192.1	<1.2	234.4	<0.2	2.6	9.5	56	<0.5
2	4988996-002	36.9	<1.2	45.0	<0.2	1.9	0.9	54	<0.5
3	4988996-003	147.5	<1.2	180.0	0.2	0.7	2.2	84	<0.5

4	498996-004	227.3	9.3	258.4	0.3	0.6	<0.5	98	<0.5
5	498996-005	224.3	1.5	270.5	1.7	0.5	<0.5	349	<0.5
6	498996-006	203.3	<1.2	248.0	0.3	3.0	3.9	112	<0.5
7	498996-007	180.1	1.5	216.6	0.2	3.3	5.2	96	<0.5
8	498996-008	157.8	<1.2	192.5	0.2	3.0	4.5	98	<0.5
9	498996-009	85.8	<1.2	104.6	0.6	4.5	4.0	1035	<0.5
10	498996-010	258.6	4.1	307.1	0.3	16.1	9.6	132	<0.5
11	498996-011	370.9	<1.2	452.5	0.2	6.2	8.1	100	<0.5
12	498996-012	262.9	<1.2	320.7	0.3	5.7	1.0	75	<0.5
13	498996-013	169.4	1.5	203.5	0.3	4.1	<0.5	578	<0.5

a. Alcalinidad total

Análisis de los Datos: Rangos y Distribución: Los valores de alcalinidad total varían considerablemente entre las muestras, con un rango de 36.9 mg/l en el manantial 498996-002 a 370.9 mg/l en el manantial 498996-011. Esto sugiere una heterogeneidad en la composición química de las muestras de agua. La distribución de los datos muestra una concentración media relativamente alta, lo que puede indicar una significativa presencia de iones bicarbonato (HCO_3^-) y carbonato (CO_3^{2-}), que son los principales contribuyentes a la alcalinidad en las aguas naturales.

Los valores más altos, como 370.9 mg/l en el manantial 498996-011 y 262.9 mg/l en el manantial 498996-012, sugieren que las muestras de agua tienen una alta capacidad de neutralización de ácidos. Esto podría ser indicativo de una alta concentración de carbonatos y bicarbonatos. Las fuentes de alta alcalinidad pueden incluir la disolución de minerales como calcita (CaCO_3) o dolomita ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) en el agua.

Las muestras con valores bajos de 36.9 mg/l en el manantial 498996-002 y 85.8 mg/l en el manantial 498996-009, podrían tener menos capacidad para neutralizar ácidos, lo cual podría ser indicativo de menor presencia de carbonatos y bicarbonatos. Esto puede estar relacionado con la menor disolución de minerales alcalinizantes o con la presencia de otros procesos que reducen la alcalinidad, como la dilución con agua de bajo contenido mineral o el uso de tratamientos que eliminan los iones responsables.

b. Carbonatos y Bicarbonatos

Concentración de Carbonatos (CO_3^{2-}): La concentración de carbonatos (CO_3^{2-}) en las muestras varía entre <1.2 mg/l y 9.3 mg/l. La mayoría de las muestras presentan concentraciones de carbonato inferiores al límite de detección de 1.2 mg/l, con algunas excepciones que muestran niveles más altos.

La muestra con la concentración más alta de CO_3^{2-} es el código 498996-004, con 9.3 mg/L. Esta es una concentración notable que indica una presencia significativa de carbonatos, lo que podría influir en la capacidad del agua para actuar como un tampón de pH.

Las muestras 498996-005, 498996-007, y 498996-010 tienen concentraciones detectables de CO_3^{2-} (1.5 mg/L y 4.1 mg/L), pero siguen siendo bajas en comparación con los niveles típicos en aguas altamente mineralizadas.

Las concentraciones inferiores a 1.2 mg/l en la mayoría de las muestras sugieren que el ion carbonato está presente en cantidades muy pequeñas o es reemplazado por bicarbonato en estas muestras.

Concentración de Bicarbonatos (HCO_3^-): Los valores de bicarbonato (HCO_3^-) muestran una amplia variabilidad, desde 45.0 mg/L hasta 452.5 mg/l. Las muestras con las concentraciones más altas de HCO_3^- son las muestras 498996-011 (452.5 mg/l) y 498996-012 (320.7 mg/l). Estas muestras tienen alto contenido de bicarbonato, lo que indica una mayor capacidad para neutralizar ácidos.

Los manantiales con códigos 498996-002 (45.0 mg/l) y 498996-009 (104.6 mg/l) presentan niveles mucho menores de bicarbonato, lo que puede hacer que estas aguas sean menos efectivas en la regulación del pH.

c. Flúor, Cloro, Nitratos, Sulfatos y Nitritos

Flúor (F^-): Los niveles de flúor en las muestras varían entre 0.2 mg/L y 1.7 mg/L. La muestra con la concentración más alta de flúor es el código 498996-006, con 1.7 mg/L.

En varias muestras, el nivel de flúor es menor al límite de detección (<0.2 mg/L), indicando bajas concentraciones o ausencia de flúor en esas muestras.

Cloruro (Cl^-): La concentración de cloruro varía de 0.2 mg/L a 16.1 mg/L. La muestra con el mayor contenido de cloruro es el código 498996-011, con 16.1 mg/L.

Las concentraciones elevadas de cloruro, como las observadas en los códigos 498996-010, 498996-011 y 498996-012, podrían indicar la presencia de sales disueltas en el agua.

Nitrato (NO_3^-): Las concentraciones de nitrato varían de <0.5 mg/L a 9.6 mg/L. Las muestras 498996-002 y 498996-011 tienen las concentraciones más altas, 9.5 mg/L y 9.6 mg/L respectivamente.

Los niveles de nitrato en estas muestras están dentro de los límites típicos, aunque los niveles elevados pueden ser indicativos de contaminación por fertilizantes o aguas residuales, Niveles altos de nitrato pueden ser indicativos de contaminación por fertilizantes y aguas residuales, y son un importante parámetro por monitorear por sus efectos sobre la salud y la eutrofización.

Sulfato (SO_4^{2-}): Las concentraciones de sulfato fluctúan de 1 mg/L a 1035 mg/L. La muestra 498996-010 muestra la concentración más alta con 1035 mg/L, lo que podría sugerir una alta mineralización o contaminación por sulfatos.

Nitrato (NO_3^-): Las concentraciones de nitrato varían de <0.5 mg/L a 9.6 mg/L. Las muestras 498996-002 y 498996-011 tienen las concentraciones más altas, 9.5 mg/L y 9.6 mg/L respectivamente.

Los niveles elevados pueden ser indicativos de contaminación por fertilizantes o aguas residuales, y son un importante parámetro por monitorear por sus efectos sobre la salud y la eutrofización.

8. ASPECTOS GEOTÉCNICOS

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 tiene areniscas cuarzosas intercaladas con lutitas y limolitas de las formaciones Oyón, Chimú y Carhuaz, así como calizas de la Formación Santa. 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 conversión 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 ventanas geomecánicas, de las cuales en este capítulo se muestra y describe dos de ellas, una ubicada en la Formación Oyón y la otra en la Formación Chimú. El resultado de la caracterización geomecánica de estos afloramientos permitió realizar la comparación del comportamiento geomecánico de ambas litologías.

Según la caracterización realizada en las areniscas de la Formación Oyón nos da un RMR catalogada como macizo rocoso de mala calidad; mientras que, la Formación Chimú, es catalogada como de regular calidad geotécnica. Ambas unidades geológicas presentan similares características, pero la presencia de mayor nivel de lutitas carbonosas y limolitas de la Formación Oyón, la hace más inestable.

En la fotografía 8.1 se describen las características del macizo rocoso de la Formación Oyón, que presenta estratificación con orientación al Este. Las fracturas presentan 3 familias de discontinuidades, con dirección preferencial al NW-SE.

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

En cuanto a la meteorización, el macizo rocoso se encuentra muy meteorizado, es decir, presenta decoloración en la rocas y superficies de discontinuidad. El macizo rocoso se presenta húmedo.



Fotografía 8.1. Vista de la estación 5, conformada por areniscas, intercaladas con niveles de lutitas carbonosas de la Formación Oyón.

Cuadro 8.1. Valoración del macizo rocoso realizada en rocas de la Fm. Oyón.

VALORACION DEL MACIZO ROCOSO (R.M.R.)											
PARAMETROS	RANGO DE VALORES								VALORACIÓN		
	VALOR ESTIMADO										
Resist. COMPRES. UNIAxIAL (Mpa)	> 250 (15)	100 - 250 (12)	50 - 100 (7)	25 - 50 (4)	X	<25 (2), <5 (1), <1 (0)			1	4	
ROD (%)	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)	1 - 5 mm (1)	> 5 mm (0)			4B	1
	RUGOSIDAD	Muy Rugosa (6)	Rugosa (5)	X	Lig. Rugosa (3)	Lisa (1)	Espejo de falla (0)			4C	5
	RELLENO	Limpia (6)	Duro < 5mm (4)		Duro > 5mm (2)	Suave < 5 mm (1)	X	Suave > 5 mm (0)			4D
ALTERACIÓN	Sana (6)	Lig. Meteor. (5)		Mod. Meteor. (3)	Muy Meteor. (2)	X	Descompuesta (0)			4E	2
	AGUA SUBTERRANEA	Seco (15)	Húmedo (10)	X	Mojado (7)	Goteo (4)	Flujo (0)			5	10
VALOR TOTAL RMR (Básico)								(Suma de valoración 1 a 5) =		45	
RMR CORREGIDO	TALUDES	Muy Favorable (0)		Favorable (-5)	5	Regular (-25)	Desfavorable (-50)	Muy desfavorable (-60)			40
CLASE DE MACIZO ROCOSO (Según RMR Corregido)											
RMR	100 - 81	80-61	60-41	40-21	20 - 0						IV
TIPO	I	II	III	IV	V						

El afloramiento de la Formación Chimú tiene 3 familias de discontinuidades, con dirección preferencial al NW-SE y estratificación con orientación al Este. El espaciamiento entre sus fracturas varía de 0.2 a 0.6 m, dentro de las aberturas se tiene relleno de suelo areno limoso, con persistencia de 3 a 10 m; la superficie de las discontinuidades es rugosa.

En cuanto a la meteorización, el macizo se encuentra moderadamente meteorizado, es decir, menos de la mitad del material está descompuesto o desintegrado. El macizo rocoso se presenta húmedo.



Fotografía 8.2. Vista de la estación 2, conformada mayoritariamente por areniscas de la Formación Chimú.

Cuadro 8.2. Valoración del macizo rocoso realizada en rocas de la Fm. Chimú.

VALORACION DEL MACIZO ROCOSO (R.M.R.)										
PARAMETROS	RANGO DE VALORES							VALORACIÓN		
	VALOR ESTIMADO									
Resist. COMPRES UNIAxIAL (Mpa)	> 250 (15)	100 - 250 (12)	50 - 100 (7)	X 25 - 50 (4)	<25 (2), <5 (1), <1 (0)			1	7	
RQD (%)	90 - 100 (20)	75 - 90 (17)	50 - 75 (13)	X 25 - 50 (8)	< 25 (3)			2	13	
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)	3-10m. (2)	X 10-20 m. (1)	> 20 m. (0)		4A	2	
	ABERTURA	Cerrada (6)	<0.1mm. (5)	X 0.1-1mm. (4)	1 - 5 mm (1)	> 5 mm (0)		4B	5	
	RUGOSIDAD	Muy Rugosa (6)	Rugosa (5)	X Lig. Rugosa (3)	Lisa (1)	Espejo de falla (0)		4C	5	
	RELLENO	Limpia (6)	Duro < 5mm (4)	Duro > 5mm (2)	X Suave < 5 mm (1)	Suave > 5 mm (0)		4D	1	
ALTERACIÓN	Sana (6)	Lig. Meteor. (5)	Mod. Meteor. (3)	X Muy Meteor. (2)	Descompuesta (0)		4E	3		
AGUA SUBTERRANEA	Seco (15)	Húmedo (10)	X Mojado (7)	Goteo (4)	Flujo (0)		5	10		
VALOR TOTAL RMR (Básico)							(Suma de valoración 1 a 5) =		56	
RMR CORREGIDO	TALUDES	Muy Favorable (0)	Favorable (-5)	5	Regular (-25)	Desfavorable (-50)	Muy desfavorable (-60)	51		
CLASE DE MACIZO ROCOSO (Según RMR Corregido)										
RMR	100 - 81	80-61	60-41	40-21	20 - 0	III				
TIPO	I	II	III	IV	V					

El resultado del análisis realizado en la parte alta del caserío Millhuish, nos muestra que la estabilidad es parcialmente estable a estable, por lo cual requiere tratamiento Ocasional o ninguna.

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: Según observaciones en campo, a la altura del caserío Millhuish el suelo presenta textura areno-harinoso; sin embargo, hacia Vista Alegre presenta un suelo más áspero - arenoso.

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 1.69 – 1.74 (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 1.72 a 1.75, lo que nos infiere que son suelos 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: En la zona de estudio, el ángulo de fricción ha sido determinado a través de ensayos triaxiales CU, obteniendo un ángulo de 28.30. 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 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 caserío Millhuish, los suelos catalogados como depósito coluvial 2 presentan una cohesión de 2.80 kpa, lo que nos indica la adherencia de las partículas.

8.3. Clasificación del suelo

Los tipos de materiales que componen el suelo de Millhuish y alrededores 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). Para ello, es necesario conocer las siguientes características del suelo:

En el cuadro 8.3 se presentan los resultados del análisis granulométrico realizado en el caserío Millhuish y alrededores, según la clasificación de SUCS y AASHTO. El muestreo de estos suelos se ha realizado a través de calicatas y trincheras, es decir en los planos de escarpe y/o cortes de talud.

Cuadro 8.3. Resultado de las muestras analizadas en el Caserío Millhuish y alrededores.

MUESTRAS		CONTENIDO DE HUMEDAD	GRANULOMETRIA		LIMITES DE CONSISTENCIA			PESO VOLUMÉTRICO	TRIAIXIAL			
Código	Profundidad	Humedad Natural (%)	Clasificación SUCS	Clasificación AASHTO	Limite Líquido	Limite Plástico	Índice de Plasticidad	Densidad natural (gr/cm ³)	Cohesión efectiva (Kpa)	Angulo de fricción efectiva (°)	Cohesión Residual (Kpa)	Angulo de fricción Residual (°)
T-1	7	4.1	Arena arcillosa limosa con grava SC-SMA	A-2-4 Grava y arena arcillosa o limosa	21.9	17.1	4.8	1.72				
T-4		2.4	Grava arcillosa con arena GCA	A-2-4 Grava y arena arcillosa o limosa	24.4	17.1	7.3	1.74				
T-5	12	6	Arena arcillosa con grava SCA	A-2-4 Grava y arena arcillosa o limosa	23.9	15.5	8.5	1.75	2.8	28.3	2.3	27.2
T-6	6	2.7	Grava arcillosa limosa con arena	A-1-b Fragmentos de roca, grava y arena	19.7	15.4	4.2	1.69				

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 caserío Millhuish los índices de plasticidad obtenidos varían de 4.8 a 7.3, lo que nos indica que son suelos catalogados como débil a medianamente plásticos.

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.

9. EVALUACIÓN DE LAS CONDICIONES DE ESTABILIDAD

El presente capítulo contiene los resultados obtenidos de los distintos análisis de estabilidad de taludes, aplicados en 11 perfiles que son considerados 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 sugerido para este análisis es el del equilibrio límite, para el caso de taludes en suelos.

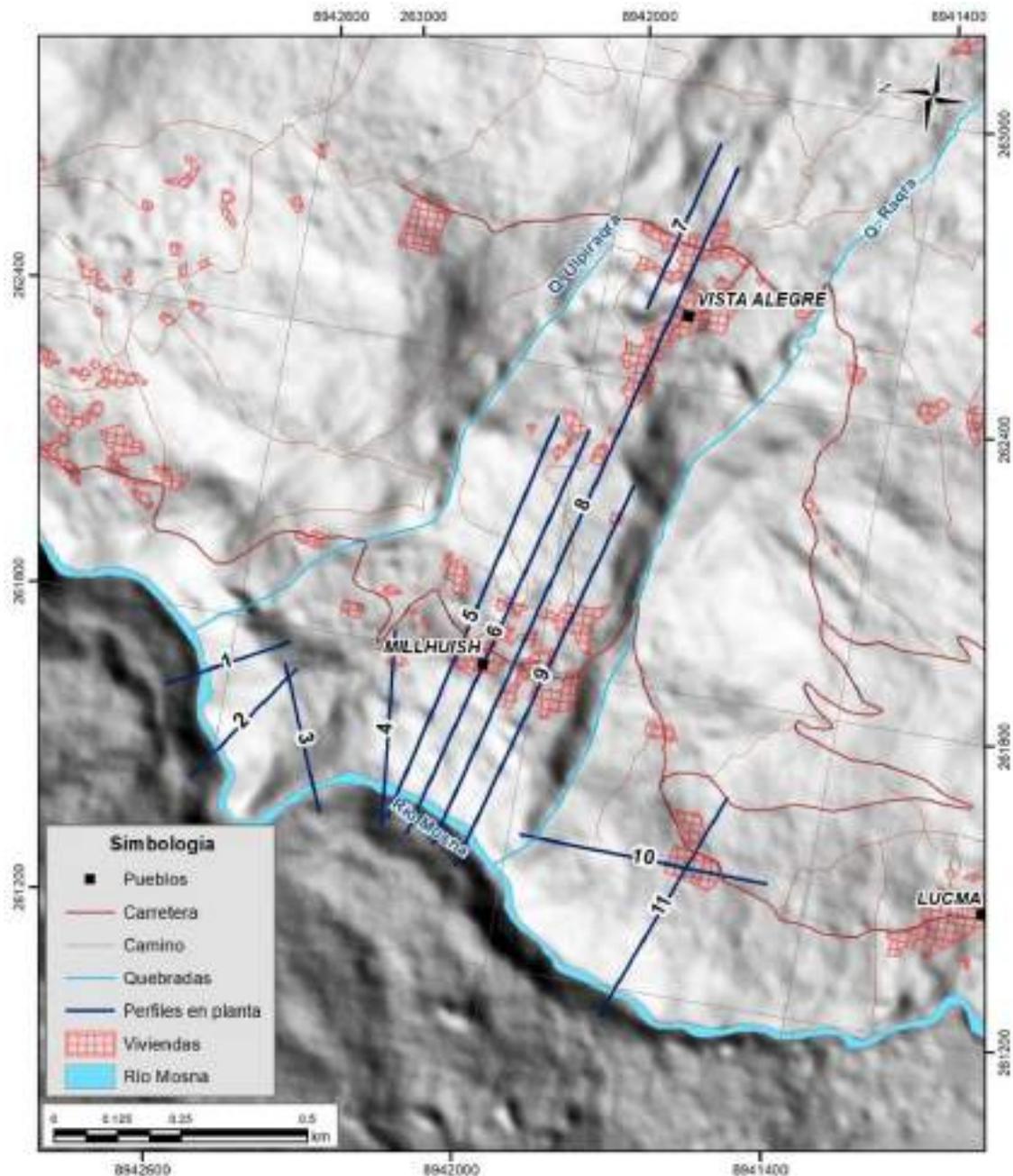


Figura 9.1. Ubicación de los perfiles en planta.

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
- Peso unitario saturado
- 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	1.5
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 de Millhuish.

En la figura 9.1 se muestra la ubicación de los perfiles en planta y en el cuadro 9.2 se detalla el resumen de las características de los materiales.

Cuadro 9.2. Características físicas del suelo y roca.

SUELO	PESO ESPECÍFICO gr/cm ³	COHESIÓN Kg/cm ²	ANGULO DE FRICCIÓN INTERNA
SC	1.75	2.3	28
GC-GM	1.72	1.96	30
K-oy	23.5 (KN/m ³)	10	34

Nota: El peso específico, cohesión y ángulo de fricción de la Formación Oyón 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 analizada.

9.1.4.1. 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 caserío de Millhuish 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.

De acuerdo a 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 (Ingemmet, 2010).

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

En los 11 perfiles (Figura 9.1) se hizo el análisis de estabilidad de taludes considerando el factor sísmico y nivel freático dando como resultado el factor de seguridad de los taludes en condiciones estáticas y condiciones pseudoestáticas (Cuadro 9.3). En este capítulo se mostrará con detalle el análisis realizado a los perfiles 4, 6 y 10; el resto de los perfiles (1, 2, 3, 5, 7, 8, 9 y 11) se muestran en el anexo 4.

Cuadro 9.3. Factor de seguridad en taludes.

N°	TIPO DE SUELO	LONG. (m)	FACTOR DE SEGURIDAD	
			CONDICIONES ESTÁTICAS	CONDICIONES PSEUDOESTÁTICAS
1	SC	264	1.220	0.786
2	SC	300	1.161	0.712
3	SC	306	1.049	0.754
4	SC	391	1.235	0.860
5	SC	870	1.346	0.696

6	SC	883	1.356	0.810
7	SC	1476	1.446	0.700
8	SC	360	1.287	0.760
9	SC	836	1.323	0.726
10	GC-GM	497	1.290	0.857
11	GC-GM	506	1.384	0.704

Perfil N° 4: Este perfil está localizado hacia el noroeste de la plaza de Millhuish (Figura 9.1). Utilizando el programa de ROCKSCIENCE SLIDE V.6 se analizó la estabilidad en condiciones estáticas y pseudo-estáticas desde el pie de la ladera (margen derecha del río Mosna) hasta el poblado referido (Figura 9.1). Para este análisis se consideró el nivel freático en el depósito coluvio deluvial 1, geotécnicamente, catalogado como SC, con una profundidad aproximada de 30 m, dando como resultados un factor de seguridad de 1.235 para condiciones estáticas (Figura 9.3) y un factor de seguridad de 0.860 para condiciones pseudoestáticas (Figura 9.4).

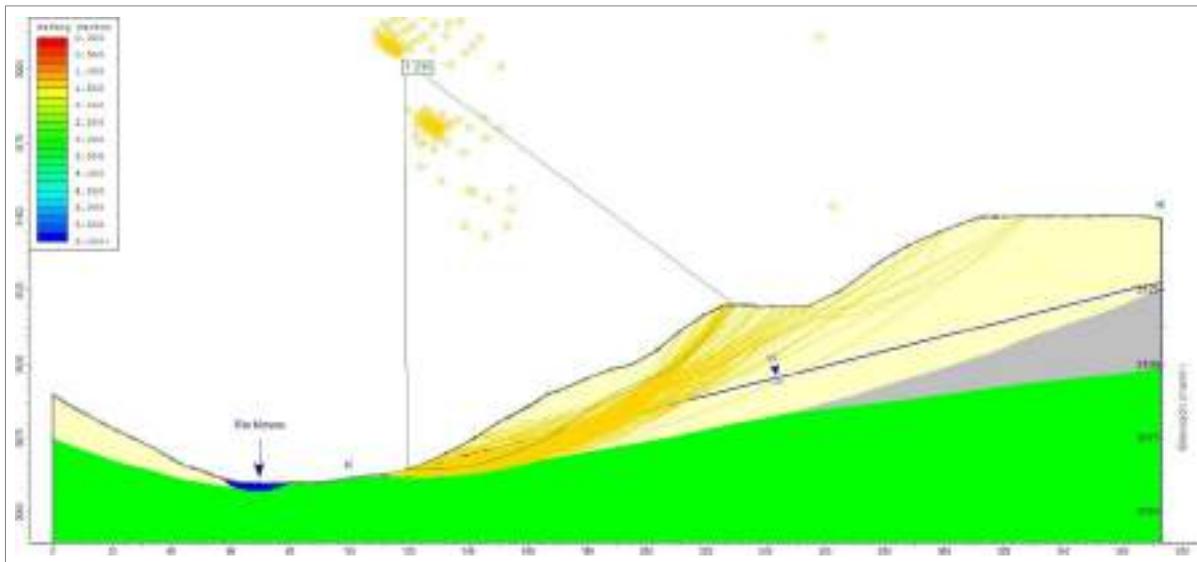


Figura 9.3. Perfil 4, muestra los resultados obtenidos en condiciones estáticas

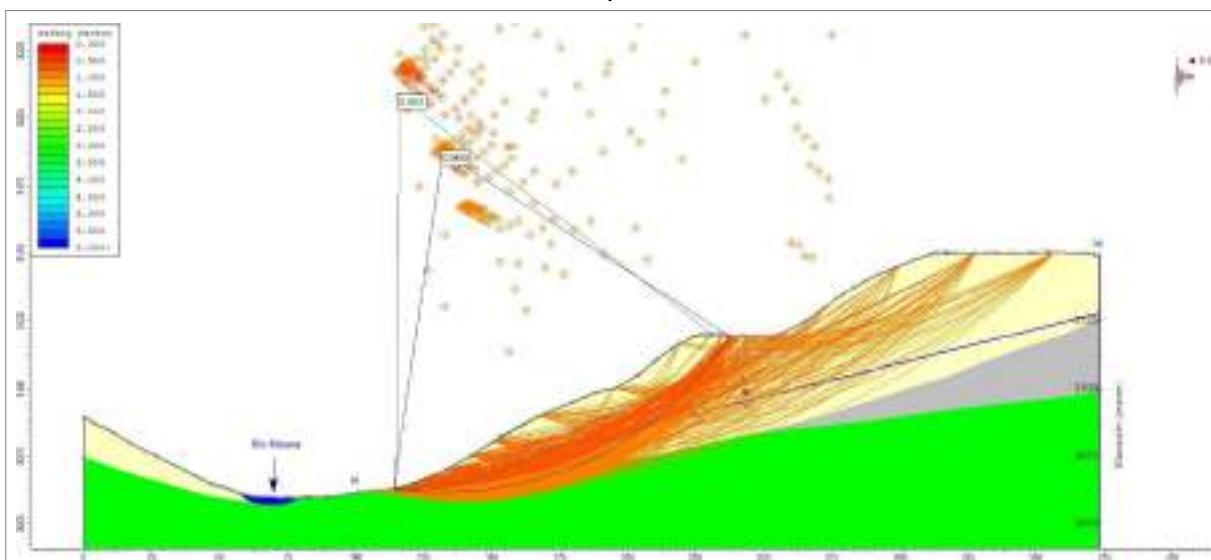


Figura 9.4. Perfil 4, muestra los resultados obtenidos en condiciones pseudo-estáticas.

Perfil N° 6: Este perfil está localizado en la parte central del caserío Millhuish (Figura 9.1). Utilizando el programa de ROCKSCIENCE SLIDE V.6 se analizó la estabilidad en condiciones estáticas y pseudo-estáticas desde el pie de la ladera (margen derecha del río Mosna) hasta la parte baja del caserío Vista Alegre (Figura 9.1). Para este análisis se consideró un nivel freático que proviene desde el cerro Ocshatuna, este nivel freático se encuentra en el depósito coluvio deluvial el cual está catalogado como SC. Los resultados que se obtuvieron fueron valores de 1.35 en condiciones estáticas (Figura 9.5) y un factor de seguridad de 0.810 en condiciones pseudo-estáticas (Figura 9.6). Estos resultados muestran que la zona más inestable viene a ser la parte baja del caserío Millhuish, lo cual fue corroborado en campo.

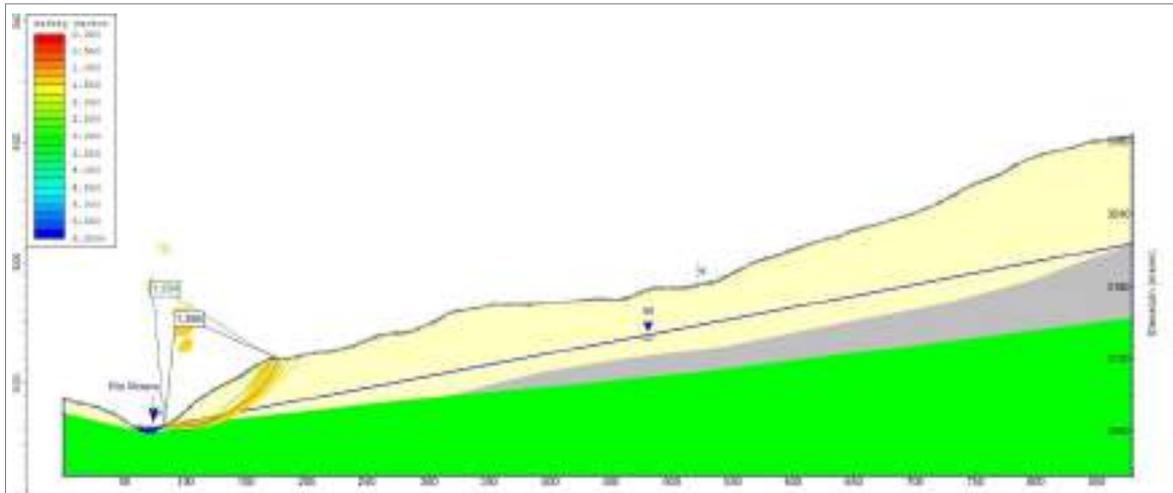


Figura 9.5. Perfil 6, muestra los resultados obtenidos en condiciones estáticas.

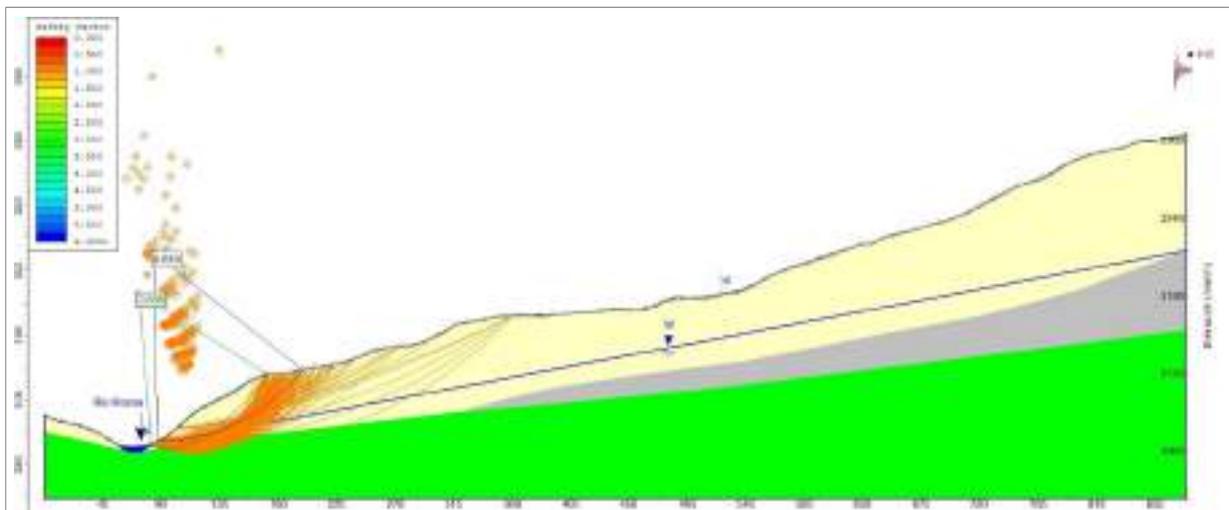


Figura 9.6. Perfil 6, muestra los resultados obtenidos en condiciones pseudo-estáticas y C) dinámicas.

Perfil N° 10: Este perfil está localizado al suroeste del caserío Millhuish, en el flanco izquierdo de la quebrada Raqra y se prolonga hacia la I.E. N° 86465 (figura 9.1). Utilizando el programa de ROCKSCIENCE SLIDE V.6 se analizó la estabilidad en condiciones estáticas y pseudo-estáticas desde el pie de la ladera (flanco izquierdo de la quebrada Raqra) hasta una distancia de ~500 m cruzando la I.E. N° 86465 (Figura 9.1). Para este análisis no se ha considerado un nivel freático, debido a las condiciones del campo para extraer este dato, pero se llegó a obtener

como resultados un factor de seguridad de 1.290 para condiciones estáticas (Figura 9.7) y un factor de seguridad de 0.660 para condiciones pseudo-estáticas (Figura 9.8).

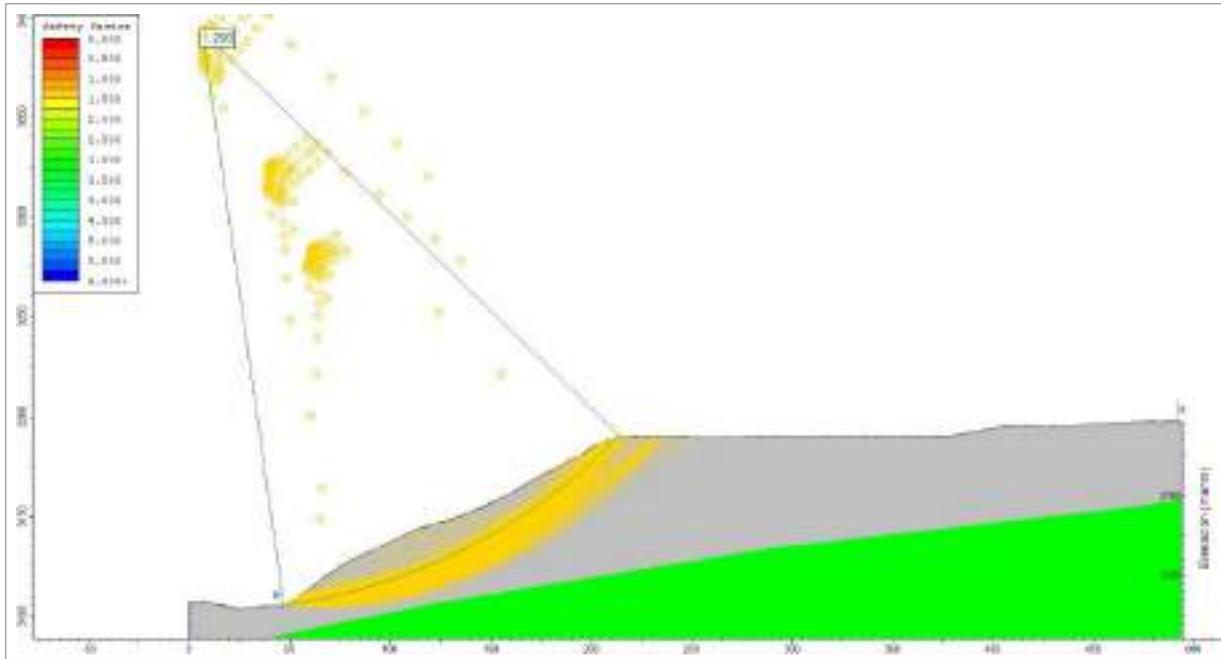


Figura 9.7. Perfil 10, muestra los resultados obtenidos en condiciones estáticas.

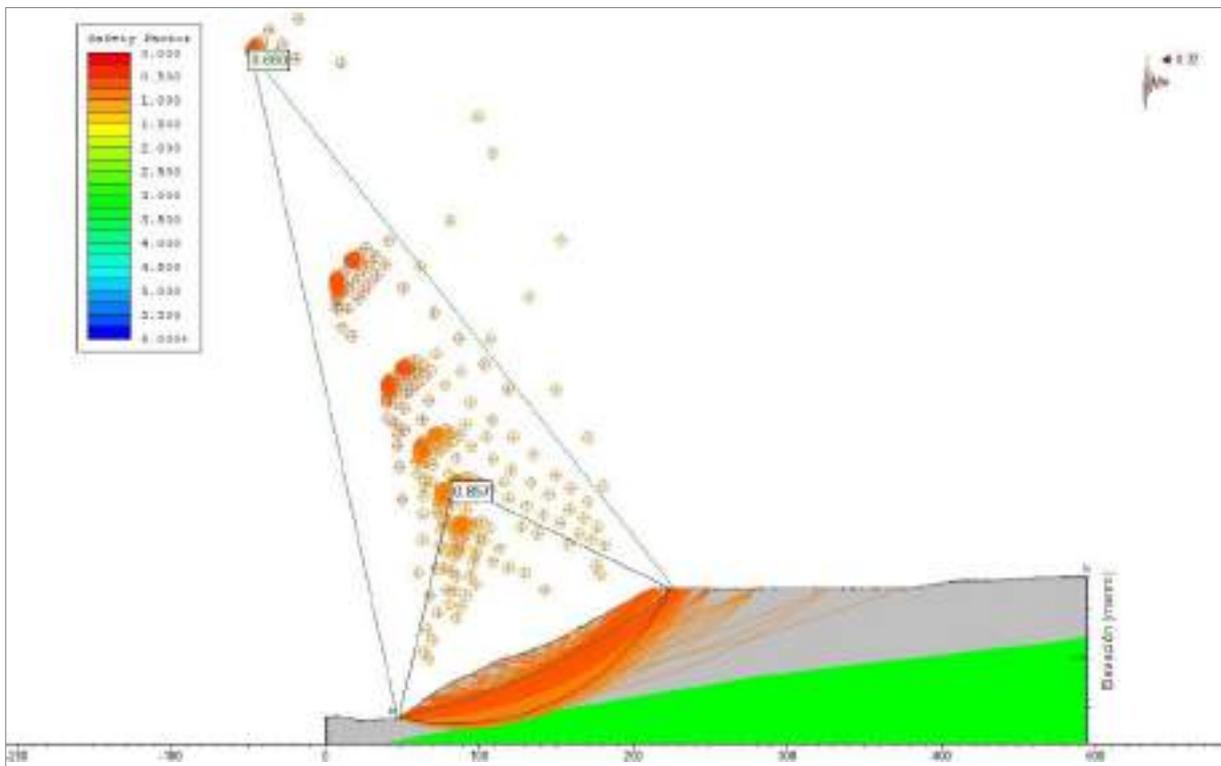


Figura 9.8. Perfil 10, muestra los resultados obtenidos en condiciones pseudo-estáticas.

9.1.4.1. Análisis con niveles de saturación

Para este análisis se utilizó el programa de ROCKSCIENCE SLIDE V.6, donde se consideró la infiltración de agua al terreno, tomando como referencia el riego por aspersión que se implementó en el caserío Millhuish a partir del año 2017. En ese entender este análisis se realizó únicamente para el perfil (Figura 9.1) ya que influencia directamente al caserío de Millhuish.

Los pobladores del caserío de Millhuish, señalan que, para el riego por día de los terrenos de cultivo circundantes al caserío se utiliza aproximadamente 350m³ de agua distribuidos en dos reservorios de 200m³ y 150m³. Todo este volumen es utilizado en 7 horas de riego, para ello distribuyen este volumen en 70 aspersores.

Para este análisis también se consideró una aceleración sísmica de 0.32 (Ingemmet, 2010).

Análisis con volumen de 50m³: En el programa ROCKSCIENCE SLIDE V.6 se simuló la estabilidad en condiciones estáticas y pseudo-estáticas considerando una infiltración de 50 m³ que corresponde a una hora de riego. Los resultados muestran que en las dos condiciones el agua llega a saturar el depósito coluvio deluvial 2. En condiciones estáticas, la parte baja del talud presenta un factor de seguridad de 1.037 (Figura 9.9), esto indica que el talud se presenta al límite de la inestabilidad. Mientras que en condiciones pseudo-estáticas la parte baja del talud presenta un factor de seguridad de 0.823 (Figura 9.10), esto señalaría que ante un movimiento sísmico el talud perdería su estabilidad

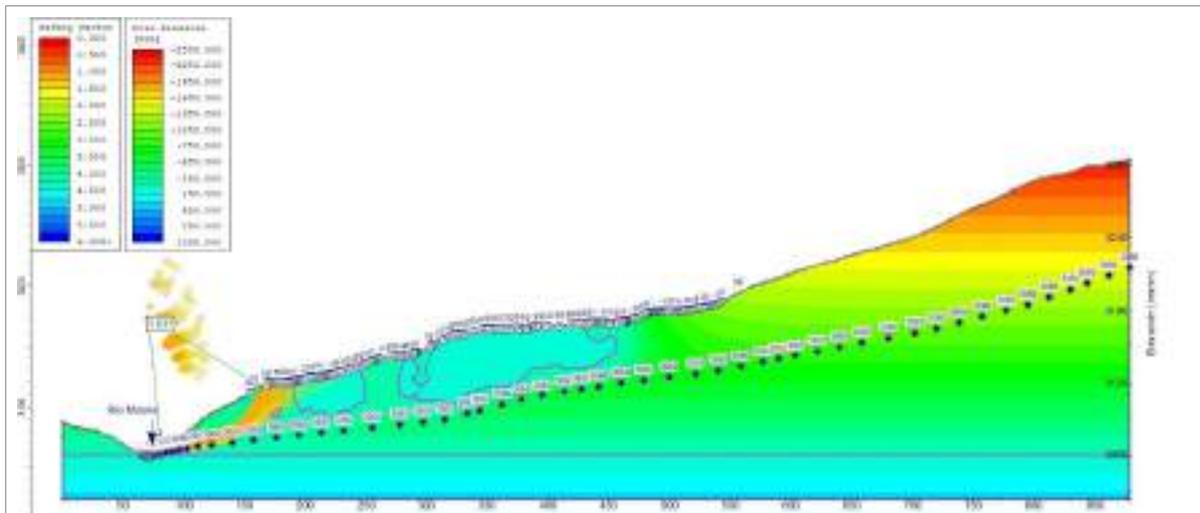


Figura 9.9. Perfil 6, muestra los resultados obtenidos en condiciones estáticas, considerando una infiltración de agua de 50 m³/día.

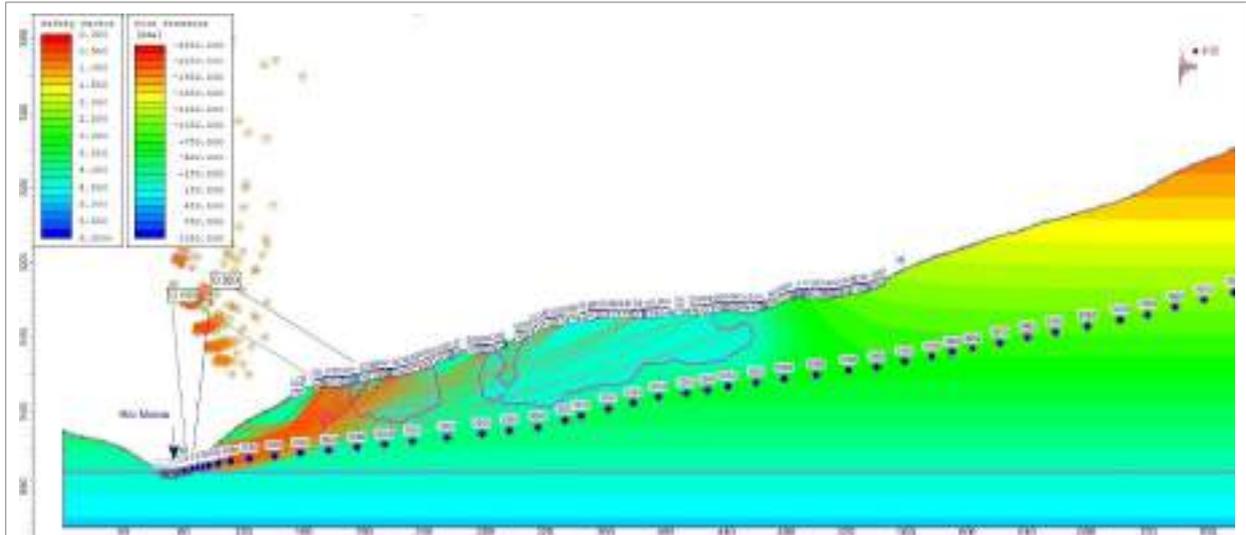


Figura 9.10. Perfil 10, muestra los resultados obtenidos en condiciones pseudo-estáticas, considerando una infiltración de agua de 50 m³/día.

Análisis con 350m³/día. En el programa ROCKSCIENCE SLIDE V.6 se simuló la estabilidad en condiciones estáticas y pseudo-estáticas considerando una infiltración de 350 m³ que corresponde a un día de riego de 7 horas. Los resultados muestran que en las dos condiciones el agua llega a sobresaturar el depósito coluvio deluvial 2 en comparación a una hora de riego. En condiciones estáticas, la parte baja del talud presenta un factor de seguridad de 0.957 (Figura 9.11), esto indica que el talud se encuentra inestable. Mientras que, en condiciones pseudo-estáticas la parte baja del talud presenta un factor de seguridad de 0.778 (Figura 9.12), esto señalaría que ante un movimiento sísmico el talud perdería su estabilidad.

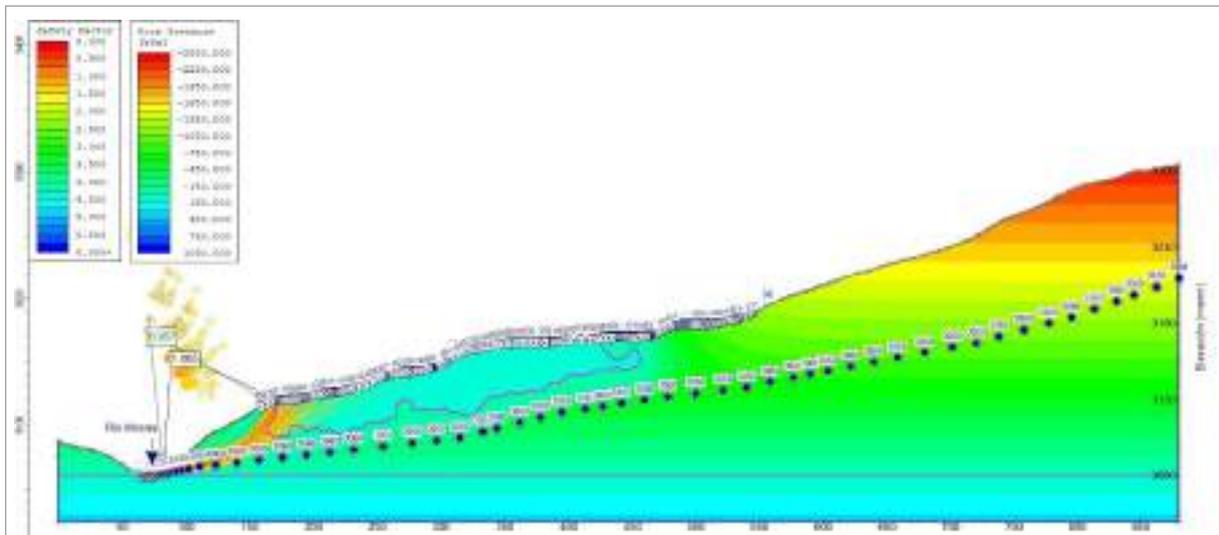


Figura 9.11. Perfil 6, muestra los resultados obtenidos en condiciones estáticas, considerando una infiltración de agua de 350 m³/día.

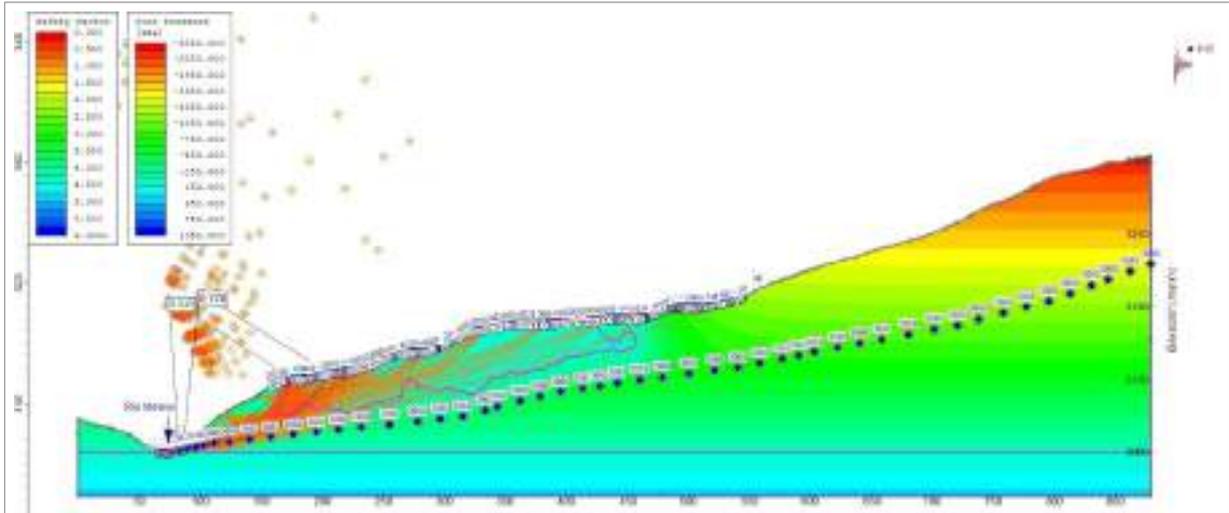


Figura 9.12. Perfil 6, muestra los resultados obtenidos en condiciones pseudo-estáticas, considerando una infiltración de agua de 350 m³/día.

10. SUSCEPTIBILIDAD POR MOVIMIENTOS EN MASA

La susceptibilidad se refiere a la probabilidad de que una zona sea afectada por un determinado proceso geológico. Esta susceptibilidad se expresa en grados cualitativos y relativos. Los factores que controlan la ocurrencia de estos procesos pueden ser intrínsecos o externos. Según Ayala et al. (2002), 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 (Fidel et al., 2006).

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 será un modelo heurístico de combinación de factores (Carrara et al., 1995), 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 y 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.

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 factor o condicionante fue analizado de manera independiente y se asignó el grado de susceptibilidad de acuerdo al grado de susceptibilidad 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 alta. En ese entender:

10.1.1. Parámetro litológico

Este factor es considerado uno de los factores más importantes (Cuadro 10.2) debido a la 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 1:7 500.

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

<i>Unidad</i>	<i>Subunidad</i>		<i>Valor</i>
Depósitos inconsolidados	I-1	Aluviales	1
	I-2	Fluviales	1
	I-3	Coluviales	3
	I-4	Coluvio deluviales	5
Rocas Sedimentarias	V-1	Calizas	3
	V-2	Areniscas y limolitas	3
	V-6	Areniscas, lutitas	3

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 fuerte (15°-25°) a muy fuerte (25°-45°). Este mapa se generó a partir de 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	4
Unidad de piedemonte	Vertiente con depósito de deslizamiento	5
	Vertiente coluvial	4
	Vertiente coluvio deluvial	4
Unidad de planicies	Planicie o llanura aluvial	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	4
	Sedimentario fisurado	3
Acuitardo	Sedimentario	3

10.1.5. Parámetro de índice de humedad del suelo

La ponderación de esta variable está orientada al análisis de la escorrentía superficial y las zonas de saturación en el terreno (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.

Unidad	Descripción	Valor
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.

Unidad	valor
Bosque	2
Pajonal	3
Terreno agrícola	2
Sin vegetación	4
Viviendas	1

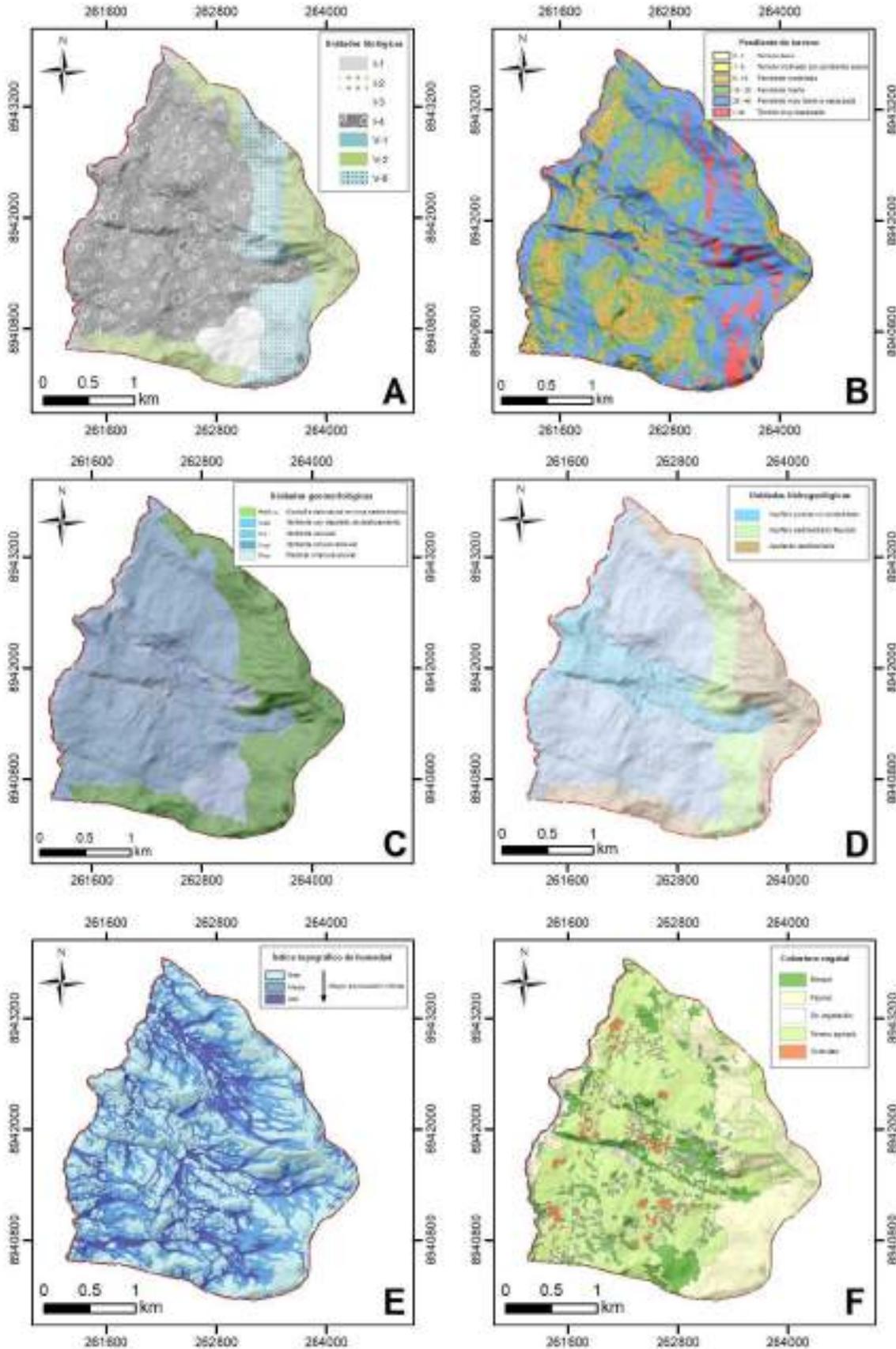


Figura 10.1 Mapas factores que intervienen en la evaluación de la susceptibilidad a movimientos en masa. A) Mapa factor litología, B) Mapa factor pendiente del terreno, C) Mapa factor geomorfología, D) Mapa factor Hidrogeología, E) Mapa factor índice de humedad.

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.

$$SMM = \frac{\sum S_L(PVL) + \sum S_P(PVP) + \sum S_G(PVG) + \sum S_H(PVH) + \sum S_I(PVI) + \sum S_C(PVC)}{\sum N_P} \quad (10.1)$$

Donde:

SMM : Susceptibilidad a los movimientos en masa

$\sum S_L$: Sumatoria de susceptibilidad de la variable Litología

$\sum S_P$: Sumatoria de susceptibilidad de la variable Pendiente de terreno

$\sum S_G$: Sumatoria de susceptibilidad de la variable Geomorfología

$\sum S_H$: Sumatoria de susceptibilidad de la variable Hidrogeología

$\sum S_I$: Sumatoria de susceptibilidad de la variable Índice de humedad del suelo

$\sum S_C$: 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

$\sum N_P$: 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 grados; se relaciona a zonas de llanura aluvial o cauce inundable principalmente. Desde su litología, corresponde a terrenos permeables, depósitos fluviales y aluviales 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 propensas a generar movimientos en masa. Coincide con zonas

ligeramente inclinadas, con una topografía plano-ondulada con pendientes bajas. Incluyen geoformas de terrazas aluviales y fluviales, que litológicamente corresponden a depósitos fluviales, aluviales. En el mapa de susceptibilidad a movimientos en masa se muestran las zonas de baja susceptibilidad en color verde claro

- **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 moderada. En el mapa de susceptibilidad a movimientos en masa se muestran las zonas de susceptibilidad media en color amarillo.
- **Áreas de alta susceptibilidad.** Presentan condiciones favorables del terreno a generar movimientos en masa; el substrato está compuesto en su mayoría por depósitos de antiguos movimientos en masa (Deslizamiento y avalancha). La pendiente de las laderas varía entre moderada a fuerte. Estas zonas se dan en depósitos de antiguos deslizamientos, presentando actualmente reactivaciones en la base de estos, ya sea por deslizamientos o derrumbes. 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 y avalancha) que son depósitos inconsolidados. Estas áreas de alta susceptibilidad se observan a lo largo de las quebradas Ulpiraqra y Raqra y el flanco derecho del río Mosna, donde las pendientes de laderas van de fuerte a muy fuerte y es donde actualmente se evidencian reactivaciones. En el mapa de susceptibilidad a movimientos en masa se muestran las zonas de muy alta susceptibilidad en color rojo.

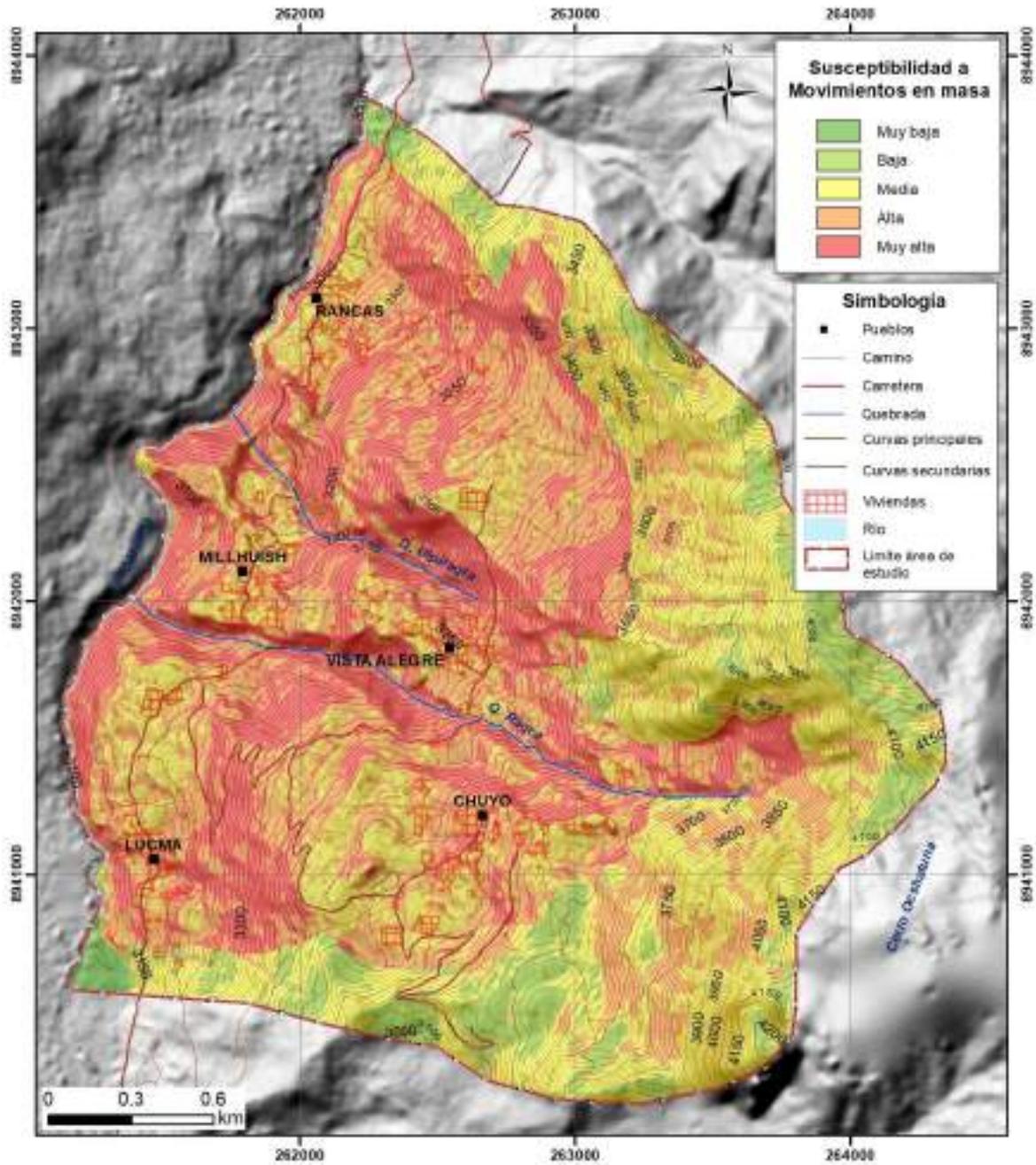


Figura 10.2. Mapa de susceptibilidad a movimientos en masa del área de estudio.

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

11.1. Propuesta de monitoreo

11.1.1. Monitoreo geotécnico

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).

La figura 11.1 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.



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

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 (Figura 11.2) y son digitales cuando están a disposición de los usuarios mediante páginas web o aplicaciones móviles.



Figura 11.2. Ejemplo de un panel de visualización “Panel View” de monitoreo de peligros geológicos.

11.1.1.1. Características de la red monitoreo

Cada técnica de monitoreo tiene sus propias ventajas, desventajas y rango de aplicación. La instrumentación puede incluir la instalación de equipos para la lectura periódica o permanente de los diferentes parámetros. Las técnicas de monitoreo también se pueden dividir en dos grupos: i) técnica geodésica y ii) técnica no geodésica; las técnicas geodésicas brindan información global sobre el comportamiento del deslizamiento en la superficie deformable, mientras que las técnicas no geodésicas brindan información localizada y perturbada localmente sin ninguna verificación a menos que se compare con otras mediciones independientes (Mishra et al., 2011). Una red de sensores normalmente constituye una red ad hoc inalámbrica, lo que significa que cada sensor envía la información a la central de manera inalámbrica.

El presente documento se centra en diseñar una red para monitoreo en tiempo real con transmisión inalámbrica. El diseño se fundamenta en las condiciones geológicas de la zona de estudio, cuyas características fueron descritas en capítulos anteriores. Se consideran en tal caso el monitoreo de los factores condicionantes y detonantes del deslizamiento (lluvia, contenido de agua en el subsuelo y sismos) y los indicadores de deformación superficial por la actividad del deslizamiento. En la figura 11.3 se muestra un esquema de la idea preliminar de la red de sensores que se propone para el sistema de monitoreo del deslizamiento de Millhuish.

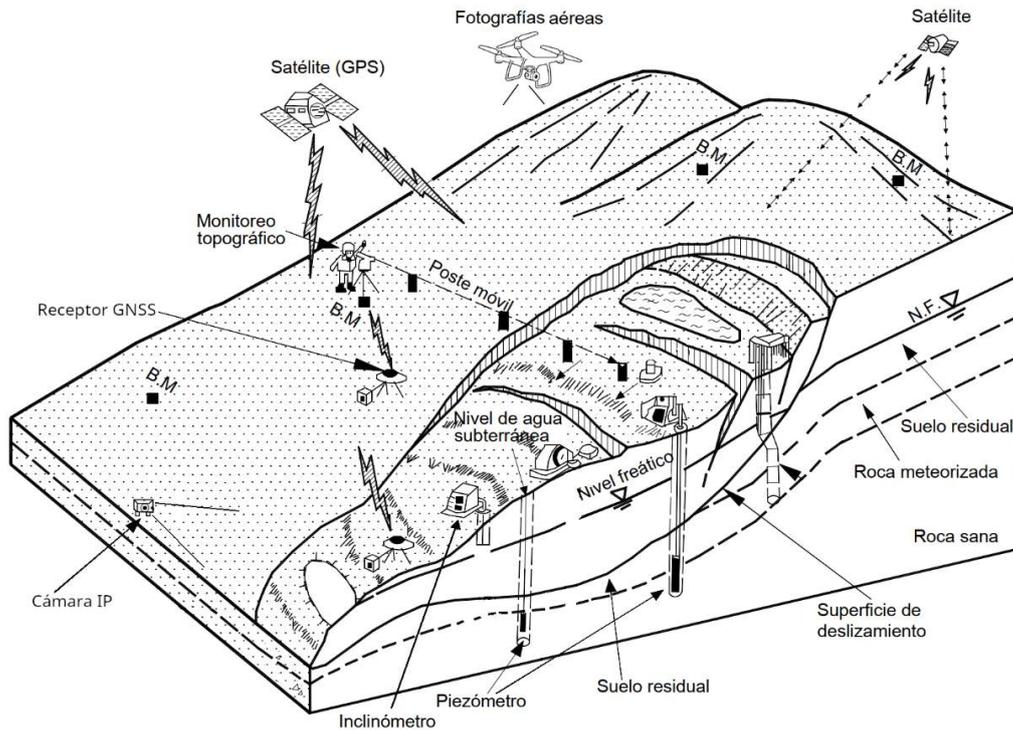


Figura 11.3. Esquema de la idea inicial de instrumentación propuesta para el monitoreo del deslizamiento de Millhuish (modificado de Suárez, 2009).

11.1.1.2. Características de la Instrumentación a emplear

a. Receptores GNSS

Los receptores GNSS permiten monitorear la posición (coordenadas) de los puntos en el terreno y de este modo determinar si se desplazan y a qué velocidad lo hacen, para el monitoreo en tiempo real se emplean los receptores de operación continua o CORS, los cuales están conformados de dos módulos: registrador y antena (Figura 11.4). Los receptores GNSS tienen diferentes características dependiendo de su uso, en el caso de monitoreo de deslizamientos, las especificaciones técnicas mínimas son las mostradas en la tabla 11.1.



Figura 11.4. Imagen referencial de un receptor GNSS, consta de registrador y antena.
 Fuente: www.comnavtech.com.

Tabla 11.1. Especificaciones técnicas de receptores GNSS CORS.

Características	Descripción
Canales y señales de satélite	<ul style="list-style-type: none"> • 120 canales o mas • Capacidad de recibir señales de las constelaciones satelitales GPS (L1 C/A, L2C, código P y L5), GLONASS (L1 C/A o G1, L2 C/A o G2 y código no encriptado P) y SBAS. Opcional: GALILEO, BEIDOU, QZSS.
Registro de datos	<ul style="list-style-type: none"> • Memoria interna de 16 GB o mayor y capacidad de memoria externa. • Capacidad de registro mínimo de 2 sesiones simultáneas a tasas de muestreo de entre 50Hz (o menor) y 5 minutos. • Capacidad de registro en formato Rinex o en su defecto que incluya software libre para transformar a formato Rinex.
Comunicación	<ul style="list-style-type: none"> • Debe incluir funciones FTP server, cliente FTP push, SFTP. • Debe contener integrado como mínimo un puerto de: USB, Ethernet (RJ45) o LEMO y puerto serial RS232. • Debe incluir un sistema de conexión WiFi. • Debe incluir interfaz web que permite realizar configuraciones y compatible con las últimas versiones de navegadores de Internet de escritorio.
Protección	<ul style="list-style-type: none"> • Debe operar/funcionar en un mínimo de -40°C y un máximo de 65°C. • Resistencia a caída sobre superficie dura mínima de 1 m. • Vibraciones según el estándar MIL-STD-810G. • Protección a humedad y polvo con estándar IP67 como mínimo.
Alimentación eléctrica	<ul style="list-style-type: none"> • Entrada de entre 9,5 V DC a 28 V DC (12 VDC nominal) en 2 puertos. Debe incluir cable de alimentación. • Debe incluir suministro de energía interna de respaldo con función UPS que garantice el funcionamiento del receptor por mínimo doce (12) horas. • El consumo del receptor debe ser igual o menor a 5,5 W. • Debe mantener su configuración después de apagado/encendido.
Antena	<ul style="list-style-type: none"> • Antena modular (separada del receptor) compatible con el receptor. • Cable de comunicación del receptor a la antena de mínimo 3 metros. • La antena debe incorporar tecnología de rechazo de multicamino, para la reducción de señales de multirayectoria.

b. Piezómetro Eléctrico

Son instrumentos utilizados para medir la presión de los fluidos en suelos, rocas o estructuras subterráneas. Su principal función es determinar el nivel de agua subterránea (nivel freático) y la presión de poros, estos instrumentos requieren ser instalados en pozos de observación con profundidades determinadas por las condiciones de los acuíferos y los objetivos de monitoreo. Los piezómetros eléctricos constan de dos componentes el sensor y registrador (Figura 11.5). En la tabla 11.2 se presentan las especificaciones técnicas para el caso de monitoreo del deslizamiento de Millhuish.



Figura 11.5. Imagen referencial de un piezómetro eléctrico.
 Fuente: www.onestopsolutioncngwa.com.

Tabla 11.2. Especificaciones técnicas de Piezómetro electrónico.

Características	Descripción
Nivel Hidrométrico	<ul style="list-style-type: none"> Resolución: 65 0.002% FS Precisión: 0.02 % FS.
Condiciones Mecánicas	<ul style="list-style-type: none"> Con cable de 30 metros.
Comunicación	<ul style="list-style-type: none"> Debe contener integrado como mínimo un puerto Ethernet (RJ45) o LEMO para comunicación. Capacidad de transmisión de datos en tiempo real
Protección	<ul style="list-style-type: none"> Debe operar/funcionar en un mínimo de -20°C y un máximo de 80°C. Protección a humedad y polvo con estándar IP68 como mínimo. Debe ser material resistente a la oxidación y corrosión.
Alimentación Eléctrica	<ul style="list-style-type: none"> Entrada de alimentación para 12 V DC. El consumo del receptor debe ser igual o menor a 8mA.
Instalación	<ul style="list-style-type: none"> El equipo debe incluir la instalación y puesta en operatividad.

c. Sismómetros

Son instrumentos diseñados para detectar y registrar las vibraciones y movimientos del suelo causados por sismos, volcanes, explosiones u otros eventos naturales o antrópicos. En el monitoreo de deslizamientos se usa para monitorear vibraciones en el suelo que podrían ser indicativas de movimientos de la masa deslizante o inestabilidad en la pendiente, así como de la sismicidad local que podría ser gatillantes del deslizamiento. La instalación se realiza analizando las condiciones del medio, siendo el principal requisito tener un buen acople entre el sensor y el suelo. Existen muchas variantes de sismómetros y su selección depende de los objetivos de su uso, en el caso del monitoreo del deslizamiento los sismómetros deben ser triaxiales de banda ancha y con la capacidad de transmitir datos en tiempo real, son por lo general modulares (Figura 11.6), las características mostradas en la Tabla 11.3 son las recomendadas para la red de monitoreo de deslizamientos.



Figura 11.6. Imagen referencial de un sismómetro de banda ancha triaxial de componentes modulares.
 Fuente: Tomado de www.nanometrics.ca.

Tabla 11.3. Especificaciones técnicas de Sismómetros para el monitoreo de deslizamientos.

Componente	Descripción
Sensor	<ul style="list-style-type: none"> ● Sensor de banda ancha Triaxial de fuerzas balanceadas. ● Velocidad de salida de esquina baja: 60 S o mayor ● Velocidad de salida de esquina alta: 100 Hz o mayor ● Rango dinámico De >152db @ 1hz o mayor ● Consumo de energía < 0.7w ● No requiere anclaje de masas. ● Protección IP67 o mejor ● Operación rango de inclinación de 2.3° o mayor ● Sensibilidad de 750 v-s /m nominal o mayor ± 0.5% precisión o menor ● Resistente a la corrosión y óxido. ● Burbuja de nivelación integrada y marca de alineación hacia el "NORTE". ● Temperatura de funcionamiento entre -30 °C a 70 °C
Digitalizador	<ul style="list-style-type: none"> ● 01 puerto con 03 canales muestreados simultáneamente con 32 bits. ● Rango de entrada de sensor: +/- 20 VDC (40 Vpp) ● Rango dinámico >140 ● Rango de muestreo seleccionable por el usuario de 1 sps a 4000 sps o superior ● Corrección de tiempo con antena GNSS externo ● Configuración remota: http (Web) mediante WiFi y Ethernet ● Capacidad de comunicación: 10 Base T o 10/100 Base-T Ethernet ● Protocolos soportados: Streaming UDP/IP Unicast, ftp ● Almacenamiento: 16GB memoria integrada y extraíble tipo CF o SD. ● Rango mínimo de voltaje de Operación entre 9 a 24V (12 VDC nominal) ● Temperatura de operación entre -20°C y 60°C o mejor. ● Consumo de energía 1.7 W o menor ● Transmisión de datos mediante servidor seedlink o similar ● Grado de protección contra agua y polvo IP68 ● Sistema de encendido o apagado rápido para ahorro de energía
Accesorios	<ul style="list-style-type: none"> ● Un puerto Ethernet (RJ45) o LEMO para comunicación. ● Antena GNSS con cable de 5 m o mayor ● Cable de alimentación eléctrica de 2 m o mayor ● Dispositivo externo de almacenamiento de 32 Gb o mayor.

d. Inclinómetros

Son instrumentos utilizados para medir la inclinación o cambios en el ángulo de una superficie o estructura en relación con la horizontal. Estos dispositivos son esenciales en diversas aplicaciones geotécnicas, de ingeniería civil y en monitoreo de deslizamientos. Existen diferentes alternativas, sin embargo, para los deslizamientos se requiere inclinómetros electrónicos con conectividad por ethernet (Figura 11.7) con especificaciones técnicas descritas en la tabla 11.4.



Figura 11.7. Imagen referencial de un inclinómetro electrónico.
 Fuente: www.jewellinstruments.com.

Tabla 11.4. Especificaciones técnicas de Inclinómetro electrónico.

Características	Descripción
Rango Angular	<ul style="list-style-type: none"> • Ganancia: 0.5 grados o menor • Resolución: 10 μradian o menor • Repetibilidad: 5 μradianes o MENOR • Linealidad: 0.4% de rango completo • Coeficiente de temperatura: 3 a 4 y +0.02% a 0.04% o MENOR • Constante de tiempo: 0.15 a 0.3 segundos o MENOR • Velocidad de muestreo de datos: Desde 10 mps a 1 muestra /24 horas
Comunicación	<ul style="list-style-type: none"> • 1 o más puertos Ethernet • Interfaz de usuario de acceso vía internet Explorer y/o Firefox.
Protección	<ul style="list-style-type: none"> • Temperatura de operación entre -25°C y +70°C o mejor • Humedad de 0 a 95% RH sin condensación • Protección contra polvo y agua: Estándar IP67 o mayor • Protección contra golpes y vibraciones: Estándar MIL-STD-810F o mayor
Alimentación Eléctrica	<ul style="list-style-type: none"> • Alimentación de energía entre 10 a 30 VCD
Accesorios	<ul style="list-style-type: none"> • Base de montaje para el inclinómetro, en aluminio. • Pernos invar para montaje • Cable conductor con recubrimiento de PVC, conectores y accesorios incluidos, longitud de 2 metros. • Datalogger de Temperatura, con resolución de temperatura de 0.01°C o mejor, con rango de lectura entre -40 °C a 75 °C.

e. Pluviómetro

Es un instrumento utilizado para medir la cantidad de precipitación en forma de lluvia, que cae en un lugar específico durante un período determinado. Es una herramienta fundamental en meteorología, hidrología y en el estudio del clima. En el estudio de deslizamientos es útil para cuantificar la cantidad de agua de lluvia que cae a la microcuenca relacionada al deslizamiento, para monitoreo es necesario que el pluviómetro sea automático y con la capacidad de transmitir datos en tiempo real (Figura 11.8) las especificaciones de pluviómetros propuesta para el monitoreo de deslizamientos se presentan en la tabla 11.5.



Figura 11.8. Imagen referencial de un pluviómetro automático.

Fuente: tomado de www.campbellsci.es.

Tabla 11.5. Especificaciones técnicas de Pluviómetro.

Características	Descripción
Medición	<ul style="list-style-type: none"> ● Rango de medición de entre 0,08 mm a 360 mm como mínimo ● Resolución: 0,08 mm o mejor
Comunicación	<ul style="list-style-type: none"> ● Debe contener integrado como mínimo un puerto Ethernet (RJ45) o LEMO para comunicación. ● Capacidad de transmisión de datos en tiempo real
Protección	<ul style="list-style-type: none"> ● Debe operar/funcionar en un mínimo de -20°C y un máximo de 80°C. ● Protección a humedad y polvo con estándar IP67 como mínimo. ● Debe ser material resistente a la oxidación y corrosión.
Alimentación Eléctrica	<ul style="list-style-type: none"> ● Entrada de alimentación para 12 V DC. ● El consumo del receptor debe ser igual o menor a 1 mA/h.
Accesorios	<ul style="list-style-type: none"> ● Accesorios para instalación ● Cables de comunicación y alimentación eléctrica

f. Cámara de video IP

Son dispositivos electrónicos que permiten registrar digitalmente material visual de acontecimientos físicos. En deslizamientos, las cámaras de video permiten la vigilancia constante de áreas afectadas, cambios visibles en la superficie, aparición de grietas, caída de rocas o el desplazamiento de material, lo que facilita la activación de alertas tempranas. Siendo el objetivo vigilar grandes áreas y a gran distancia, estos equipos deben tener la capacidad de operar a la intemperie y transmitir la información en tiempo real (Figura 11.9). En la tabla 11.6 se presentan las especificaciones técnicas mínimas para implementar cámaras de video en el monitoreo de deslizamientos.



Figura 11.9. Imagen referencial de una cámara IP para exteriores.

Fuente: www.axis.com

Tabla 11.6. Especificaciones técnicas de cámara de video IP.

Características	Descripción
Sensor	<ul style="list-style-type: none"> ● Resolución: 1920x1080 o mayor ● Tamaño del Sensor: 1/1.2" ● Fotogramas: 25/30 fps ● Longitud focal: 4.7 – 84.6 mm ● Compresión de video: H.264/mpeg

Comunicación	<ul style="list-style-type: none"> • Debe contener integrado como mínimo un puerto Ethernet (RJ45) o LEMO para comunicación. • Capacidad de transmisión de datos en tiempo real • Protocolos compatibles: IP v4/v6, http, https ssl/tls**, FTP, SMTP.
Protección	<ul style="list-style-type: none"> • Debe operar/funcionar en un mínimo de -20°C y un máximo de 80°C. • Protección a humedad y polvo con estándar IP66 como mínimo. • Debe ser material resistente a la oxidación y corrosión.
Alimentación Eléctrica	<ul style="list-style-type: none"> • Entrada de alimentación 12 VDC y PoE de 12vdc (ieee 802.3at). • El consumo del receptor debe ser igual o menor a 1 mA/h.
Accesorios	<ul style="list-style-type: none"> • Accesorios para instalación • Cables de comunicación y alimentación eléctrica • Software de configuración, monitoreo, almacenamiento y control vía web.

11.1.1.3. Telemetría y Complementos

a. Radios y Antenas

Son dispositivos electrónicos para uso de transmisión digital, con ayuda de las antenas de transmisión/recepción, permiten realizar la transmisión y recepción de información digital entre dos puntos. Esta transmisión se realiza mediante ondas de radio-frecuencia, similares a las ondas de radio. En deslizamientos por lo general las distancias de transmisión son cortas, por lo que las redes más apropiadas son las de WiFi, en donde se emplea un módem y antena (Figura 11.10), en la tabla 11.7 se muestran las especificaciones técnicas sugeridas para un sistema de transmisión de datos con tecnología WiFi, estas pueden variar dependiendo de las condiciones locales.



Figura 11.10. Imagen referencial de un set de transmisión WiFi.
 Fuente. www.mikrotik.com

Tabla 11.7. Especificaciones técnicas de kit de transmisión digital.

Componentes	Descripción
01 radio emisor y 01 radio receptor (incluye antenas)	<ul style="list-style-type: none"> • Frecuencia de operación 5.8 Ghz • Modos de operación: access point, station & repeater (wds). • Administración mediante navegador web • Potencia de salida: 315 MW. • Ancho de banda: 150 Mbps. • Canal ajustable de 5 a 40 MHz. • Antena de rejilla de 27 dbi incluida. • Seguridad: WEP, WPA, WPA2 Y MAC ACL. • Alineación de antenas visual y audible (software). • Temperatura de operación: -30°C a 75°C • Alimentación: 12 VCC
Accesorios	<ul style="list-style-type: none"> • Rollo de cable UTP CAT 5e toughcable exterior

	<ul style="list-style-type: none"> ● Tubo corrugado metálico de ¾ ● Cable AWG 12x2 ● Conectores RJ45 belden ● Cajas Roker PGR 351
--	---

b. Paneles solares

Son instrumentos que convierten la energía solar en energía eléctrica, esta energía eléctrica, con la ayuda de baterías, permite el funcionamiento de los sensores de campo (Figura 11.11), forman parte del sistema de alimentación eléctrica autónoma. Además, esta energía eléctrica es empleada en los sistemas de transmisión de información desde las estaciones hacia la central. Se requieren al menos 2 paneles solares de 120 w de potencia en cada estación con las especificaciones técnicas descritas en la tabla 8.



Figura 11.11. Imagen referencial de sistema de alimentación eléctrico autónomo.
 Fuente: www. bauer-solar.de

Tabla 11.8. Especificaciones técnicas de paneles solares.

Componentes	Descripción
Panel solar	<ul style="list-style-type: none"> ● Paneles solares policristalinos ● Potencia Eléctrica Pm (W) 145 +/- 5% ● Voltaje circuito óptimo (Vco) 21 a 23 ● Máxima corriente Imp (A) 7 a 8 ● Máximo voltaje Vmp (V) 19 ● Corriente cortocircuito Isc (A) 8 a 9 ● Voltaje controlador de carga (V) 12
Controlador de carga	<ul style="list-style-type: none"> ● Tecnología tipo PWM o MPPT (de preferencia MPPT) ● Con LVD (desconexión de carga con batería baja). ● Totalmente encapsulado, epóxico, estado 100% sólido ● Rango de temperatura de trabajo de -40 °C a +60 °C ● Con indicadores de estado carga por leds ● Protección contra: cortocircuito, sobrevoltaje, polaridad invertida y rayos.
Accesorios	<ul style="list-style-type: none"> ● 9 m de cable con conectores MC4 (entrada y salida) para cada panel. ● Accesorio para montaje en rieles DIN ● Terminales para batería y controlador de carga

c. Baterías de litio

Las baterías de litio forman parte del sistema de alimentación eléctrica autónoma en una estación de monitoreo, su función es almacenar la energía eléctrica captada por los paneles solares, para su utilización en el suministro de energía eléctrica permanente a los equipos instalados en campo. Dependiendo de la disponibilidad de luz solar, cada estación debe contar con por lo menos 2 baterías de Litio con las especificaciones técnicas mostradas en la Tabla 11.9.

Tabla 11.9. Especificaciones técnicas de batería de Litio.

Componentes	Descripción
BATERIAS DE LITIO DE 12 V	<ul style="list-style-type: none"> ● Voltaje nominal :12.8 VDC ● Capacidad de carga:c100Ah ● Tipo: LiFePO4 ● Descarga: 1.5% por mes ● Peso: 10 a 15 kg ● Recargables: Si ● Vida útil: + 2000 ciclos al 100% o mayor ● Seguridad: Debe incluir BMS ● Corriente máx. de descarga continua: 100A ● Corriente de carga máxima: 50A ● Temperatura de operación: -20 a 60 grados centígrados ● Protección de corto circuito: 200 -600 micro segundos
Accesorios	<ul style="list-style-type: none"> ● Controlador de carga fotovoltaico MPPT de 20A para baterías de litio. ● Cables y terminales compatibles con las baterías de litio.

11.1.1.4. Infraestructura y protección

Los equipos instalados en cada estación de monitoreo deben contar con sistemas de protección contra vandalismo y exposición a la intemperie, dependiendo de las condiciones locales se debe considerar: casetas, postes, cercos perimétricos, pararrayos, pozos a tierra, etc.

a. Pararrayos y pozo a tierra

Un pararrayos es un dispositivo de protección instalado en estructuras, edificios, o áreas expuestas para prevenir daños causados por los rayos de tormentas eléctricas. Su función principal es interceptar los rayos antes de que impacten directamente en la estructura y redirigir la corriente eléctrica de manera segura hacia la tierra. Esto ayuda a evitar daños en los equipos de las estaciones. Las características del pararrayos y pozo a tierra deberán determinarse de acuerdo a las condiciones del punto donde se instalará.

b. Casetas

Son estructuras de metal y/o concreto que dan seguridad física a los equipos de campo contra vandalismo e intemperismo. Estas estructuras se componen de: Torres metálicas o de concreto para las antenas, pararrayos, cámaras y paneles solares; cajas de seguridad de material inoxidable o de concreto para resguardar la instrumentación e hitos geodésicos en los casos en los que se instale antenas GNSS. Estas estructuras son necesarias debido a que los equipos de vigilancia, serán instalados de manera permanente en campo, donde no existe una vivienda que pueda dar seguridad.

Los trabajos de construcción de las casetas y torres metálicas requieren ser realizados por personal capacitado en tales tareas. En la figura 11.12 se presenta un diagrama estándar de

infraestructura de protección, la cual puede variar dependiendo de las características y condiciones de la zona donde se implementará la estación de monitoreo.

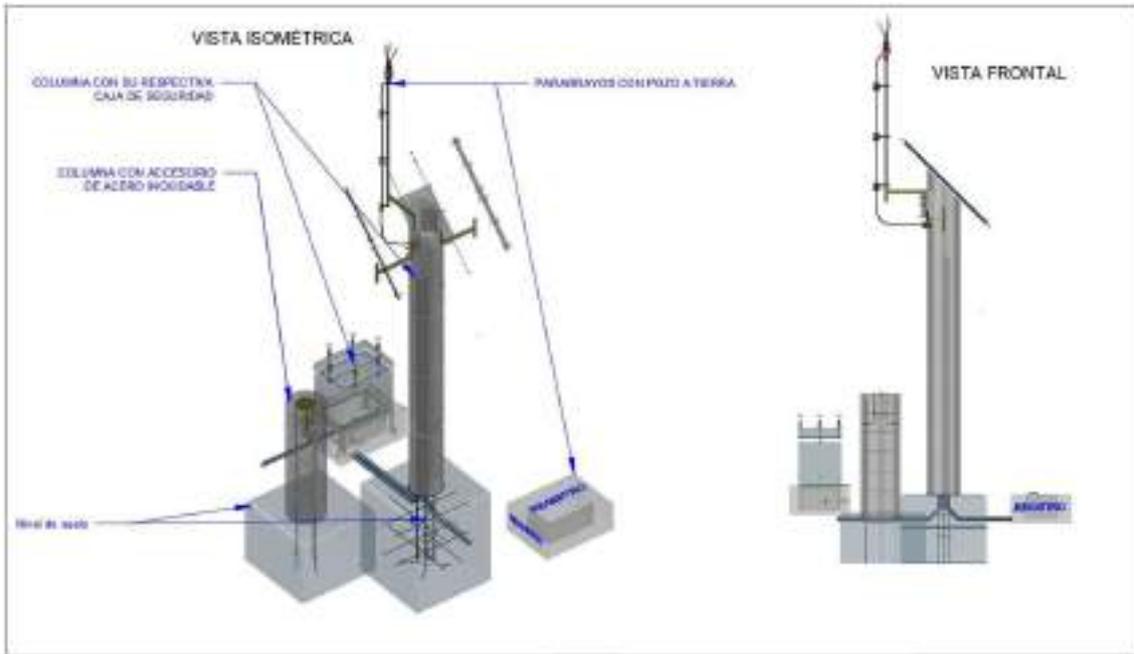


Figura 11.12. Diseño de las casetas y estructuras de protección.

c. Cerco perimétrico

En algunos casos, en los que las condiciones del lugar lo requieran, se deben instalar cercos perimétricos para evitar el vandalismo y/o la incursión de animales a las estaciones. Las características de instalación dependerán del tipo de estación y dimensiones del área a proteger, pero en general estos cercos pueden tener las especificaciones técnicas mostradas en la Figura 11.13.

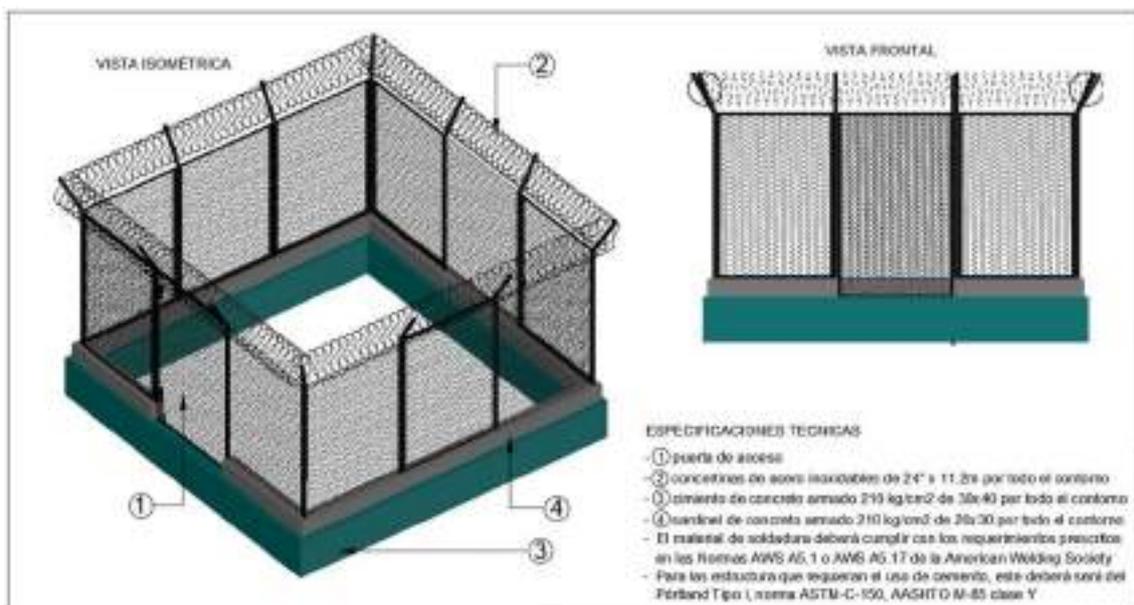


Figura 11.13. Diseño del cerco perimétrico.

11.1.1.5. Centro de procesamiento

Es una instalación equipada con sistemas informáticos dedicada a acopiar, almacenar, analizar y distribuir datos relacionados con la vigilancia del deslizamiento. En general, los centros de procesamiento tienen los siguientes componentes:

a. Workstations

Son computadoras de trabajo de alto rendimiento. Estas computadoras permitirán realizar: Conexión con el servidor de almacenamiento; Descarga de la información y procesamiento automatizado o semiautomatizado en tiempo casi real y de manera sistemática.

b. Servidor para administración de datos

Un servidor de base de datos permite la organización de la información mediante el uso de tablas, índices y registros. Es un equipo informático especializado en distribuir data a clientes remotos o locales que solicitan información o realizan modificaciones a los registros y tablas que existen dentro de las bases de datos del sistema.

c. Servidor NAS 64 TB

Un servidor NAS es un dispositivo de almacenamiento conectado a la red. Su función es la de almacenar y hacer copias de seguridad de los datos adquiridos en campo de la vigilancia de los Movimientos en Masa.

d. Centro de datos

Un centro de datos son instalaciones físicas centralizadas, climatizadas y monitoreadas, donde se alojan servidores, redes, almacenamiento y otros equipos de tecnologías de información que permiten el funcionamiento del proyecto. En caso de no contar con las condiciones físicas apropiadas para implementar un centro de datos se recomienda la contratación de un servicio virtual de almacenamiento de datos en la nube, la cual debe ser garantizada por un periodo superior al funcionamiento de la red de monitoreo.

e. Panel de visualización

Este componente es usado para mostrar los diferentes parámetros de monitoreo del deslizamiento, parámetros tales como: sísmica, geodésica, meteorológica, hidrológica y visual. El panel de visualización o *Panelview* está conformado por varias pantallas de alta resolución, controladas por los servidores y Workstation, la información visualizada proviene en tiempo real de campo de la vigilancia del deslizamiento. Asimismo, permite mostrar en forma de videos, las imágenes captadas con las cámaras de video.

11.1.1.6. Diseño de la red de monitoreo

Se propone la implementación de una red de monitoreo de 10 estaciones (Figura 11.14), se las identifica con los códigos RMM (Red de Monitoreo de Millhuish) y un número correlativo. Las estaciones se han ubicado considerando los parámetros de monitoreo, comunicación accesibilidad y seguridad.

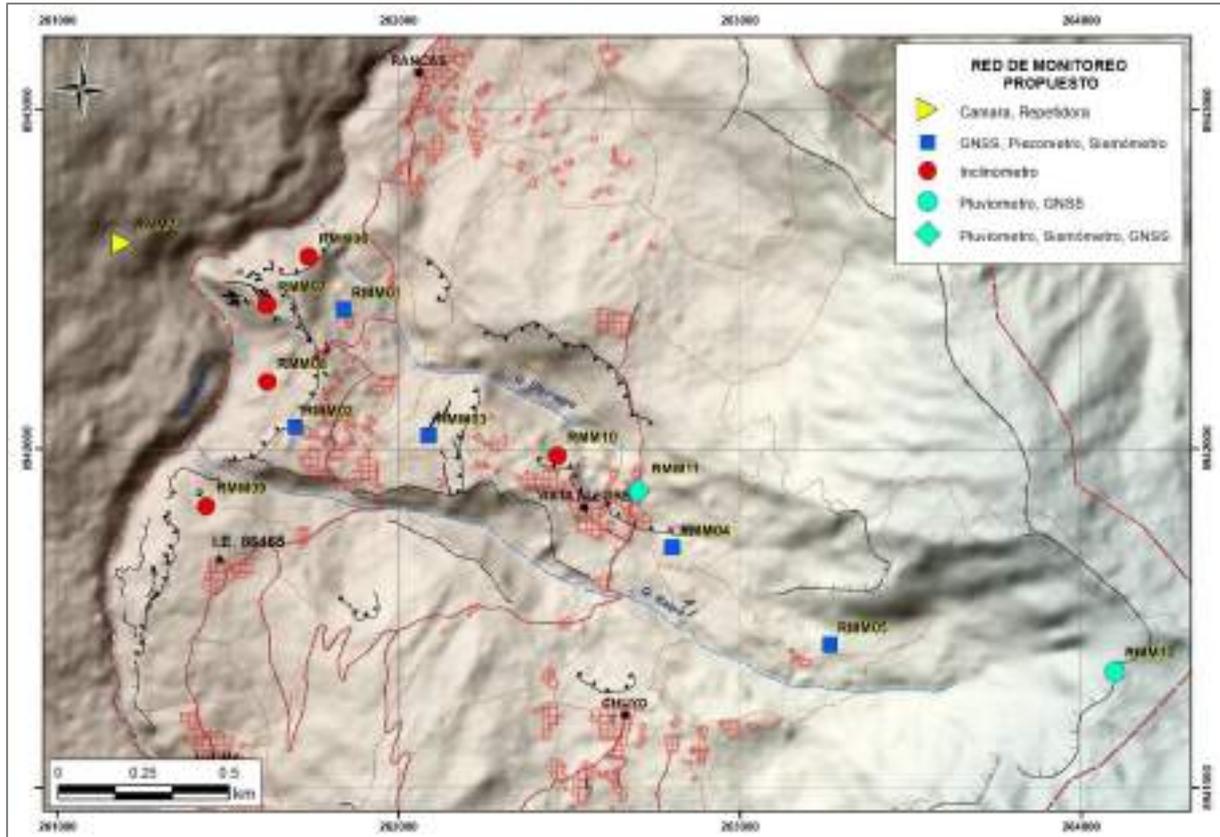


Figura 11.14. Mapa de Ubicación de las estaciones de monitoreo en tiempo real, se diferencian por tipo de estación las cuales se clasifican por la instrumentación que contienen.

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 registran información de desplazamiento, inclinación, contenido de agua, precipitación, actividad superficial y actividad sísmica.

Bajo estas consideraciones se proponen implementar 12 estaciones, equipadas con diferentes sensores, se han clasificado 6 tipos de estaciones que se diferencian por los instrumentos que albergarán (Tabla 11.10), siendo 6 tipos de instrumentos los propuestos para esta red.

Tabla 11.10. Tipo de estaciones.

Tipo de estación	Instrumentación
Tipo 1	Receptor GNSS, Piezómetro, Sismómetro
Tipo 2	Inclinómetro
Tipo 3	Cámara, repetidor
Tipo 4	Receptor GNSS, Pluviómetro
Tipo 5	Receptor GNSS, 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 RMM10 como estación-repetidora,

encargada de acopiar y retransmitir la información. En la figura 11.15 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 11.16) 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 10 perfiles de las cuales 8 (RMM02, RMM03, RMM04, RMM05, RMM06, RMM07, RMM08 y RMM09) se comunican directamente con RMM10, una (RMM01) se comunica con RMM3 que funciona a su vez de repetidora y la estación-repetidora RMM10 acopiará y retransmitirá al centro de control, que podría estar en Chavín.

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 remitir al centro de procesamiento y suministro de energía con UPS. Adicionalmente el centro de control deberá contar con un panelView que permita verificar el funcionamiento de las estaciones, así como visualizar la información proveniente de los sensores en campo.

Con estas consideraciones se emplazaron las 10 estaciones en las coordenadas mostradas en la tabla 11.11, donde también se detallan los sensores que deben contener cada estación.

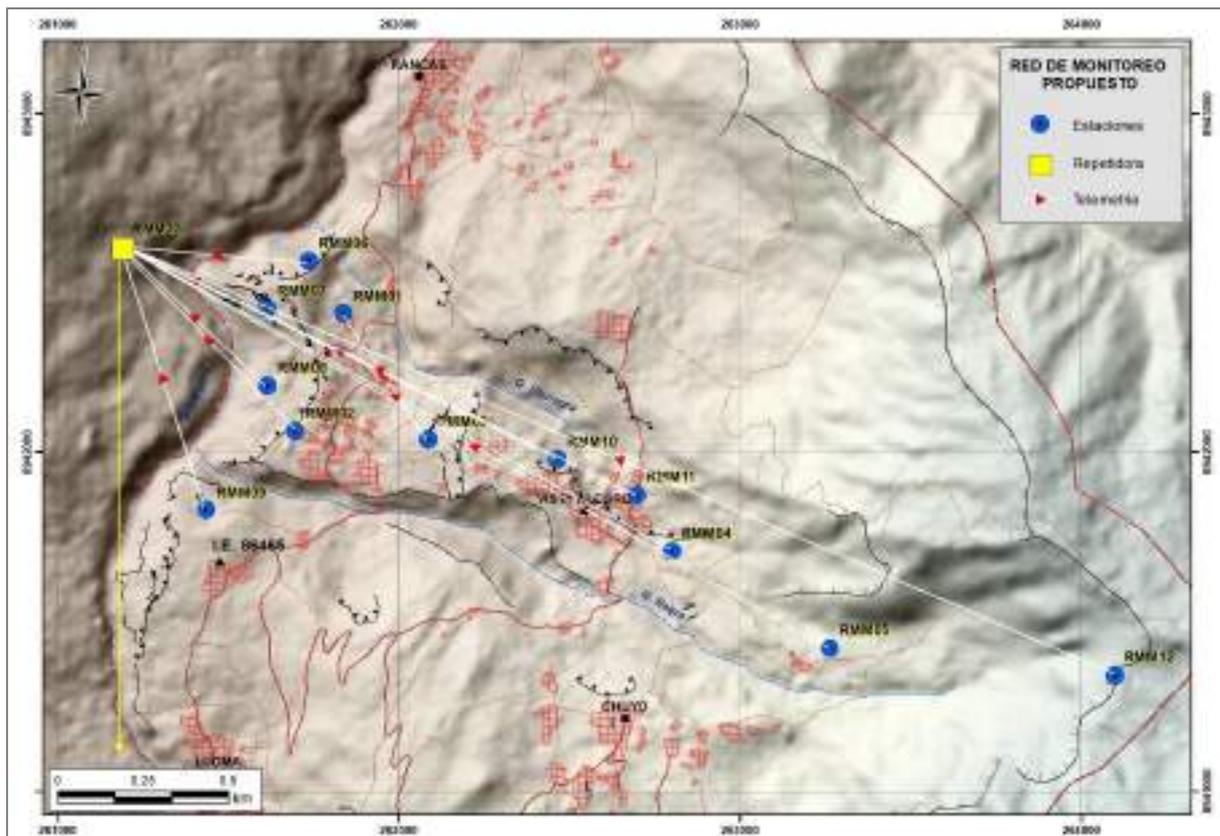


Figura 11.15. Mapa de ubicación de las estaciones de monitoreo en tiempo real.

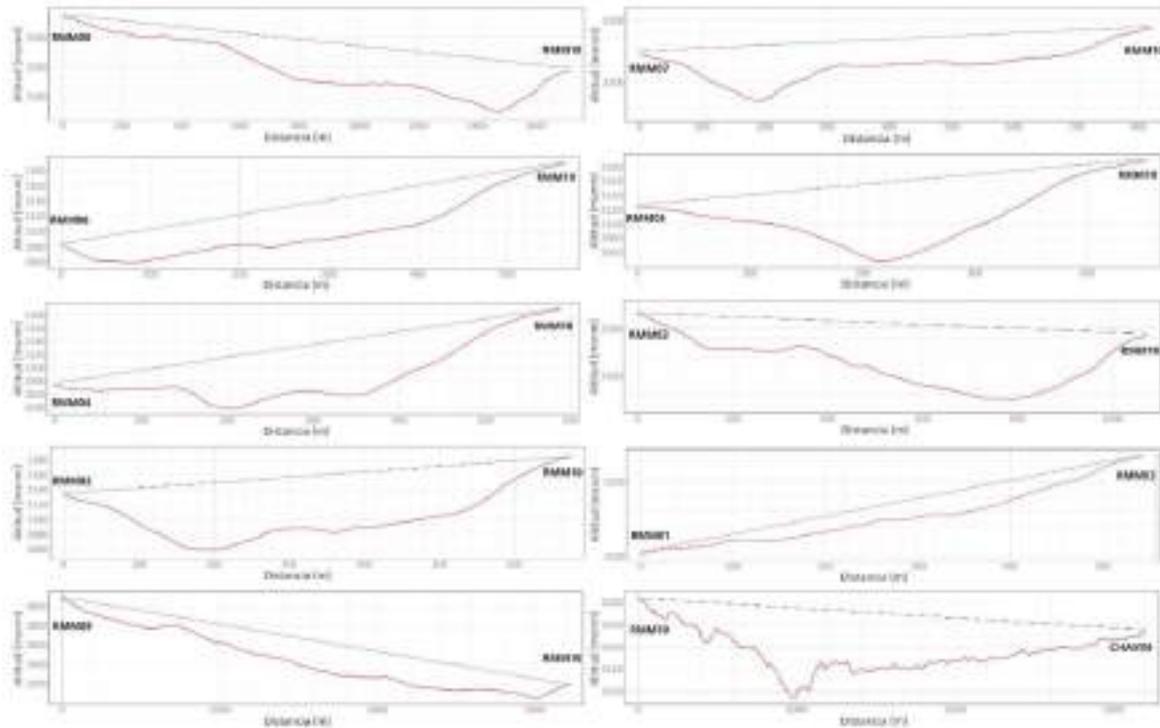


Figura 11.16. Perfiles topográficos entre las estaciones para verificar la línea de vista.

Tabla 11.11. Coordenadas de cada estación y sensores con las que debe contar.

Código	Tipo	Equipos	Longitud	Latitud	Altitud
RMM01	Tipo 1	Receptor GNSS, Piezómetro, Sismómetro, Radio Transmisor	-77.17019	-9.5601	3134
RMM02	Tipo 1	Receptor GNSS, Piezómetro, Sismómetro, Radio Transmisor	-77.17136	-9.56317	3106
RMM03	Tipo 1	Receptor GNSS, Piezómetro, Sismómetro, Radio Receptor y Transmisor	-77.16753	-9.56404	3124
RMM04	Tipo 1	Receptor GNSS, Piezómetro, Sismómetro, Radio Receptor y Transmisor	-77.16104	-9.567058	3411
RMM05	Tipo 1	Receptor GNSS, Piezómetro, Sismómetro, Radio Receptor y Transmisor	-77.15684	-9.569677	3323
RMM06	Tipo 2	Inclinómetro, Radio Transmisor	-77.17063	-9.55896	3102
RMM07	Tipo 2	Inclinómetro, Radio Transmisor	-77.17198	-9.56031	3371
RMM08	Tipo 2	Inclinómetro, Radio Transmisor	-77.17217	-9.56224	3069
RMM09	Tipo 2	Inclinómetro, Radio Transmisor	-77.17326	-9.56565	4077
RMM10	Tipo 2	Inclinómetro, Radio Transmisor	-77.16407	-9.564598	3310
RMM11	Tipo 5	Pluviómetro, Sismómetro, Receptor GNSS, Radio Transmisor	-77.16196	-9.56556	3186

RMM12	Tipo 4	Pluviómetro, Receptor GNSS	-77.14924	-9.57045	4035
RMM13	Tipo 3	Cámara, Radio Receptor y Transmisor	-77.17565	-9.55886	3143

11.1.2. Monitoreo de deslizamiento con puntos de control

El monitoreo con puntos de control es una técnica utilizada para medir los cambios en la posición de puntos específicos en la superficie. Por lo general, como es el caso de Millhuish, se emplean 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 el caserío Millhuish 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 11.17A). Para la lectura de datos se empleó un receptor GNSS de la marca Trimble modelo R10 (Figura 11.17B). 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 el cuadro 11.1.

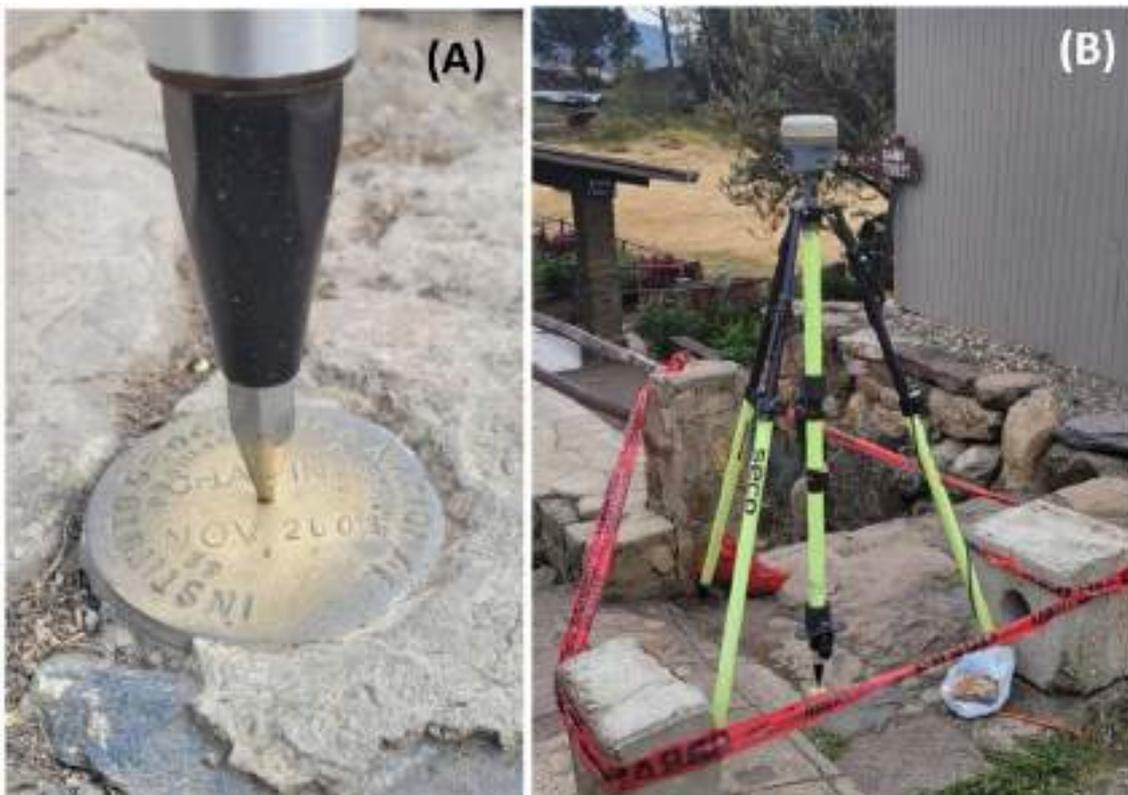


Figura 11.17. Estación base CHAVIN. (A) monumento existe usado como referencia; (B) Instalación de equipo.

Cuadro 11.1. Descripción monográfica de la base CHAV.

NOMBRE DEL PUNTO: Chavín	LOCALIDAD: Chavín de Huántar	ESTABLECIDA: Noviembre del 2001
UBICACIÓN: Distrito Chavín 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 11.18, estos puntos se monumentaron mediante hitos de concreto con una varilla de hierro central (Figura 11.18A), la varilla es la marca referencial para las mediciones, las cuales se realizaron con un receptor GNSS de la marca Trimble, modelo R10 (Figura 11.18B) 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 11.12, la precisión de las coordenadas horizontales va de 4 a 7 mm, mientras que las presiones verticales están entre 9 y 25 mm.

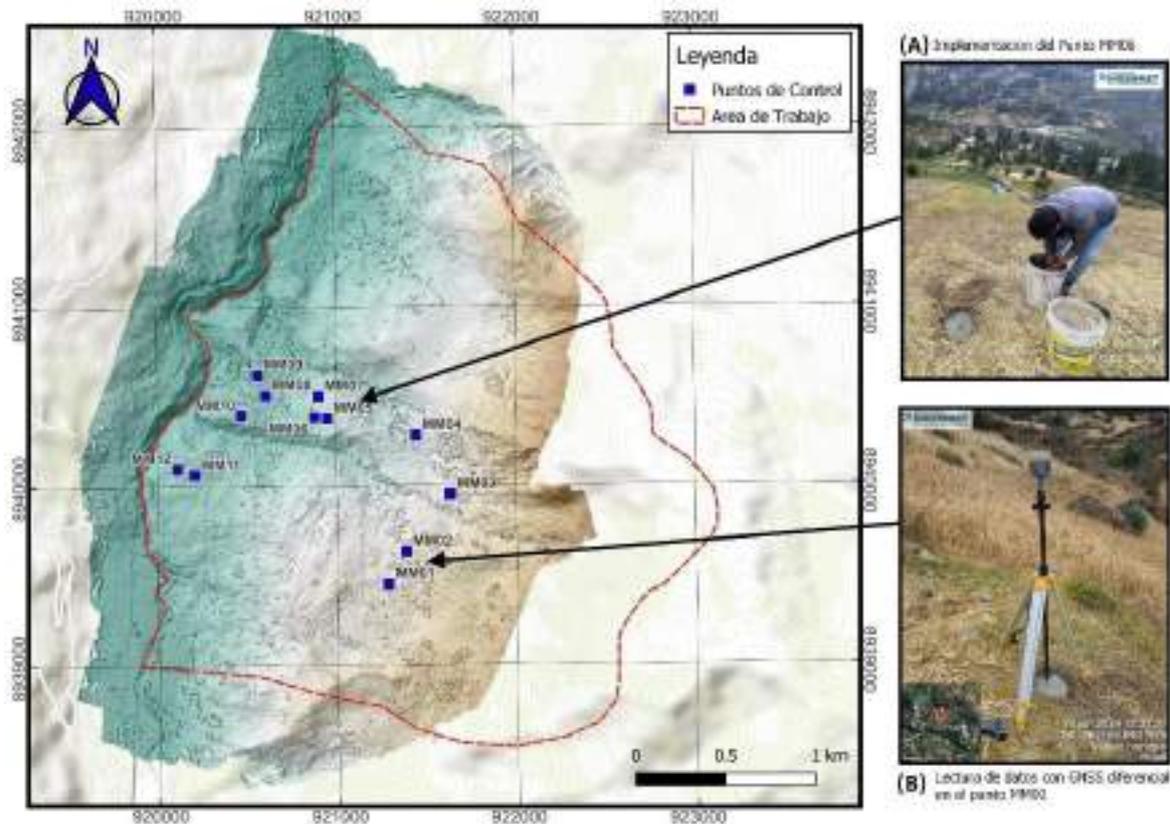


Figura 11.18. Distribución de los 12 puntos de control en el deslizamiento de Millhuish.

Tabla 11.12. 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)
MM01	262519.011	0.006	8941051.842	0.006	3459.869	0.011
MM02	262612.673	0.007	8941235.884	0.007	3466.086	0.024
MM03	262855.932	0.007	8941556.007	0.007	3426.134	0.017
MM04	262660.736	0.005	8941882.282	0.005	3347.675	0.011
MM05	262166.827	0.004	8941971.763	0.004	3261.382	0.008
MM06	262096.432	0.005	8941975.967	0.005	3228.170	0.008
MM07	262115.556	0.005	8942094.657	0.005	3218.798	0.007
MM08	261821.521	0.005	8942094.817	0.005	3151.754	0.008
MM09	261774.312	0.007	8942207.711	0.007	3151.023	0.017
MM10	261689.052	0.005	8941981.778	0.005	3161.542	0.014
MM11	261434.793	0.004	8941647.706	0.004	3175.370	0.009
MM12	261334.505	0.004	8941680.234	0.004	3159.265	0.009

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 Millhuish se realizó el primer 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: 3,787	Imágenes alineadas: 3,787
Altitud media de vuelo: 257 m	Puntos de paso: 372,869
Resolución en terreno: 8.82 cm/pix	Proyecciones: 1,379,150
Área cubierta: 8.75 km ²	Error de reproyección: 0.635 pix

Los productos más importantes de este levantamiento son: una nube de puntos densa (Figura 11.19); un modelo de elevación de terreno (DEM, por sus siglas en inglés) y Ortomosaico de alta resolución.



Figura 11.19. Nube de puntos calculada a partir del levantamiento fotogramétrico.

11.2. Sistemas de drenaje

Drenar las aguas superficiales y subterráneas que discurren sobre y por debajo de la ladera y que han sido las causantes principales de que se origine el deslizamiento de suelos.

Se deberá construir dren francés (zanjas rellenas con gravas) y/o interceptor en la parte alta de la ladera, entre la zona urbana de Millhuish y la ladera que conduce a Vista Alegre. La profundidad de excavación y la longitud será determinada 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 (Figura 11.20).

Así también, se deberá construir un drenaje en la parte posterior de la I.E. N° 86465, que tendrá una longitud de aproximadamente 400 m. Este dren será de sección abierta y su función será captar la totalidad de aguas pluviales

11.3. Defensa ribereña

En la parte baja de la ladera, es decir en la zona frontal del deslizamiento, que colinda con el cauce del río Mosna, se debe implementar un muro enrocado, a fin de impedir el efecto erosivo del río y la pérdida de suelos. Se aprovechará que en el cauce existen bloques heterométricos de roca (arenisca, caliza, cuarcita, etc.), que presentan una alta resistencia a la compresión y abrasión. Se deberá excavar una uña antisocavante; la altura del muro enrocado y el ancho de corona deberán ser determinados por los especialistas. El proceso constructivo deberá ser en época de estiaje. El acceso de la maquinaria será por la margen izquierda del río Mosna, ya que existe una vía de acceso.

Nota: Esta medida de mitigación tiene el objetivo principal de evitar la erosión fluvial del río Mosna, mas no servirá como contención para estabilizar la superficie de falla del deslizamiento, ya que este plano es profundo y cualquier tipo de estructura estará expuesta a deformaciones, porque su cimentación será por encima del plano de deslizamiento.

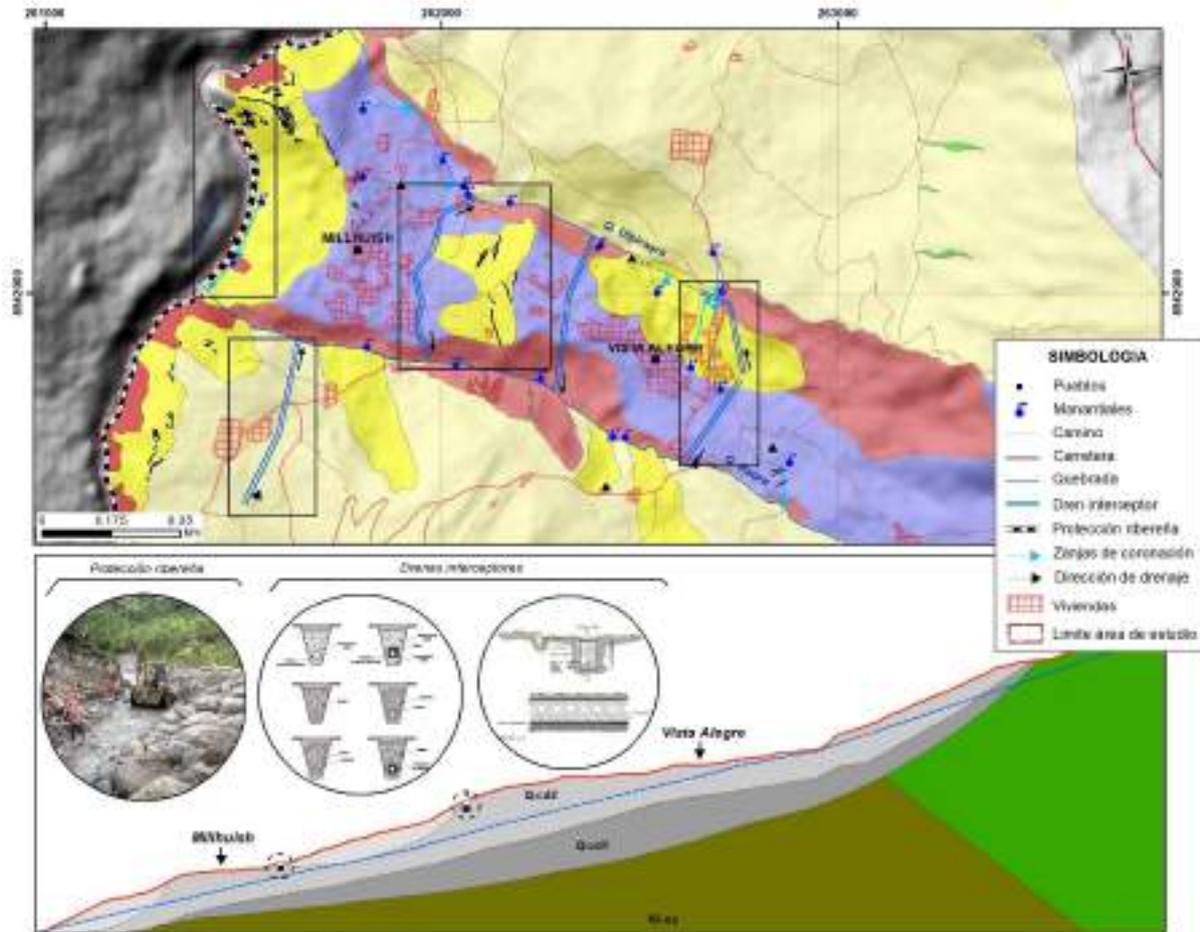


Figura 11.20. Sistema de drenaje y defensa ribereña propuestos para mitigar y/o atenuar el deslizamiento activo en el caserío Millhuish.

11.4. Planes de reforestación

Como otra medida se recomienda reforestar la totalidad de la masa deslizada, con árboles nativos (molle, sauco, tara, entre otros), a fin de proporcionar cohesión a los suelos y evitar también la filtración de aguas de lluvia. La totalidad de área que abarca la zona inestable es de aproximadamente 13.70 ha, de las cuales 5.41 ha actualmente están reforestadas, 4.50 corresponden a zonas de cultivo, por lo que 3.79 ha necesariamente deberán ser reforestadas.

La reforestación cumple con controlar las infiltraciones de aguas de lluvia, cohesiona y da consistencia al suelo por efecto de las raíces, como un agente secador del suelo, pues a través de las raíces, las plantas toman el agua que requieren para vivir. Se recomienda árboles nativos (molle, sauco, tara, entre otros), debido a que la zona de estudio presenta eucaliptos, 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.

12. CONCLUSIONES

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

1. El caserío Millhuish se encuentra sobre depósitos coluvio deluviales, compuesto por arena arcillosa con gravas (SC); de estructura masiva, medianamente consolidado y plasticidad baja. Son considerados suelos inestables, fácilmente erosionables, que, aunado a la sobresaturación por aguas de lluvia de lluvias intensas y/o prolongadas; y el riego indiscriminado de cultivos de alfalfa, se producen movimientos en masa de tipo deslizamientos y derrumbes, que comprometen la seguridad física de viviendas, terrenos de cultivo y obras de infraestructura.
2. Geomorfológicamente, el caserío Millhuish, se sitúa sobre una ladera o vertiente coluvio - deluvial, formando un relieve escalonado y ondulado de pendiente media a muy fuerte (5°- 45°). Hacia el este está delimitado por montaña estructural modelada en roca sedimentaria, de cimas alargadas y laderas escarpadas (>45°), donde se observan cicatrices de grandes movimientos en masa.
3. El inventario de peligros geológicos permitió identificar 53 procesos por movimientos en masa y otros peligros geológicos relacionados a erosión de laderas en cárcavas (5); además, de un peligro geohidrológico por erosión fluvial del río Mosna. De estos movimientos en masa, 24 corresponden a deslizamientos, de los cuales 9 son considerados inactivos relictos, un ejemplo de estos se observa en el cerro Ocshatuna. También se ha identificado 2 deslizamientos inactivos latentes, ubicados en la quebrada Ulpiraqra y 13 deslizamientos activos se localizan en la parte baja del caserío Millhuish, margen derecha del río Mosna.
4. En la zona de estudio se han identificado dos grandes eventos de movimientos en masa, el primero de tipo deslizamiento en el cerro Ocshatuna. El segundo evento corresponde a una avalancha de rocas, en cuyo pie se emplaza el caserío Millhuish. Actualmente, esta zona presenta reactivaciones en forma de deslizamientos y derrumbes. Además, la presencia de múltiples agrietamientos longitudinales en los terrenos, con aperturas de hasta 10 cm entre Vista Alegre y Millhuish, nos indica la deformación continua y la posible actividad retrogresiva del deslizamiento. Siendo la probabilidad de producir nuevos eventos, que también afectaría al caserío Vista Alegre, muy alta. Además, el deslizamiento podría represar el río Mosna, cuyo desembalse violento afectaría a las poblaciones asentadas aguas abajo, incluyendo a San Marcos.
5. El principal deslizamiento activo ubicado en el pie de la avalancha de rocas, abarca un área de ~12.3 Ha, tiene una corona de forma semicircular de 780 m de longitud, un escarpe de 4 m y una distancia entre la corona y pie del evento (río Mosna) de 242 m. La actividad de este deslizamiento ya causó daños en 10 viviendas, 40 ha de terrenos de cultivo, infraestructura de riego y vías de comunicación.
6. Al Suroeste del caserío de Millhuish, en la margen derecha del río Mosna y margen izquierda de la quebrada Raqra se ubica un deslizamiento en proceso de reactivación, cuyo avance retrogresivo de la escarpa afecta terrenos de cultivo y podría afectar, en un futuro, a la I.E. N° 86465, que está ubicada a aproximadamente a 100 m del escarpe.

7. El factor principal que genera la inestabilidad de las laderas, viene a ser el agua producto de las precipitaciones pluviales estacionales intensas y/o prolongadas (entre diciembre a abril), y a ello se suma la presencia de manantiales y la sobresaturación de los terrenos por el riego excesivo de cultivos entre ellos alfalfa. Asimismo, la pendiente del terreno y la erosión fluvial provocada por el río Mosna, incrementan la inestabilidad y la formación nuevos procesos de movimientos en masa.
8. 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. Permitted definir materiales impermeables a semipermeables con valores de Resistividad eléctrica > 350 Ohm.m, relacionados con suelos/roca; mientras que, los materiales permeables estarían asociados a valores de resistividad <100 Ohm.m correspondientes a depósitos inconsolidados. También se identificó zonas con anomalías de baja resistividad eléctrica tipo capa que estarían relacionados con zonas de filtración y saturación de agua, asimismo, anomalías de baja resistividad eléctrica con distribución vertical que podrían estar relacionados a estructuras de falla, fracturas o el depósito del deslizamiento antiguo.
9. En el contexto hidrogeológico el caserío Millhuish se encuentran situado sobre un acuífero poroso no consolidado, caracterizado como algo permeable. Esta permeabilidad facilita la infiltración y circulación del agua en el suelo saturado, lo que estaría contribuyendo a la ocurrencia de movimientos en masa, con incidencia en la parte baja del caserío Millhuish.
10. En la zona de estudio, se registraron un total de treinta fuentes de agua, entre ellos, manantiales y puntos de control; muchos de ellos originados y/o incrementados en volumen de agua por el riego indiscriminado. Las fuentes de aguas subterráneas inventariadas en su mayoría son manantiales, siendo su uso principal el riego. Al pie del deslizamiento activo de Millhuish, se identificaron los manantiales 498996-009 y 498996-013 y zonas húmedas en las cercanías de la ladera, muy próximos al río Mosna, lo que evidencian un nivel freático superficial y una dirección preferencial de flujo subterráneo a favor de la pendiente.
11. Los manantiales 498996-004, 498996-005 y 498996-010, ubicados en la quebrada Ulpiraqra presentan alta alcalinidad y niveles moderados de carbonatos, lo que sugiere un probable origen natural (tipo de rocas) y posiblemente la afectación de la cohesión del suelo. Además, existen niveles elevados de nitratos (posiblemente usados como nutriente) en las muestras 498996-001 (9.5 mg/l) y 498996-010 (9.6 mg/l), las cuales tienen concentraciones superiores al LDM de 0.5 mg/l, características que también puede influir en la inestabilidad de la ladera.
12. El análisis de susceptibilidad a movimientos en masa, tomó en consideración seis parámetros como condicionantes (litología, pendiente, geomorfología, hidrogeología, TWI y cobertura vegetal), los cuales arrojaron valores de muy baja a muy alta susceptibilidad. Donde resaltan las zonas inestables del caserío Millhuish (~181 ha) catalogadas como zonas de Muy Alta susceptibilidad que corresponden a laderas con pendiente fuerte a muy fuerte; ocupan zonas con poca vegetación, y es en estos

sectores donde se tiene movimientos en masa activos y con indicios de reactivación. Por sus características litológicas e hidrogeológicas corresponden a suelos inestables y saturados de agua por infiltración (riego y lluvias estacionales), originando el aumento de peso de los materiales y por ende su inestabilidad.

13. El análisis de estabilidad de taludes realizado en la parte baja del caserío Millhuish (perfil 6), en condiciones estáticas presenta un FS de 1.35; mientras que, en condiciones pseudo-estáticas, tomando como base la sismicidad histórica e instrumental en la región, así como, la presencia muy cercana de la Falla Activa de la Cordillera Blanca, se tiene un FS de 0.81, es decir ante un movimiento sísmico el talud fallaría. Asimismo, la simulación con infiltración de agua de 350m³/día, utilizado para riego, nos muestra la inestabilidad de la parte baja de la ladera.
14. Luego de realizado todos los estudios multidisciplinarios, se concluye que el caserío Millhuish presenta **Susceptibilidad Alta a Muy Alta** ante la formación de movimientos en masa (deslizamientos) que afectan viviendas y terrenos de cultivo, como se ve actualmente. Además, se considera como **Zona Crítica** a movimientos en masa.

13. 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 caserío Millhuish.

En base a los resultados obtenidos del análisis realizado y plasmado líneas arriba en el caserío Millhuish, se recomienda reubicar a toda la población y mantener estos lugares como uso recreativo o terrenos de cultivo. Este último, teniendo en cuenta el tipo de suelo, tipo de cultivo (no sembrar alfalfa) y tipo de riego: goteo o aspersión, pero respetando los tiempos para cada tipo de cultivo.

Se debe controlar y monitorear el deslizamiento en el caserío Millhuish, debido a que podría represar el río Mosna y producir un desembalse que afectaría a las poblaciones asentadas aguas abajo del poblado, las siguientes recomendaciones se enfocan en mitigar el deslizamiento:

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

1. Se debe de tomar en consideración las grietas y deformación del terreno en los caseríos Millhuish, Vista Alegre y Chuyo ubicados en el cuerpo de eventos antiguos, para ello se debe de realizar un monitoreo de la deformación que involucre estos caseríos. Estos pueden ser mediante control de puntos GPS, imágenes satelitales (fotogrametría) y/o instrumentación; para este último se debe tomar en cuenta las siguientes consideraciones (ver capítulo 11, figura 11.14):
 - La red de monitoreo propuesta consta de 10 estaciones, las cuales incluyen una repetidora.
 - 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 podrían ser: sismómetros, videocámaras, receptores GNSS, Pluviómetros, Inclinómetros y Piezómetros.
 - Los sensores para su instalación deben contar con: i) fuentes energéticas autónomas (paneles solares y baterías), ii) mantenimiento y iii) 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.
2. Reforestar la totalidad de la masa deslizada, con árboles nativos (molle, sauco, tara, entre otros), a fin de proporcionar cohesión a los suelos y evitar también la filtración de aguas de lluvia (ver capítulo 11).
3. Para realizar el control de las aguas superficiales proveniente de las lluvias y el riego excesivo se debe de implementar drenes interceptores, que podrían estar localizados

entre la zona urbana de Millhuish y la parte baja de Vista Alegre (ver figura 11.20). El proceso constructivo consistirá de la apertura de la zanja, entibado de paredes, colocación de geotextil de gramadura, filtro, tubería HDPE y filtro; así como también el llamado dren francés (zanjas rellenas con gravas). El objetivo es capturar el agua y descargar hacia ambos flancos, derecho e izquierda de la ladera, es decir, hacia las quebradas Raqra y Ulpiraqra (ver Anexo 1: mapa N° 7 y capítulo 11). Si hay necesidad de agua potable y/o regadío, llevar los drenajes a una zona estable, construir tanques ligeros y preservar el agua.

4. En la parte baja de la ladera, implementar un muro de enrocado con mallas de alambre, a fin de impedir el efecto erosivo del río Mosna y la pérdida de suelo de la base de la ladera. 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 falla del deslizamiento es profunda y cualquier tipo de estructura estará expuesta a deformaciones, porque su cimentación será por encima del plano de deslizamiento.*



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



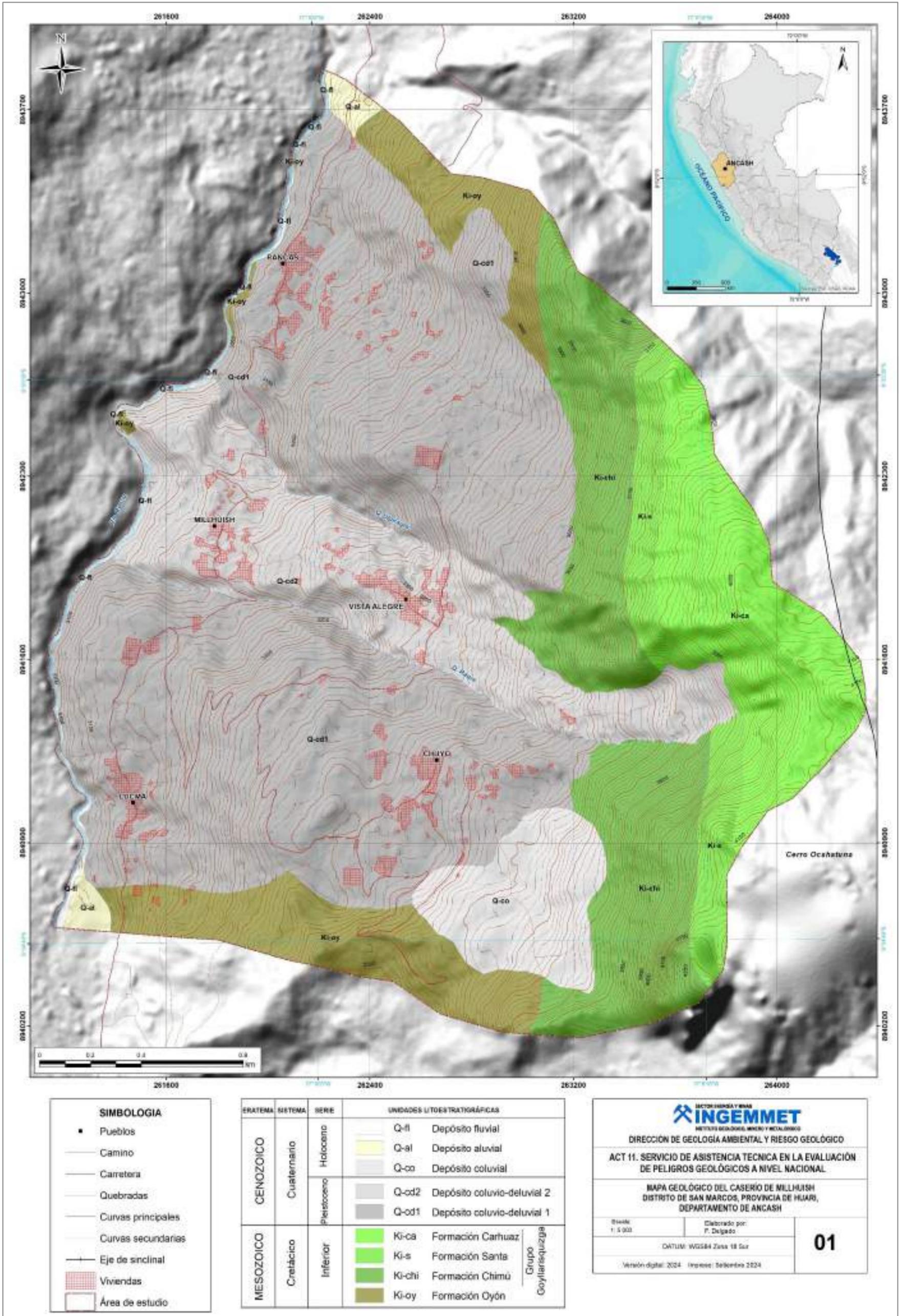
.....
Ing. BILBERTO ZAVALA CARRIÓN
Director (e)
Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico
INGEMMET

14. BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA

- Bandara, R., Somaratne, M., Indrathilaka, L., Amarathunga, N., Tsukamoto, S., Fujisawa, S., Tozawa, M. & Uchikura Y. (2013). The manual for Landslide Monitoring Analysis and Countermeasure. The Disaster Management Capacity Enhancement Project Adaptable to Climate Change. NBRO & JICA DiMCEP.
- B.B.S Singhal y R.P. Gupta, 2010. Applied Hidrogeology of fractured Rocks. Indian Institute of Technology Roorkee, Roorkee, India. Second Edition, Pág, 408.
- Bernal, I., Sulla, W., Taver, H. (2022). Estudio Geofísico de suelos en el CP Challhuayaco y su aporte en la reducción del riesgo de desastres (Distrito de San Marcos, Provincia de Huari, Región Ancash). Informe Técnico N°007-2022/IGP CIENCIAS DE LA TIERRA SÓLIDA. 94p.
- Bednarczyk, Z. (2014). Landslide geohazard monitoring, early warning and stabilization control methods. *Studia Geotechnica et Mechanica*, Vol. XXXVI, No. 1, 2014 DOI: 10.2478/sgem-2014-0001.
- CE.020 Suelos y Taludes DS N° 017-2012.
- Cobbing, & Sanchez, A. (1996). Memoria descriptiva del cuadrángulo de Recual (20-i). INGEMMET.
- Cordero D. & Espinoza R. (2012). Sistemas de alerta temprana para monitoreo de deslizamientos Ingeniería Geotécnica.Unidad de Gestión de la Red Vial, PITRA, Lanamme UCR.
- Cossio Navarro, Aurelio y Jaén La Torre, Hugo. 1967. Boletín A-17, Geología de los cuadrángulos de Puemape, Chocope, Otuzco, Trujillo, Salaverry y Santa 16-d, 16-e, 16-f, 17-e, 17-f, 18-f.
- Custodio E, Llamas M.R., 1983. Hidrología Subterránea II Edición. Ediciones Omega. Barcelona, España. Tomo I y Tomo II, Segunda Edición.
- Fonseca S, Orellana F, Ortega Jose. (2015). Estudio de balance hídrico de la Cuenca del río Mosna.
- 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 de peligros geológicos en el caserío Millhuish, distrito de San Marcos, provincia Huari, departamento Áncash. Lima: Ingemmet, Informe técnico A7470, 44 p.
- 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 (2023). Peligros geológicos y zonas críticas entre Chavín de Huántar y Pomachaca. Distritos Chavín de Huántar, San Marcos, Huántar, Huachis y Huari; provincia Huari; departamento Áncash. Lima: Ingemmet, Informe Técnico A7361, 66 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.
- INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA E INFORMÁTICA (2018) - Lima. Resultados Definitivos. Tomo I: Aspectos generales, Análisis de los principales resultados, Cuadros estadísticos de población, vivienda y Hogar. Censos Nacionales 2017: XII de Población, VII de Vivienda y III de Comunidades Indígenas.
- Mishra, P., Shukla, S., Dutta, S., Chauhya, S. & Prasad, G. (2011). Detection of landslide using wireless sensor networks, *Proc. Int. Conf.*
- 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.
- Ramesh, M. V. (2009). Real-time wireless sensor network for landslide detection, Proc. 3rd Int. Conf. Sensor Technol. Appl., pp. 405-409.
- 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.

ANEXO 1: MAPAS TEMÁTICOS



SIMBOLOGIA	
●	Pueblos
—	Camino
—	Carretera
—	Quebradas
—	Curvas principales
—	Curvas secundarias
—	Eje de sinclinal
■	Viviendas
□	Área de estudio

ERATEMA	SISTEMA	SERIE	UNIDADES LITOSTRATIGRAFICAS
CENOZOICO	Cuaternario	Holoceno	Q-fl Depósito fluvial
			Q-al Depósito aluvial
			Q-co Depósito coluvial
		pleistoceno	Q-cd2 Depósito coluvio-deluvial 2
Q-cd1 Depósito coluvio-deluvial 1			
MESOZOICO	Cretácico	Inferior	Ki-ca Formación Carhuaz
			Ki-s Formación Santa
			Ki-chi Formación Chimú
			Ki-oy Formación Oyón

Grupo Goyllarisquiza

INGEMMET
 INSTITUTO GEOLOGICO, MINERO Y METALURGICO

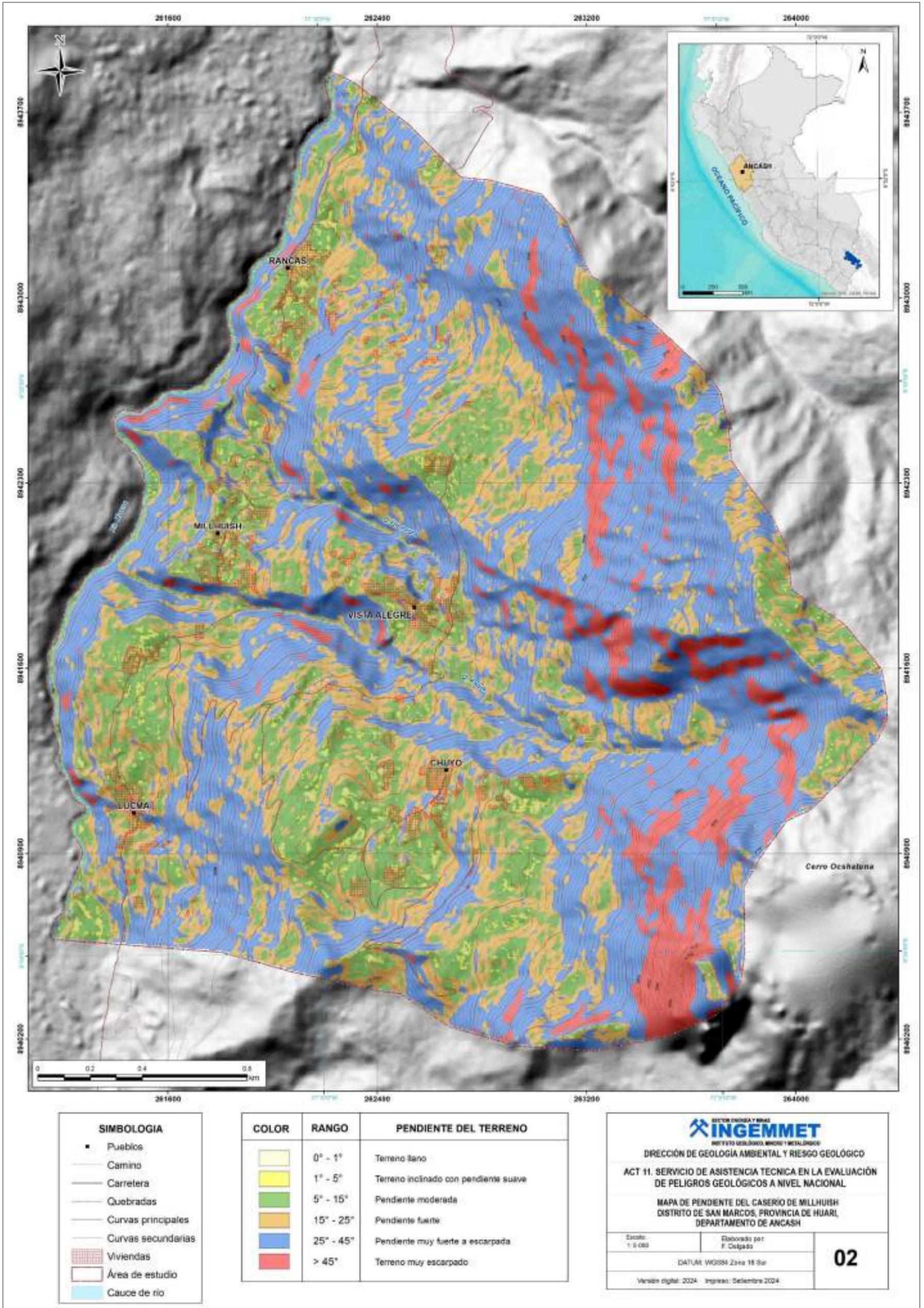
DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO

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

**MAPA GEOLÓGICO DEL CASERIO DE MILLHUISH
 DISTRITO DE SAN MARCOS, PROVINCIA DE HUARI,
 DEPARTAMENTO DE ANCASH**

Escala: 1:5 000	Elaborado por: F. Delgado
DATUM: WGS84 Zona 18 Sur	
Versión digital: 2024 (Impreso: Setiembre 2024)	

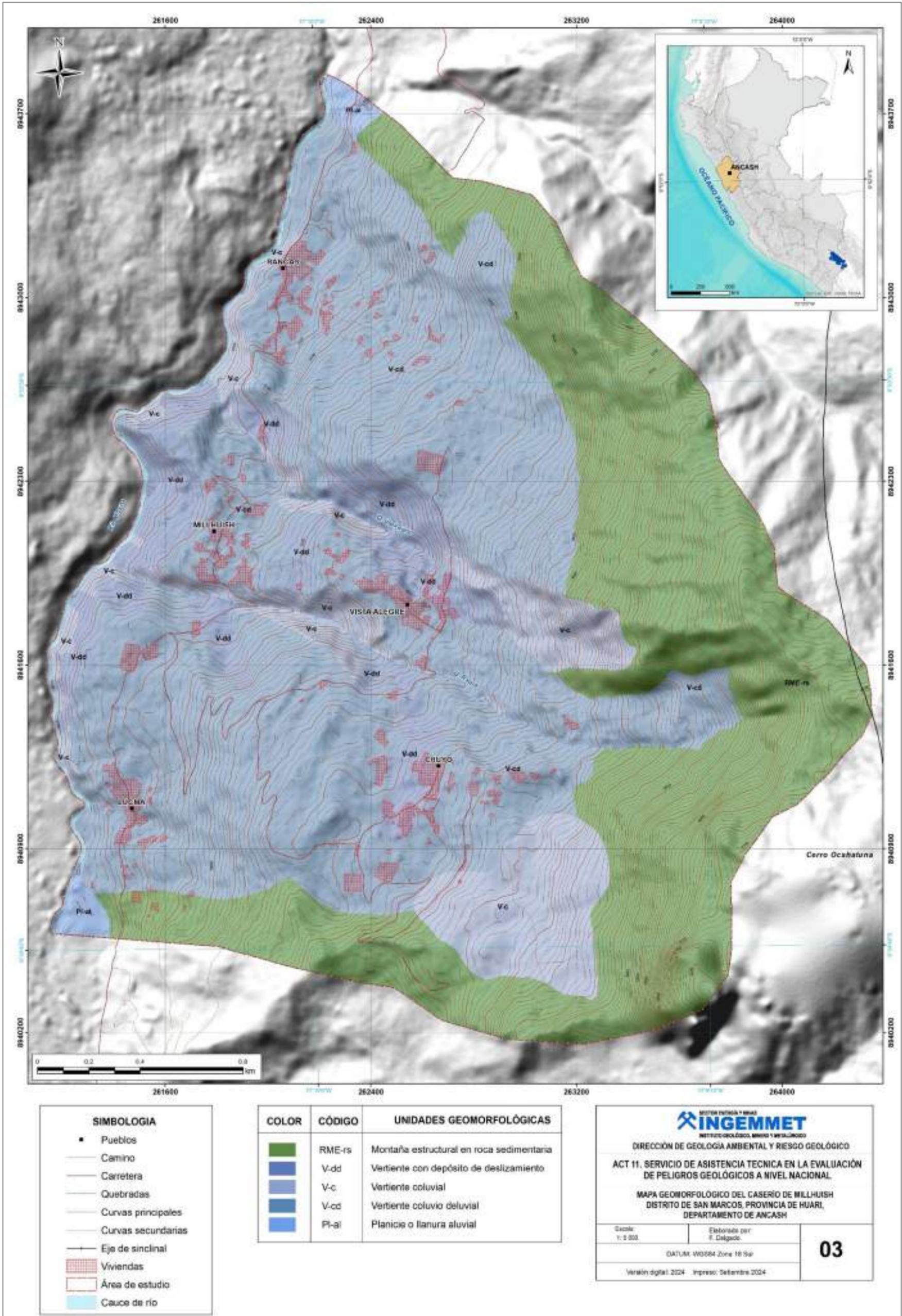
01

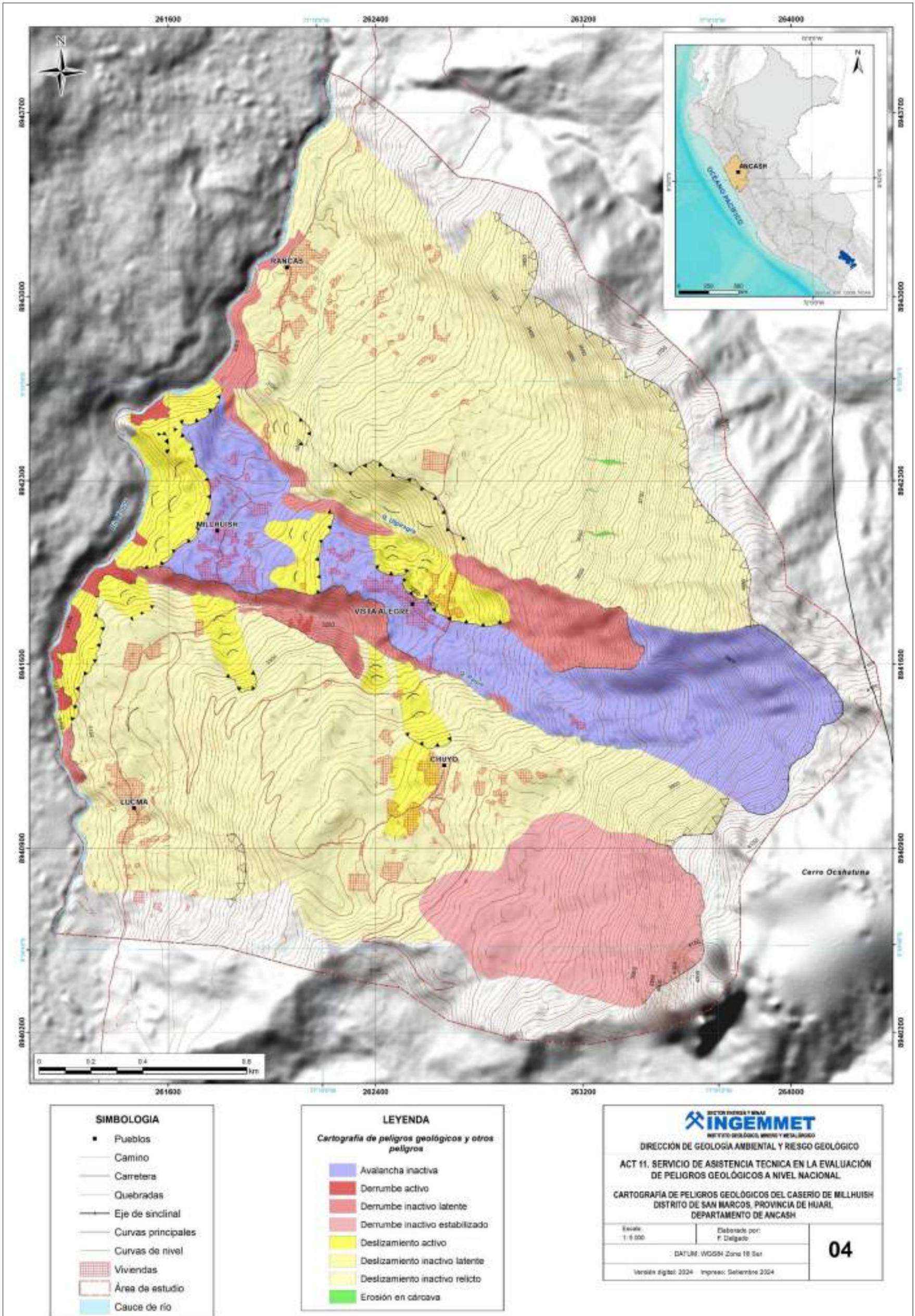


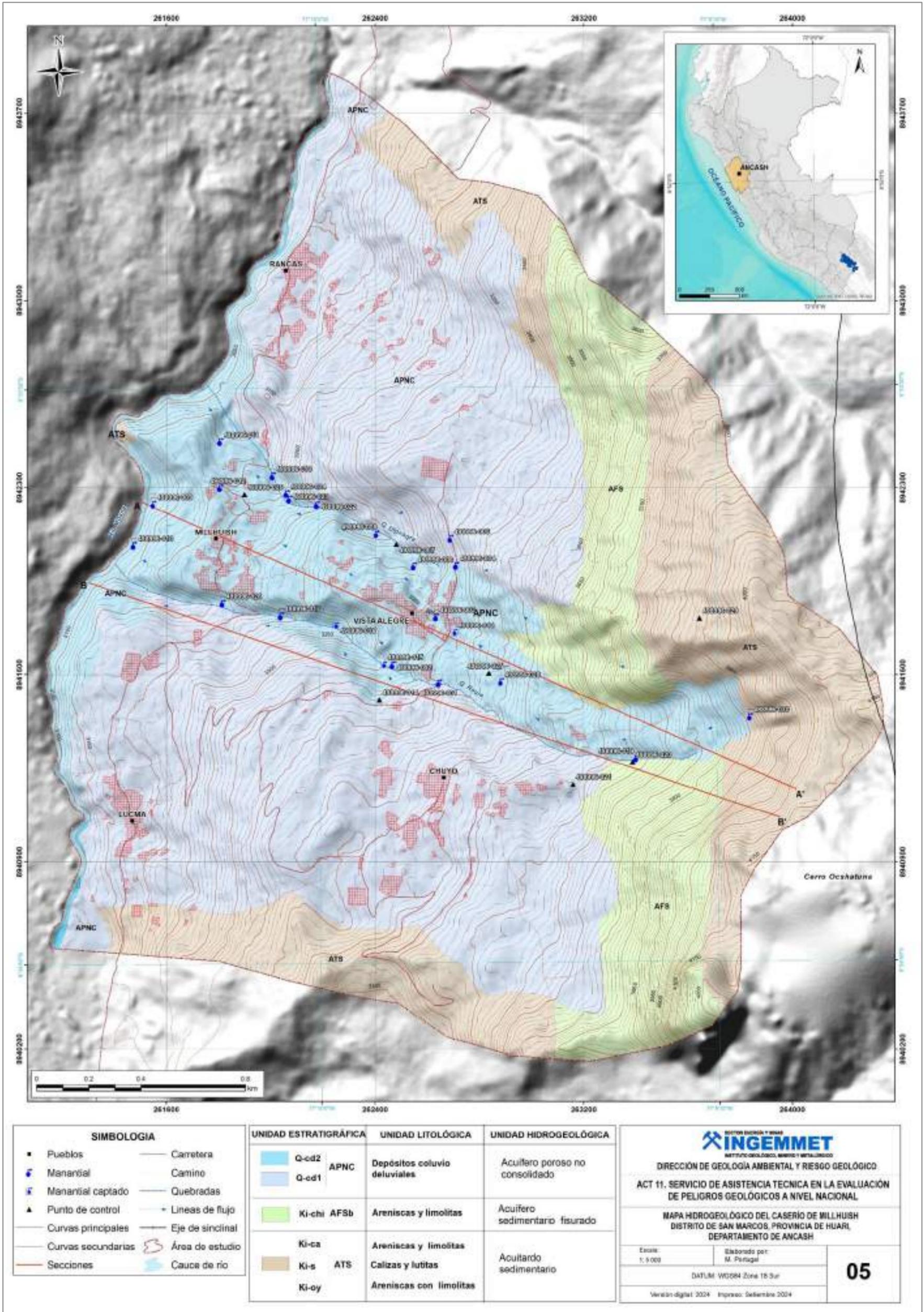
SIMBOLOGIA	
■	Pueblos
—	Camino
—	Carretera
—	Quebradas
—	Curvas principales
—	Curvas secundarias
■	Viviendas
■	Área de estudio
■	Cauce de río

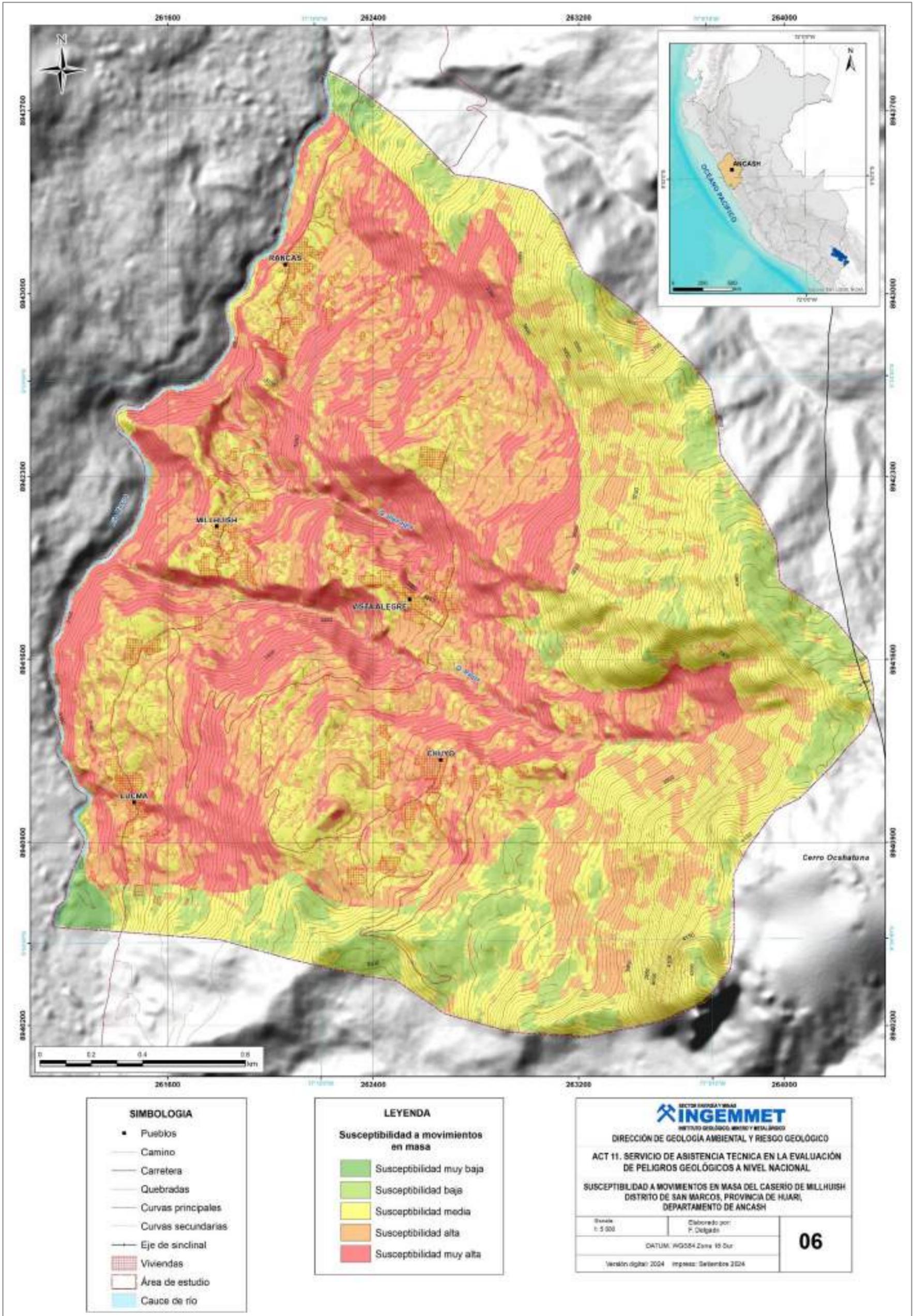
COLOR	RANGO	PENDIENTE DEL TERRENO
■	0° - 1°	Terreno llano
■	1° - 5°	Terreno inclinado con pendiente suave
■	5° - 15°	Pendiente moderada
■	15° - 25°	Pendiente fuerte
■	25° - 45°	Pendiente muy fuerte a escarpada
■	> 45°	Terreno muy escarpado

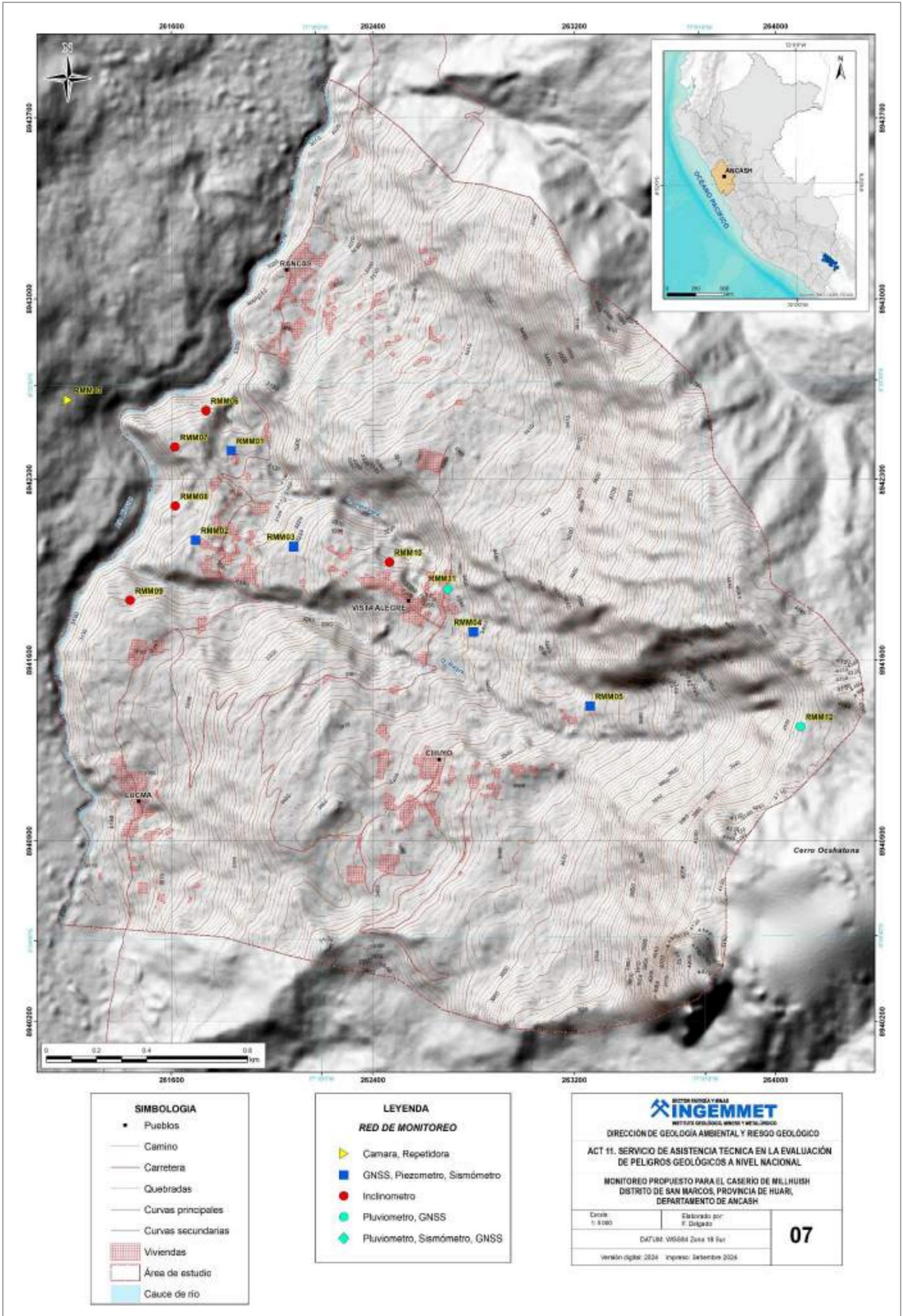
<p>SECTOR ENERGÍA Y MINAS INGEMMET INSTITUTO GEOLOGICO, MINERO Y METALURGICO</p>	
DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO ACT 11. SERVICIO DE ASISTENCIA TÉCNICA EN LA EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS A NIVEL NACIONAL MAPA DE PENDIENTE DEL CASERIO DE MILLHUSH DISTRITO DE SAN MARCOS, PROVINCIA DE HUARI, DEPARTAMENTO DE ANCASH	
Escala: 1 : 5 000	Elaborado por: F. Osipado
DATUM: WGS84 Zona 18 Sur	
Versión digital: 2024 Impreso: Setiembre 2024	
02	











SIMBOLOGIA	
●	Pueblos
—	Camino
—	Carretera
—	Quebradas
—	Curvas principales
—	Curvas secundarias
■	Viviendas
□	Área de estudio
□	Cauce de río

LEYENDA	
RED DE MONITOREO	
▲	Cámara, Repetidora
■	GNSS, Piezometro, Sismómetro
●	Inclinometro
●	Pluviómetro, GNSS
◆	Pluviómetro, Sismómetro, GNSS

SECTOR ENERGÍA Y MINAS	
INGEMMET	
INSTITUTO GEOLOGICO, MINERO Y METALURGICO	
DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO	
ACT 11. SERVICIO DE ASISTENCIA TÉCNICA EN LA EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS A NIVEL NACIONAL	
MONITOREO PROPUESTO PARA EL CASERIO DE MILLHUSH, DISTRITO DE SAN MARCOS, PROVINCIA DE HUARI, DEPARTAMENTO DE ANCASH	
Elaborado por: F. Delgado	07
Fecha: 11 de mayo de 2024	
Versión digital: 2024 Impreso: Setiembre 2024	

ANEXO 2: PANEL FOTOGRÁFICO



Fotografía 1. Vista de afloramiento rocos de la Formación Ayón húmedo, altamente meteorizado y muy fracturado.



Fotografía 2. Presencia de yeso entre el caserío Milhush y Vista Alegre, lo cual favorece la ocurrencia de movimientos en masa.



Fotografía 3. Vista del deslizamiento reactivado en la parte baja del caserío Millhuish.



Fotografía 4. Derrumbes y deslizamientos en la parte baja del caserío Millhuish, margen derecha del río Mosna



Fotografía 5. Agrietamientos longitudinales entre Millhuish y Vista Alegre.



Fotografía 6. Derrumbes en la margen izquierda de la quebrada Raqra.



Fotografía 7. Vista de escarpe de deslizamientos en la margen derecha de la quebrada Raqra.



Fotografía 8. Vista del muro de cementerio del caserío Millhuish agrietado, con dirección preferencial al río Mosna

ANEXO 3. RESULTADO DEL ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DEL TALUD

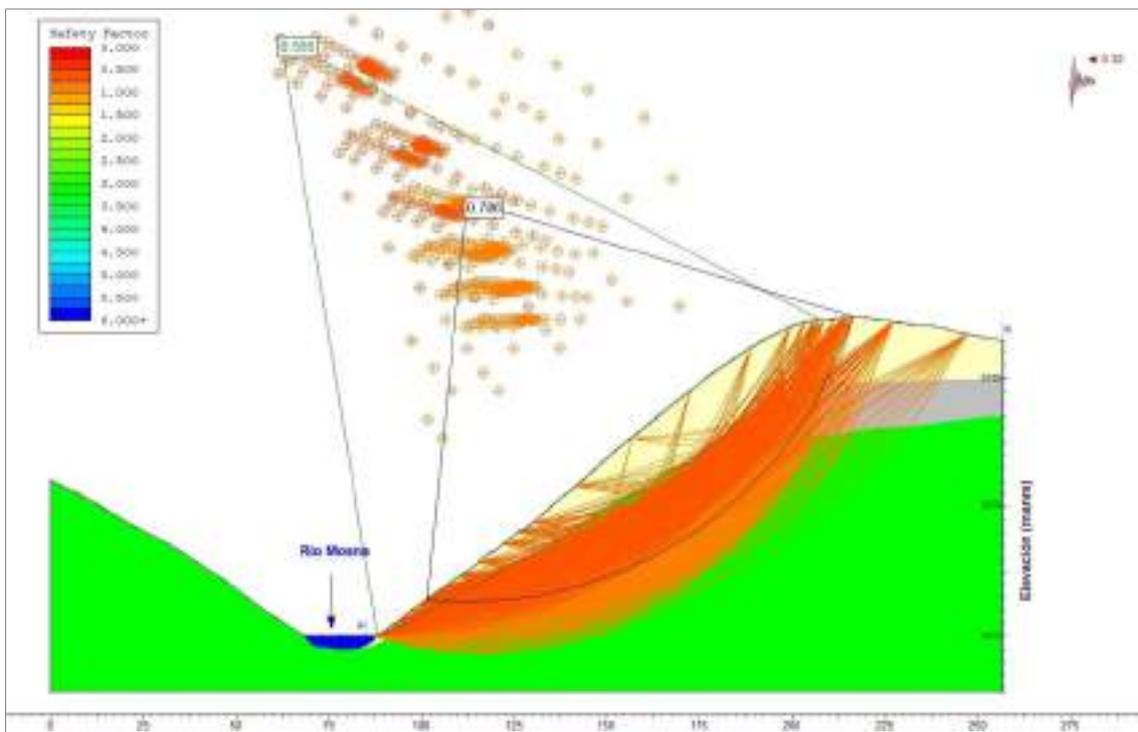
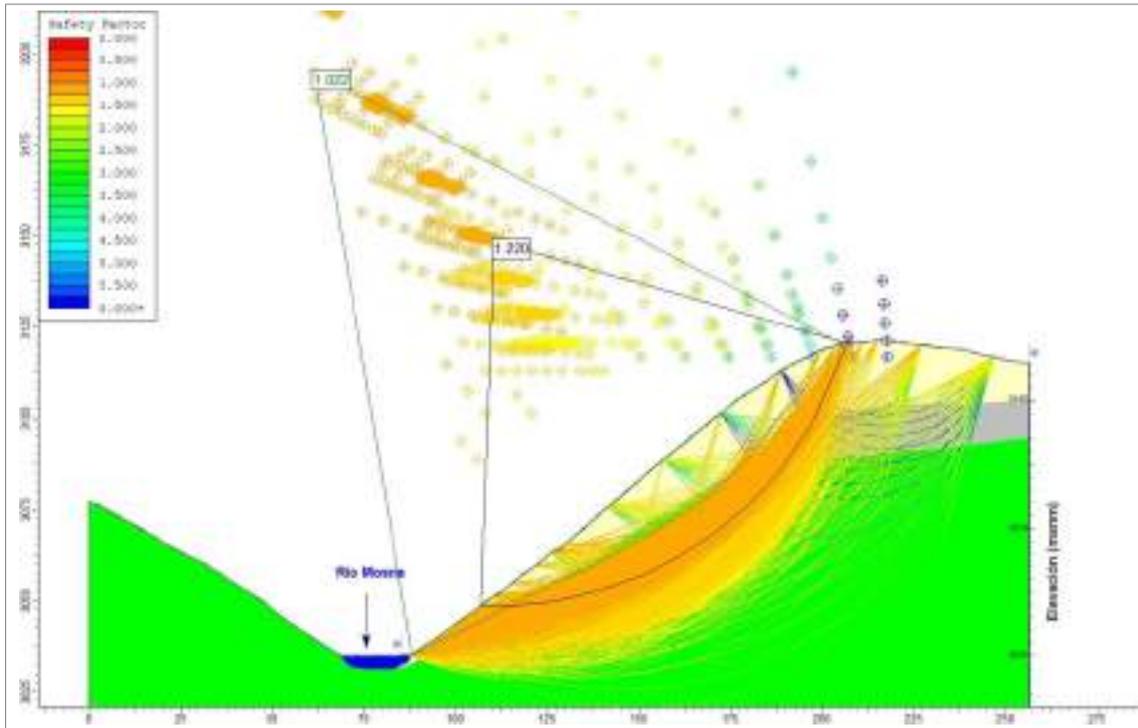


Figura 1: Perfil 1, resultado del análisis realizado en condiciones estáticas, pseudo-estáticas y dinámicas.

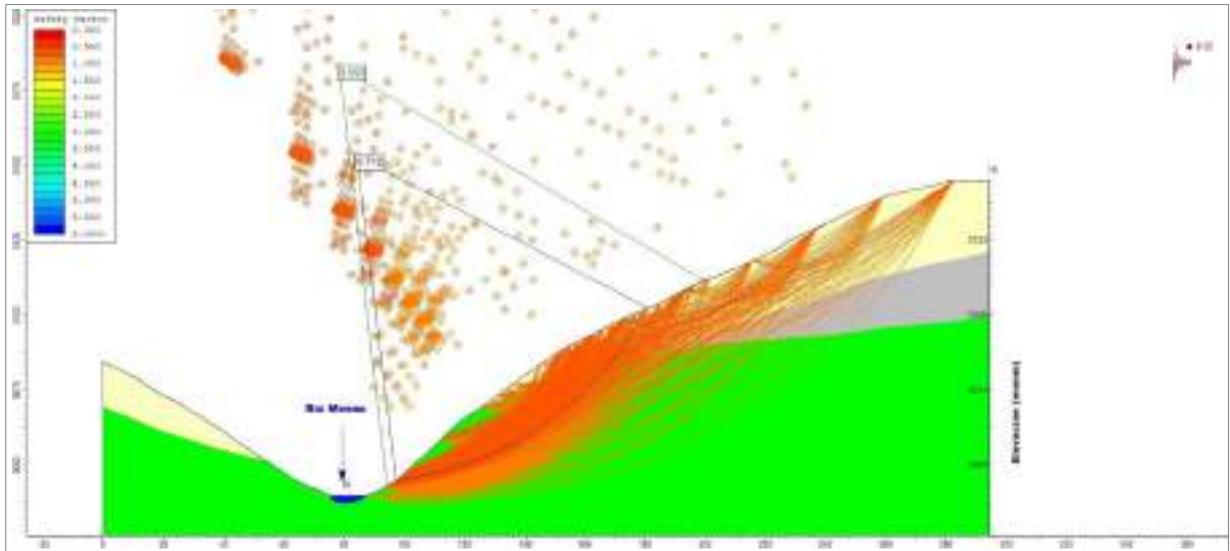
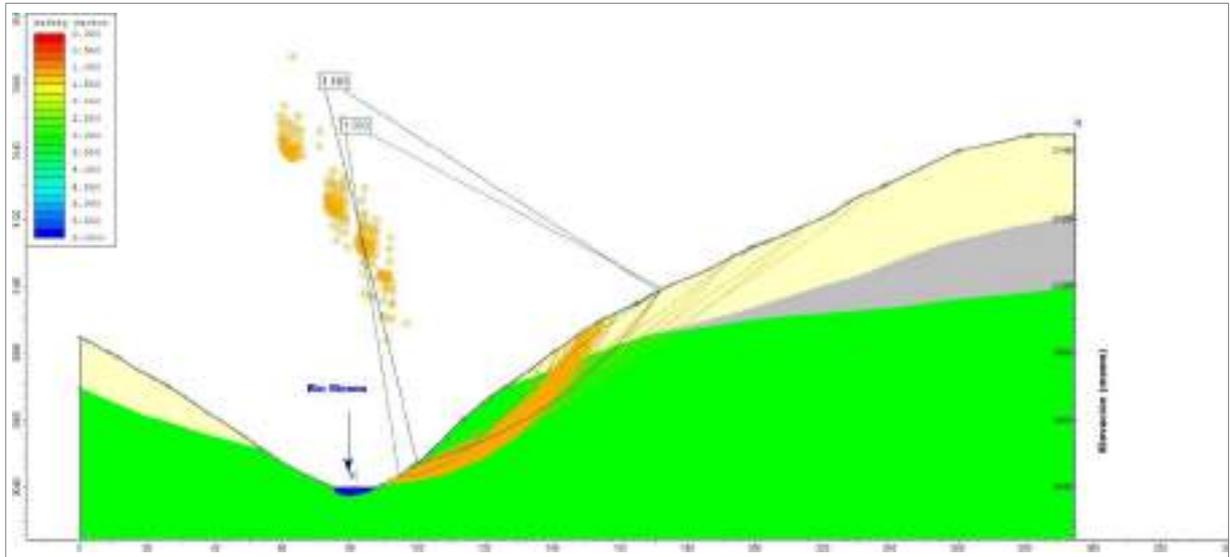


Figura 2: Perfil 2, resultado del análisis realizado en condiciones estáticas, pseudo-estáticas y dinámicas.

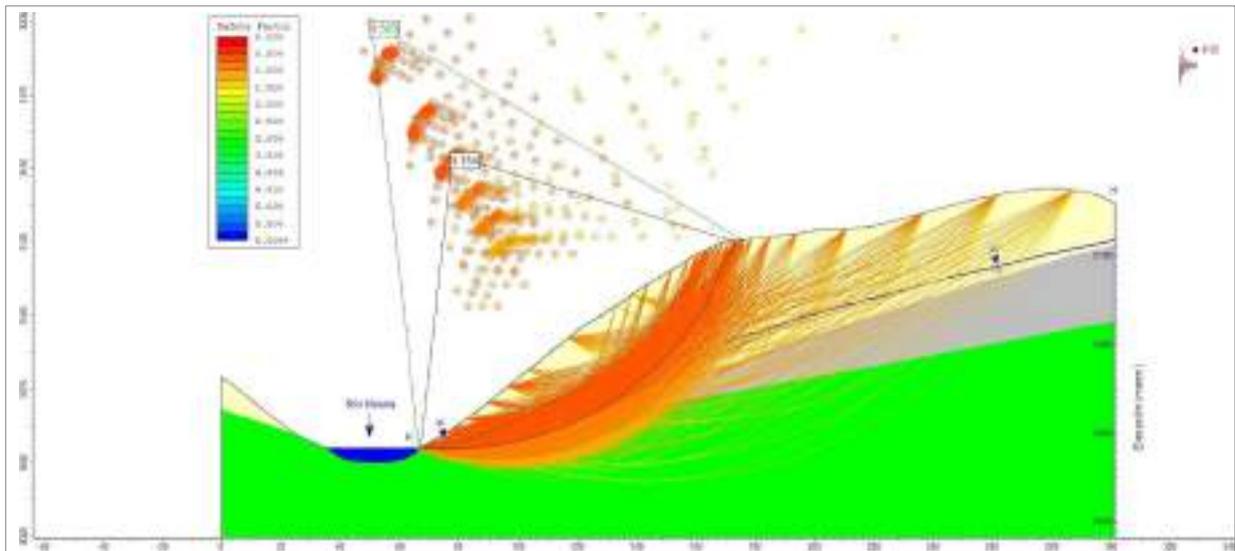
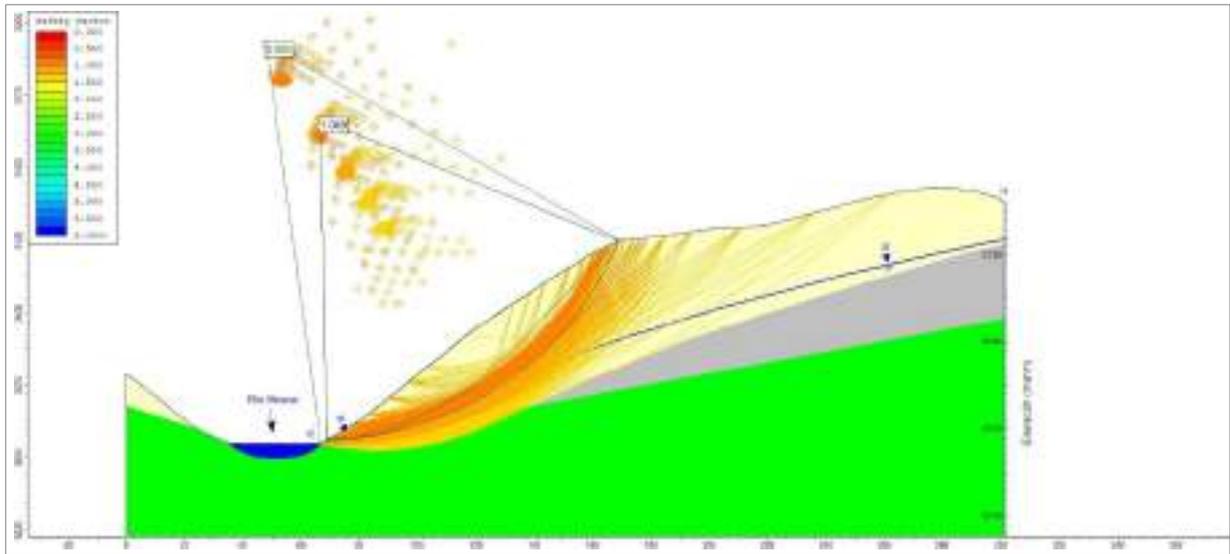


Figura 3: Perfil 3, resultado del análisis realizado en condiciones estáticas, pseudo-estáticas y dinámicas.

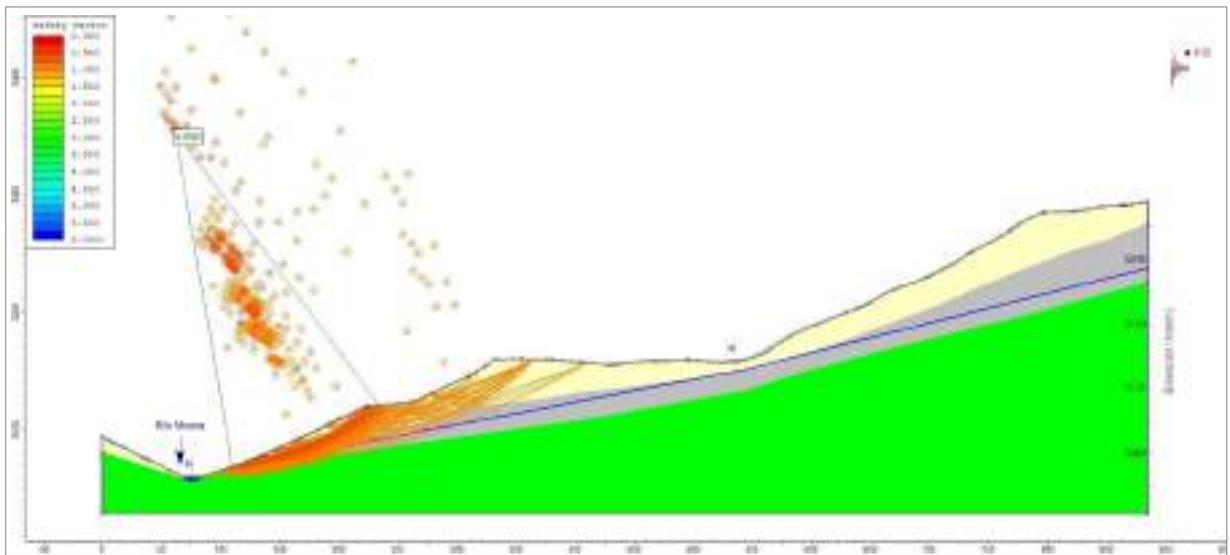
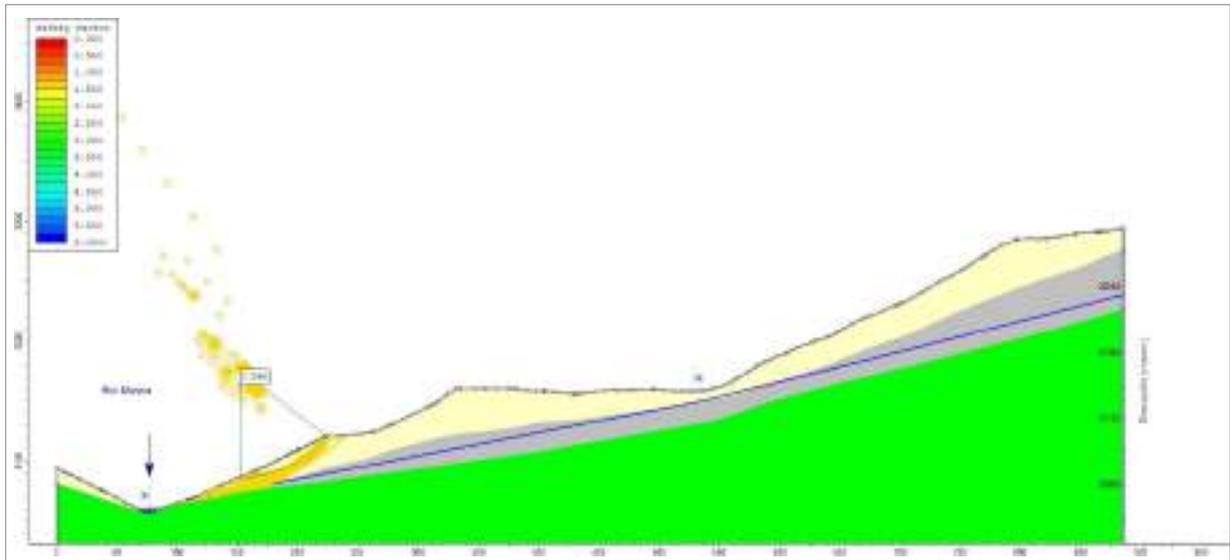


Figura 4: Perfil 5, resultado del análisis realizado en condiciones estáticas, pseudo-estáticas y dinámicas.

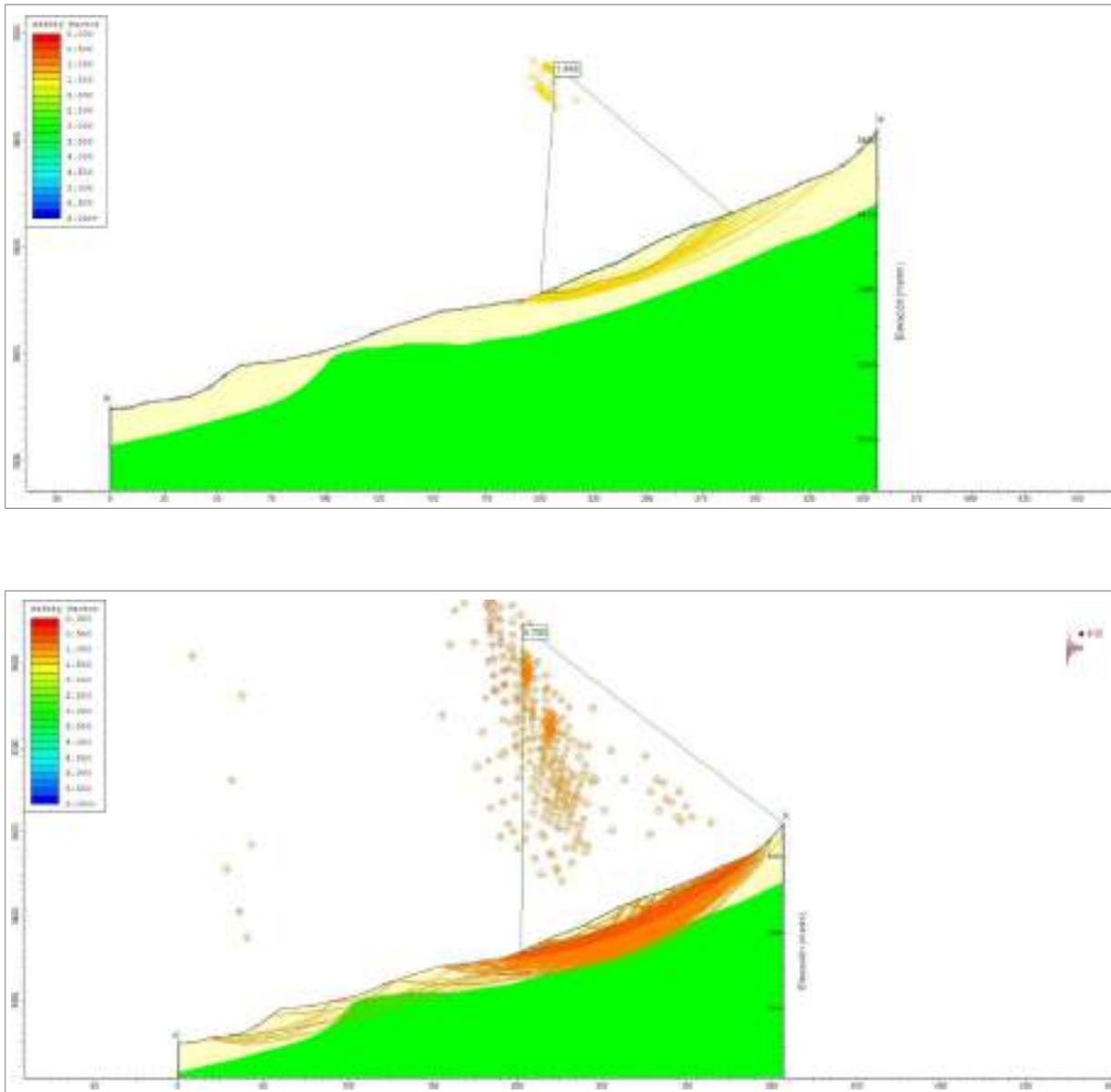


Figura 5: Perfil 7, resultado del análisis realizado en condiciones estáticas, pseudo-estáticas y dinámicas.

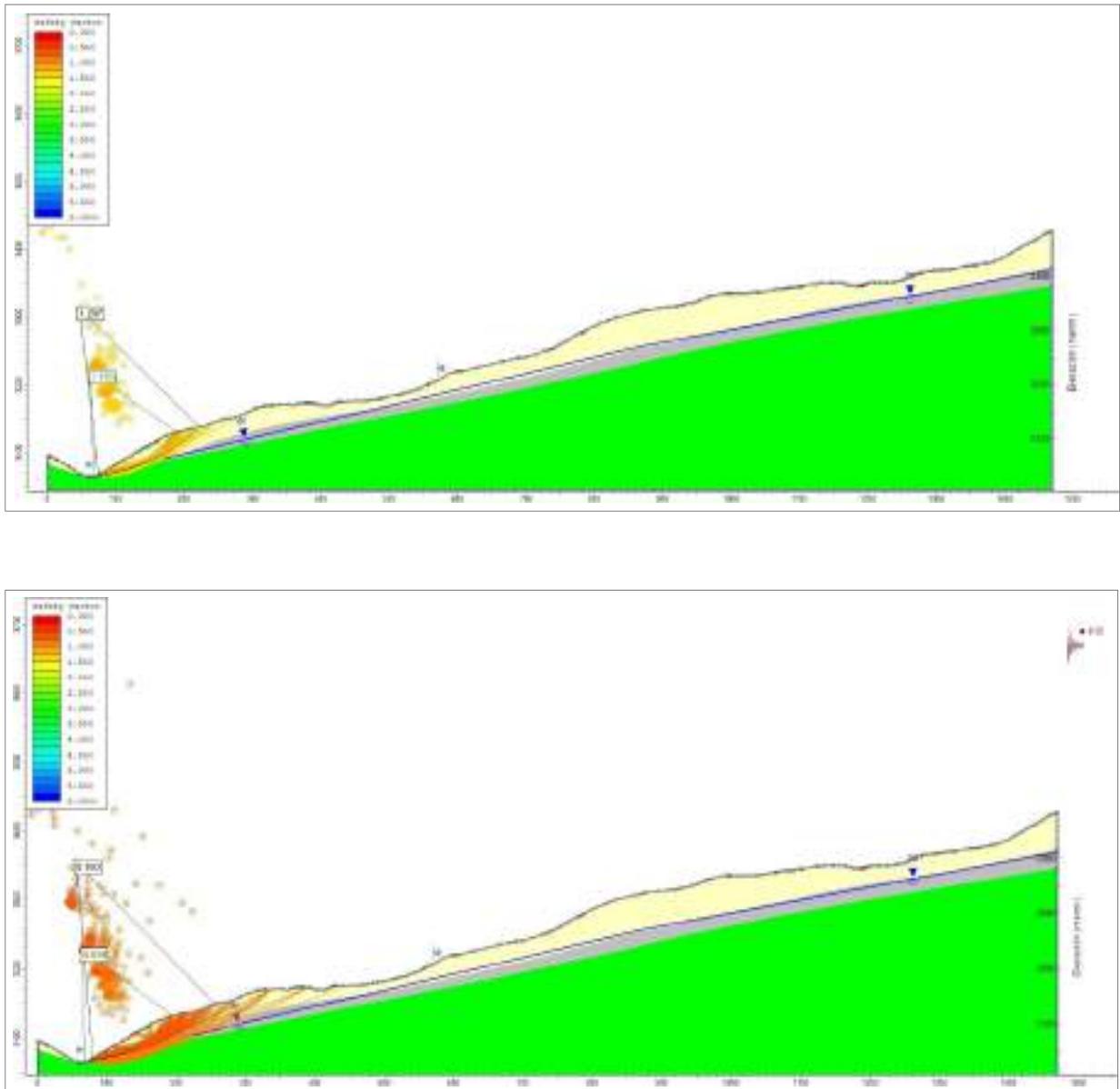


Figura 6: Perfil 8, resultado del análisis realizado en condiciones estáticas, pseudo-estáticas y dinámicas.

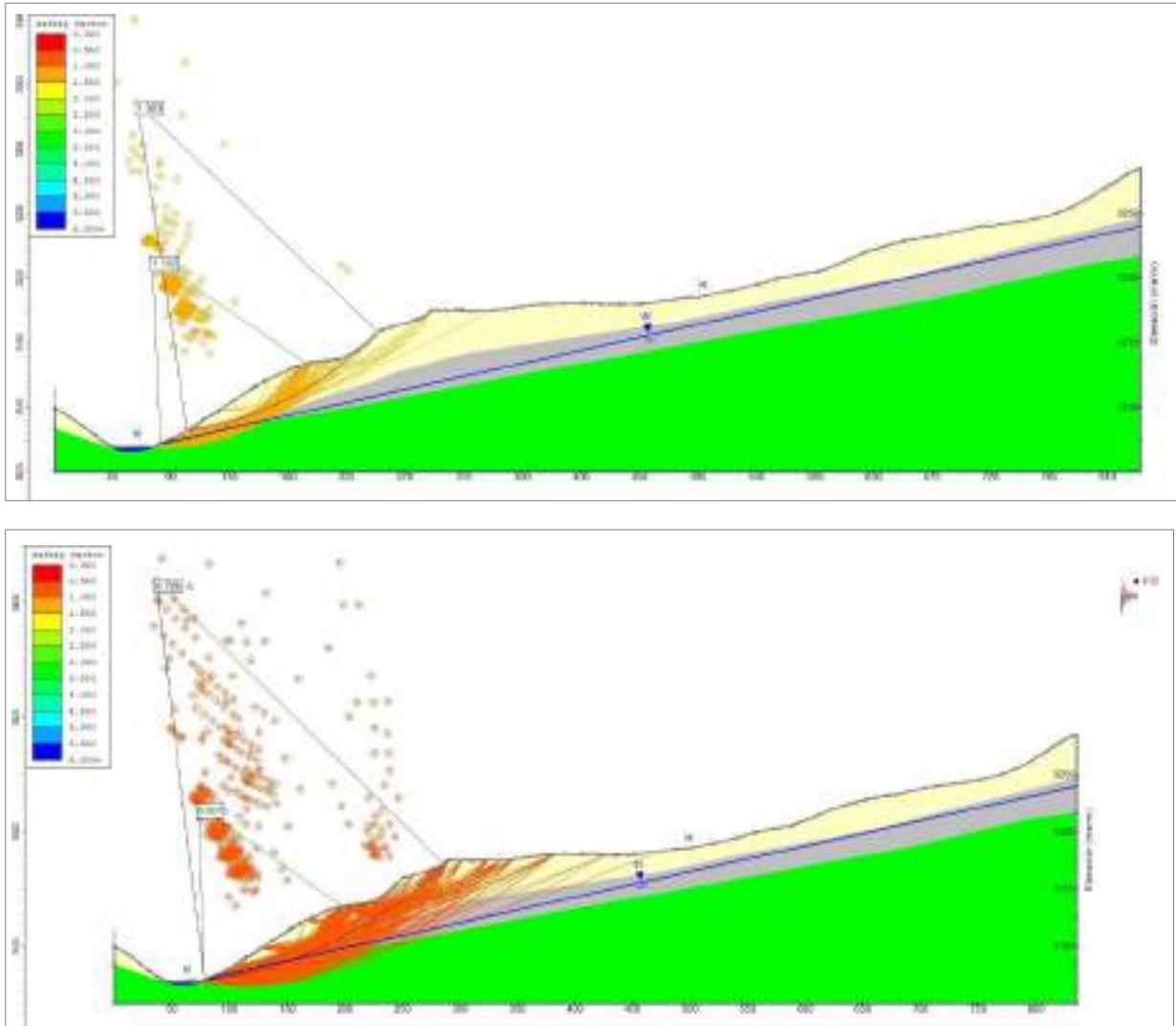


Figura 7: Perfil 9, resultado del análisis realizado en condiciones estáticas, pseudo-estáticas y dinámicas.

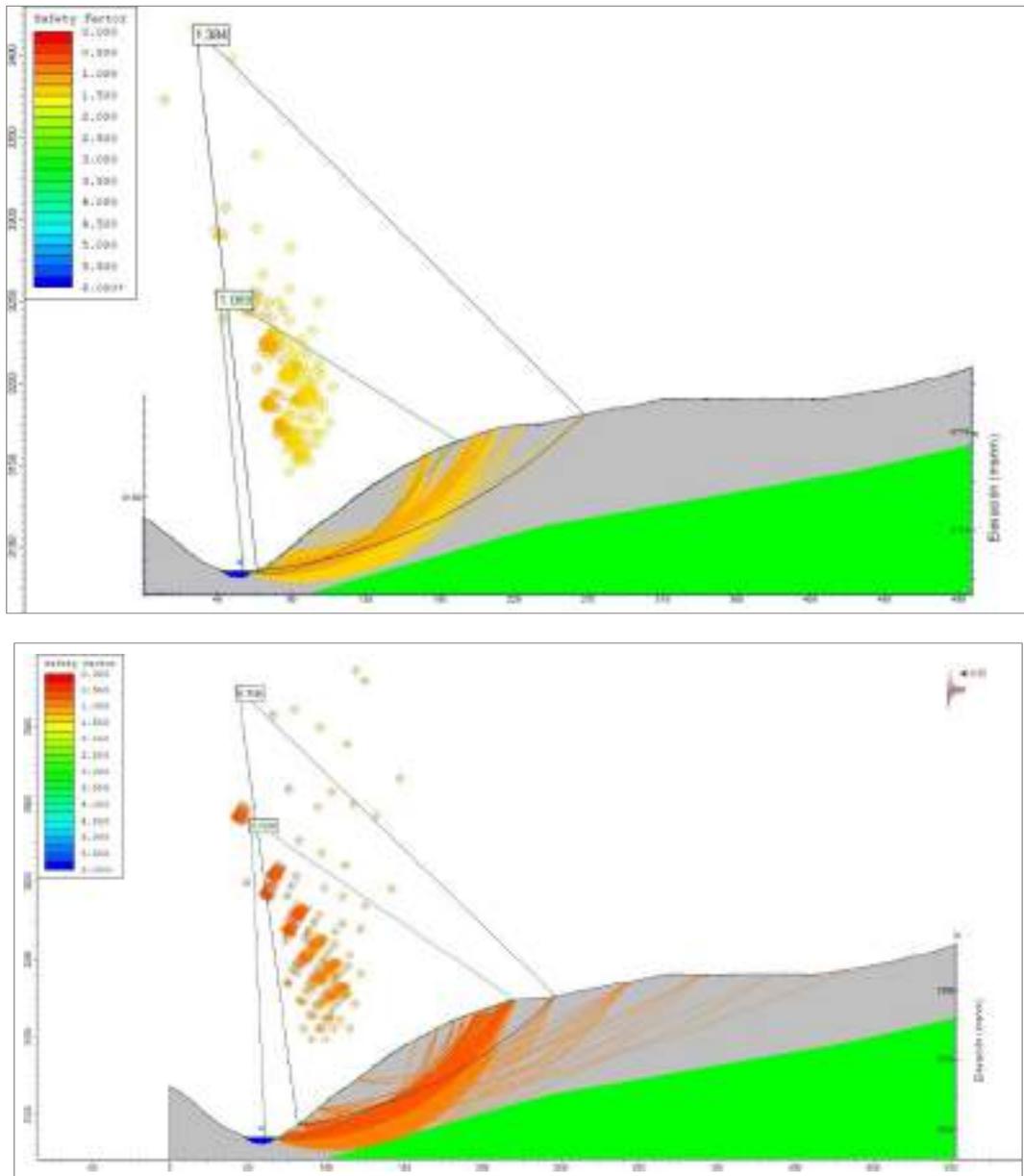


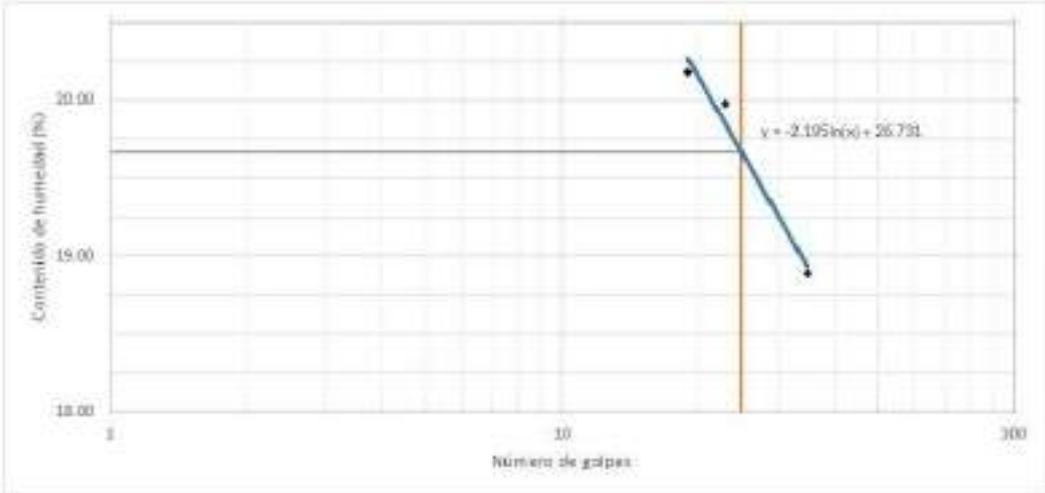
Figura 8: Perfil 11, resultado del análisis realizado en condiciones estáticas y pseudo-estáticas

ANEXO 4: RESULTADO DE ENSAYOS DE MECÁNICA DE SUELOS

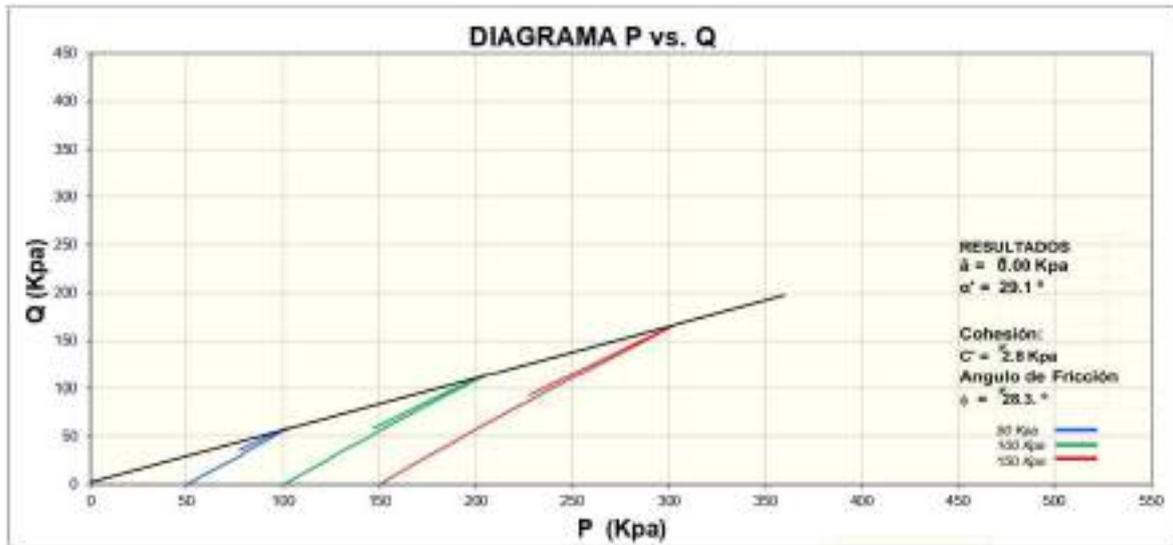
		ENSAYO DE PESO UNITARIO (METODO DE LA PARAFINA)		CODIGO T-6
PROYECTO:	SERVICIO DE ANALISIS DE SUELOS RECOLECTADOS - TRABAJOS DE CAMPO EN EL CASERIO MILLHURSH Y CENTRO POBLADO CHILLHUAYACO.	PROF. PSC:	6.00 m.	
SOLICITANTE:	Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico	RZSP:	E.W.M.P.	
MATERIAL:	suelo inalterado, con materia organica	TECNICO:	L.D.A.	
UBICACIÓN:	Colegn 8941649N 261307E	REGISTRADO POR:	L.D.A.	
CAUSADA:	T-E	FECHA:	3/07/2024	
MUESTRA:	T-E			

	I	II	II	PROMEDIO
PESO DE LA MUESTRA AL AIRE(gr)	101.74	---	---	
PESO DE LA MUESTRA PARAFINADA AL AIRE(gr)	105.23	---	---	
PESO DE LA MUESTRA PARAFINADA SUMERGIDA (gr)	41.14	---	---	
PESO ESPECIFICO RELATIVO DE LA PARAFINA(gr/cm ³)	0.88	---	---	
PESO DE LA PARAFINA (gr)	3.49	---	---	
VOLUMEN TOTAL DEL SUELO (cm ³)	64.09	---	---	
VOLUMEN DEL SUELO (cm ³)	60.12	---	---	
DENSIDAD DEL SUELO (gr/cm ³)	1.69	---	---	1.69

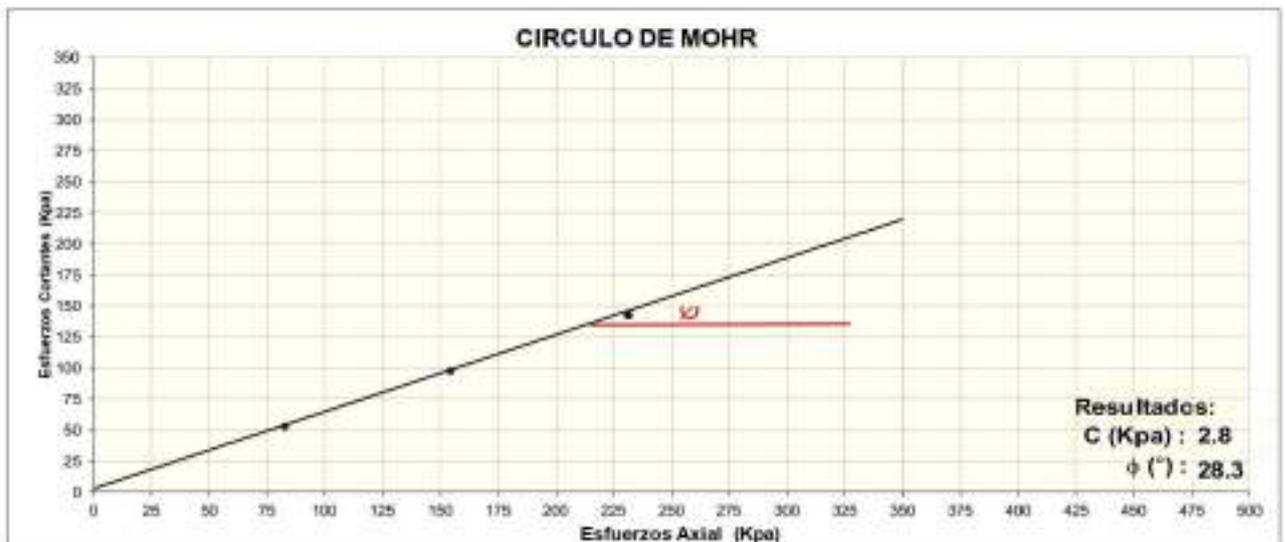
REVISO	APROBO	COPIA CONTROLADA 
WILBE MATOS ENRIQUEZ  WILBE S. MATOS ENRIQUEZ Gerente General GEOLOGIA SERVICE S.A.S.	ENRIQUE MATOS PALCAR 	

 DETERMINACION DE LIMITES DE CONSISTENCIA		CODIGO T-6																																									
PROYECTO:	SERVICIO DE ANÁLISIS DE SUELOS RECOLECTADOS - TRABAJOS DE CAMPO EN EL CASERÍO MILLHUISH Y CENTRO POBLADO CHALLHUAYACO	PROF (m): 5.00 m. RESP: E.W.M.P. TÉCNICO: L.O.A REALIZADO POR: L.O.A FECHA: 3/07/2024																																									
SOLICITANTE:	Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico																																										
MATERIAL:	suelo inalterado, con materia orgánica																																										
UBICACIÓN:	Colegio E041640N 201307E																																										
CLASIFICACIÓN:	T-6																																										
MUESTRA:	T-6																																										
LÍMITE PLÁSTICO																																											
MTC E 111 - 2000 / ASTM D - 4318																																											
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>N° de recipiente</th> <th>CP-10</th> <th>CP-01</th> <th>PROMEDIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Peso de recipiente (g)</td> <td>8.50</td> <td>8.16</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Peso de recipiente +suelo húmedo (g)</td> <td>19.57</td> <td>19.90</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Peso de recipiente+suelo seco (g)</td> <td>18.07</td> <td>18.35</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Peso de agua (g)</td> <td>1.49</td> <td>1.55</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Peso de suelo seco (g)</td> <td>9.57</td> <td>10.19</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Contenido de humedad (%)</td> <td>15.61</td> <td>15.23</td> <td>15.42</td> </tr> </tbody> </table>				N° de recipiente	CP-10	CP-01	PROMEDIO	Peso de recipiente (g)	8.50	8.16		Peso de recipiente +suelo húmedo (g)	19.57	19.90		Peso de recipiente+suelo seco (g)	18.07	18.35		Peso de agua (g)	1.49	1.55		Peso de suelo seco (g)	9.57	10.19		Contenido de humedad (%)	15.61	15.23	15.42												
N° de recipiente	CP-10	CP-01	PROMEDIO																																								
Peso de recipiente (g)	8.50	8.16																																									
Peso de recipiente +suelo húmedo (g)	19.57	19.90																																									
Peso de recipiente+suelo seco (g)	18.07	18.35																																									
Peso de agua (g)	1.49	1.55																																									
Peso de suelo seco (g)	9.57	10.19																																									
Contenido de humedad (%)	15.61	15.23	15.42																																								
LÍMITE LÍQUIDO																																											
MTC E 110 - 2000 / ASTM D - 4318																																											
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>N° de recipiente</th> <th>TP-08</th> <th>TM-03</th> <th>TP-14</th> <th></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Peso de recipiente (g)</td> <td>3.23</td> <td>3.45</td> <td>3.15</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Peso de recipiente +suelo húmedo (g)</td> <td>19.23</td> <td>22.78</td> <td>19.66</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Peso de recipiente+suelo seco (g)</td> <td>16.54</td> <td>19.56</td> <td>17.03</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Peso de agua (g)</td> <td>2.69</td> <td>3.22</td> <td>2.62</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Peso de suelo seco (g)</td> <td>13.31</td> <td>16.11</td> <td>13.89</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Contenido de humedad (%)</td> <td>20.38</td> <td>19.98</td> <td>18.89</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Número de golpes</td> <td>19</td> <td>23</td> <td>35</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>				N° de recipiente	TP-08	TM-03	TP-14		Peso de recipiente (g)	3.23	3.45	3.15		Peso de recipiente +suelo húmedo (g)	19.23	22.78	19.66		Peso de recipiente+suelo seco (g)	16.54	19.56	17.03		Peso de agua (g)	2.69	3.22	2.62		Peso de suelo seco (g)	13.31	16.11	13.89		Contenido de humedad (%)	20.38	19.98	18.89		Número de golpes	19	23	35	
N° de recipiente	TP-08	TM-03	TP-14																																								
Peso de recipiente (g)	3.23	3.45	3.15																																								
Peso de recipiente +suelo húmedo (g)	19.23	22.78	19.66																																								
Peso de recipiente+suelo seco (g)	16.54	19.56	17.03																																								
Peso de agua (g)	2.69	3.22	2.62																																								
Peso de suelo seco (g)	13.31	16.11	13.89																																								
Contenido de humedad (%)	20.38	19.98	18.89																																								
Número de golpes	19	23	35																																								
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tbody> <tr> <td>LÍMITE LÍQUIDO</td> <td>19.7</td> </tr> <tr> <td>LÍMITE PLÁSTICO</td> <td>15.4</td> </tr> <tr> <td>ÍNDICE PLÁSTICO</td> <td>4.2</td> </tr> </tbody> </table>		LÍMITE LÍQUIDO	19.7	LÍMITE PLÁSTICO	15.4	ÍNDICE PLÁSTICO	4.2																																				
LÍMITE LÍQUIDO	19.7																																										
LÍMITE PLÁSTICO	15.4																																										
ÍNDICE PLÁSTICO	4.2																																										
																																											
REVISÓ	APROBÓ																																										
WILSE MATOS ENRIQUEZ	ENRIQUE MATOS PAUCAR																																										
		COPIA CONTROLADA																																									

 Laboratorio de ensayos		ENSAYO DE COMPRESIÓN TRIAXIAL CU ASTM D - 4767		CODIGO
				T-5
PROYECTO:	SERVICIO DE ANÁLISIS DE SUELOS RECOLECTADOS - TRABAJOS DE CAMPO EN EL CASERIO MALLINAH Y CENTRO POBLADO SHALHAWACI	PROF (m):	11.00 m.	
SOLICITANTE:	Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico	RESP:	EMAFSA	
MATERIAL:	suelo fríasedoso, con materia orgánica	TECNICO:	LDA	
UBICACIÓN:	Mallinah 8942215h 281740E	REALIZADO POR:	LDA	
TRINCHERA:	T-5	FECHA:	6/07/2024	
MUESTRA:	T-5			



 Laboratorio de ensayos		ENSAYO DE COMPRESIÓN TRIAXIAL CU ASTM D - 4767		CODIGO
				T-5
PROYECTO:	SERVICIO DE ANÁLISIS DE SUELOS RECOLECTADOS - TRABAJOS DE CAMPO EN EL CASERIO MALLINAH Y CENTRO POBLADO SHALHAWACI	PROF (m):	11.00 m.	
SOLICITANTE:	Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico	RESP:	EMAFSA	
MATERIAL:	suelo fríasedoso, con materia orgánica	TECNICO:	LDA	
UBICACIÓN:	Mallinah 8942215h 281740E	REALIZADO POR:	LDA	
TRINCHERA:	T-5	FECHA:	6/07/2024	
MUESTRA:	T-5			



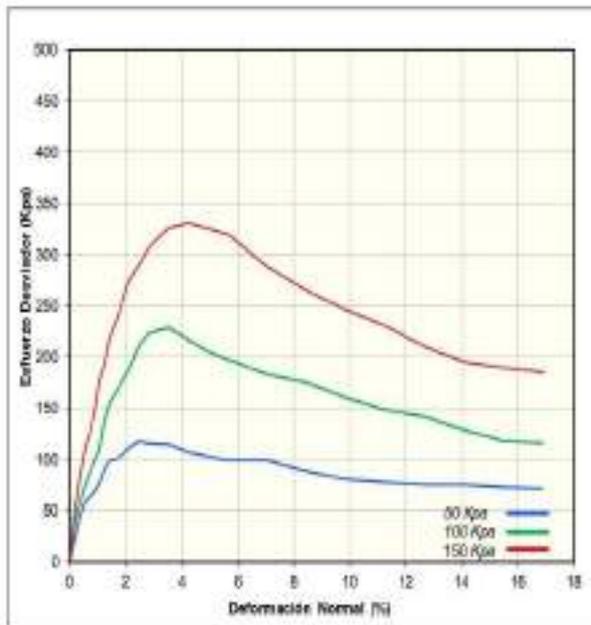
 Geología, Minería y Metalurgia		ENSAYO DE COMPRESIÓN TRIAXIAL CU ASTM D - 4767		CODIGO
				T-5
PROYECTO:	SERVICIO DE ANÁLISIS DE SUELOS RECOLECTADOS - TRABAJOS DE CAMPO EN EL CASERÍO MILHUISH Y CENTRO POBLADO CHALLHUAYACO	PROF. (m):	12.00 m.	
SOLICITANTE:	Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico	RESP:	E.W.M.P.	
MATERIAL:	suelo hulfurado, con materia orgánica	TECNICO:	L.D.A	
UBICACIÓN:	Milhuish 8342213N 263749E	REALIZADO POR:	L.D.A.	
TRINCHERA:	T-5	FECHA:	6/07/2008	
MUESTRA:	T-5			

Velocidad del ensayo : 0.5 mm/min

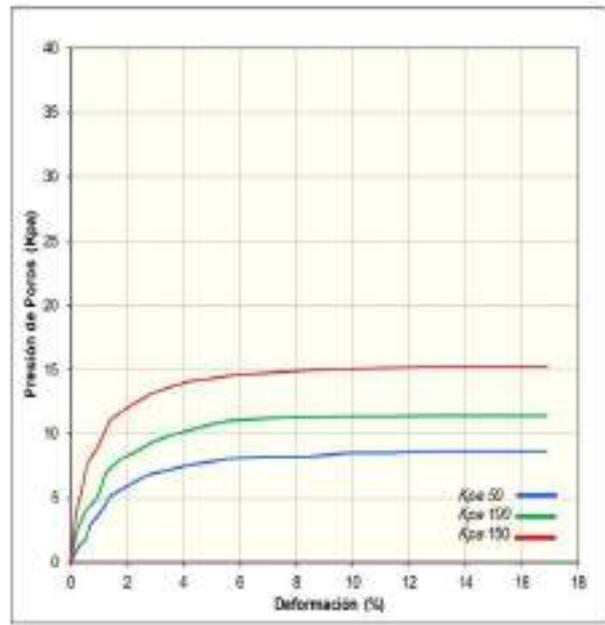
		ESPECIMEN		
		N° 1	N° 2	N° 3
		ESPECÍMENES		
Condiciones Iniciales	Und.	N°1	N°2	N°3
Diámetro	mm	71.53	71.53	71.53
Altura	mm	142.22	142.22	142.22
Área	mm ²	4018.52	4018.52	4018.52
Volumen	mm ³	571514.17	571514.17	571514.17
Densidad Húmeda	g/cm ³	1.75	1.75	1.75
Densidad seca	g/cm ³	1.68	1.68	1.68
Contenido de Humedad	%	6.7	6.3	6.4
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	2.367	2.411	2.369
Contenido de Humedad	%	7.7	7.9	7.6
Grado de Saturación	%	98.9	96.2	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	2.8		
Ángulo de Fricción (φ)	(°)	28.3		
Parámetros de Esfuerzos Totales Máximos				
Cohesión (C)	Kpa	2.3		
Ángulo de Fricción (φ)	(°)	27.20		

		ENSAYO DE COMPRESIÓN TRIAXIAL CU ASTM D - 4767		CÓDIGO T-5
PROYECTO: SERVIDIO DE ANÁLISIS DE SUELOS RECOLECTADOS - TRABAJOS DE CAMPO EN EL CASERIO MELLERUSH Y CENTRO PUEBLO CHALLHUERACCI	PROF (m): 12,58 m			
SOLICITANTE: Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico	RESP: E.W.M.P.			
MATERIAL: suelo multigránulo, con materia orgánica	TECNED: S.D.A			
UBICACIÓN: Mellersh 8882215N 211746E	REALIZADO: S.D.A			
TRENCHAS: T-3	POB:			
MUESTRA: T-1	FECHA: 6/07/2024			

DEFORMACION NORMAL VS ESFUERZO DEVIADOR



VARIACION DE LA PRESION DE POROS VS ESFUERZO DEVIADOR



		ENSAYO DE COMPRESIÓN TRIAXIAL CU ASTM D - 4767		CODIGO	
				T-5	
PROYECTO:	SERVICIO DE ANÁLISIS DE SUELOS RECOLECTADOS - TRABAJOS DE CAMPO EN EL CASERIO MILLHUISH Y CENTRO POBLADO CHALLHUAYACO	PROF. (m):	12.00 m.		
SOLICITANTE:	Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico	RESP:	E.W.M.P.		
MATERIAL:	suelo inalterado, con materia orgánica	TECNICO:	L.D.A.		
UBICACIÓN:	Millhuish 8942215N -261749E	REALIZADO POR:	L.D.A.		
TRINCHERA:	T-5	FECHA:	6/07/2024		
MUESTRA:	T-5				

ESPECIMEN N° 3

DATOS DEL ESPECIMEN			
Condiciones		Inicial	Final
Diámetro	(mm)	71.5	69.3
Altura	(mm)	142.2	118.2
Area	(mm ²)	4018.5	3773.4
Densidad Seca	(g/cm ³)	1.75	2.4
Contenido de Humedad	(%)	6.4	7.6
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 Presión	(Kpa)	330.0
Esf.Efectivo Inicial (σ'_3)	(Kpa)	150.0

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	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	326.0	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	466.6	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	229.6	94.8
16.92	185.1	15.204	150.0	335.1	134.8	319.9	242.6	92.6	227.4	92.6

	ENSAYO DE COMPRESIÓN TRIAXIAL CU ASTM D - 4767			CODIGO
				T-5
PROYECTO:	SERVICIO DE ANÁLISIS DE SUELOS RECOLECTADOS - TRABAJOS DE CAMPO EN EL CASERÍO MILLHUISH Y CENTRO POBLADO CHALLHUAYACO		PROF. (m):	12.00 m.
SOLICITANTE:	Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico		RESP:	E.W.M.P.
MATERIAL:	suelo inalterado, con materia orgánica		TECNICO:	L.D.A.
UBICACIÓN:	Millhuish	8942215N 261749E	REALIZADO POR:	L.D.A.
TRINCHERA:	T-5		FECHA:	6/07/2024
MUESTRA:	T-5			

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)	1.68	2.4
Contenido de Humedad	(%)	6.3	7.9
Grado de Saturación	(%)	25.0	98.2

DATOS DE ENSAYO		
Parámetro "B"	(%)	90.0
Hc	(mm)	142.0
Ac	(mm ²)	3096.4
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	196.5	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	9.67	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	294.8	202.7	102.7	192.0	102.7
5.63	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 COMPRESIÓN TRIAXIAL CU		CODIGO
	ASTM D - 4767		T-5
PROYECTO :	SERVICIO DE ANÁLISIS DE SUELOS RECOLECTADOS - TRABAJOS DE CAMPO EN EL CASERÍO MILLHUISH Y CENTRO POBLADO CHALLHUAYACO	PROF.(m):	12.00 m.
SOLICITANTE:	Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico	RESP:	E.W.M.P.
MATERIAL:	suelo inalterado, con materia orgánica	TECNICO:	L.D.A.
UBICACIÓN:	Millhuish 8942235N 261749E	REALIZADO POR:	L.D.A.
TRINCHERA:	T-5	FECHA:	6/07/2024
MUESTRA:	T-5		

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)	1.68	2.4
Contenido de Humedad (%)	6.7	7.7
Grado de Saturación (%)	26.8	98.9

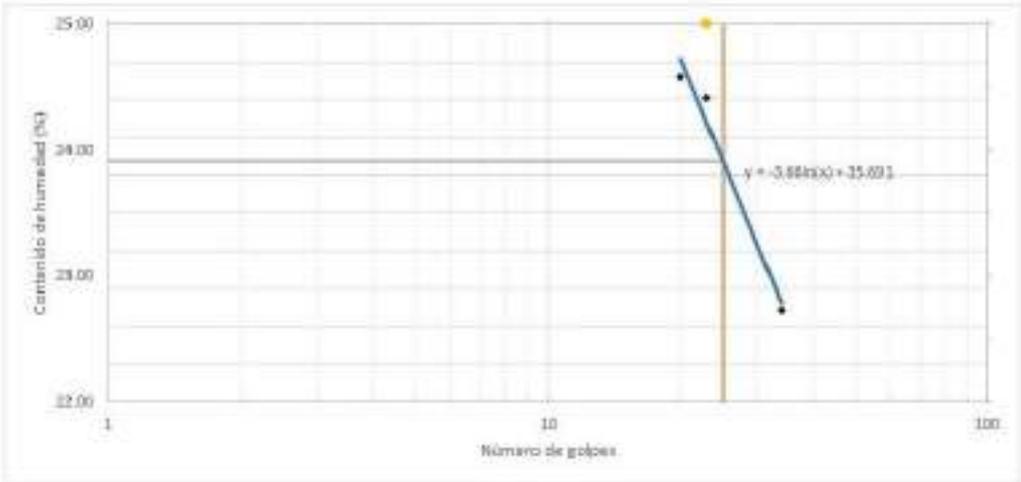
DATOS DE ENSAYO		
Parámetro "B"	(%)	90.0
Hc	(mm)	142.0
Ac	(mm ²)	3133.2
Velocidad de Carga	(mm/min)	0.5
Presión de celda	(Kpa)	380.0
Contra Presión	(Kpa)	330.0
Esf.Efectivo Inicial (σ_3)	(Kpa)	50.0

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	116.8	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 PESO UNITARIO (METODO DE LA PARAFINA)		CODIGO T-5
PROYECTO:	SERVICIO DE ANÁLISIS DE SUELOS RECOLECTADOS - TRABAJOS DE CAMPO EN EL CASERIO MILLHUISH Y CENTRO POBLADO CHALLHUAYACO		PROF. INJ:	12.00 m.
SOLICITANTE:	Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico	RISP:	E.W.M.P.	
MATERIAL:	suelo inalterado, con materia orgánica	TECNICO:	L.D.A.	
UBICACIÓN:	Milhuish	8942215N	261749E	REALIZADO POR: L.D.A.
CAJETA:	T-5	FECHA:	3/07/2024	
MUESTRA:	T-5			

	I	II	II	PROMEDIO
PESO DE LA MUESTRA AL AIRE (gr)	118.36	--	--	
PESO DE LA MUESTRA PARAFINADA AL AIRE (gr)	124.30	--	--	
PESO DE LA MUESTRA PARAFINADA SUMERGIDA (gr)	50.01	--	--	
PESO ESPECIFICO RELATIVO DE LA PARAFINA (gr/cm ³)	0.88	--	--	
PESO DE LA PARAFINA (gr)	5.94	--	--	
VOLUMEN TOTAL DEL SUELO (cm ³)	74.29	--	--	
VOLUMEN DEL SUELO (cm ³)	67.54	--	--	
DENSIDAD DEL SUELO (gr/cm ³)	1.75	--	--	1.75

REVISÓ	APROBÓ	COPIA CONTROLADA
WILBE MATOS ENRIQUEZ  WILBE S. MATOS ENRIQUEZ Gerente General GEOCORP SERVICE S.A.S.	ENRIQUE MATOS PAUCAR 	

 INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO		DETERMINACION DE LIMITES DE CONSISTENCIA		CODIGO T-5																																																	
PROYECTO:	SERVICIO DE ANÁLISIS DE SUELOS RECOLECTADOS - TRABAJOS DE CAMPO EN EL CASERIO MILDHUSH - CENTRO POBLADO CHALHUATACO	PROP. (m)	12.00 m																																																		
ELABORANTE:	Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico	RESP:	E.W.M.P.																																																		
MATERIA:	suelo inabonado, con materia orgánica	TECNICO:	I.D.A.																																																		
UNIDAD:	Milhuish 8942215M 2017-92	REALIZADO POR:	I.D.A.																																																		
CALCATA:	T-5	FECHA:	3/07/2024																																																		
MOJISTA:	T-5																																																				
LÍMITE PLÁSTICO MTC E 111 - 2000 / ASTM D - 4318																																																					
<table border="1"> <thead> <tr> <th>N° de recipiente</th> <th>CM-10</th> <th>CM-06</th> <th colspan="3">PROMEDIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Peso de recipiente (g)</td> <td>10.88</td> <td>10.49</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Peso de recipiente+suelo húmedo (g)</td> <td>23.29</td> <td>22.86</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Peso de recipiente+suelo seco (g)</td> <td>21.63</td> <td>21.20</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Peso de agua (g)</td> <td>1.66</td> <td>1.66</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Peso de suelo seco (g)</td> <td>10.75</td> <td>10.71</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Contenido de humedad (%)</td> <td>15.42</td> <td>15.48</td> <td></td> <td></td> <td>15.45</td> </tr> </tbody> </table>						N° de recipiente	CM-10	CM-06	PROMEDIO			Peso de recipiente (g)	10.88	10.49				Peso de recipiente+suelo húmedo (g)	23.29	22.86				Peso de recipiente+suelo seco (g)	21.63	21.20				Peso de agua (g)	1.66	1.66				Peso de suelo seco (g)	10.75	10.71				Contenido de humedad (%)	15.42	15.48			15.45						
N° de recipiente	CM-10	CM-06	PROMEDIO																																																		
Peso de recipiente (g)	10.88	10.49																																																			
Peso de recipiente+suelo húmedo (g)	23.29	22.86																																																			
Peso de recipiente+suelo seco (g)	21.63	21.20																																																			
Peso de agua (g)	1.66	1.66																																																			
Peso de suelo seco (g)	10.75	10.71																																																			
Contenido de humedad (%)	15.42	15.48			15.45																																																
LÍMITE LÍQUIDO MTC E 110 - 2000 / ASTM D - 4318																																																					
<table border="1"> <thead> <tr> <th>N° de recipiente</th> <th>TP-05</th> <th>TP-09</th> <th>TP-06</th> <th colspan="2"></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Peso de recipiente (g)</td> <td>3.15</td> <td>3.25</td> <td>2.55</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Peso de recipiente+suelo húmedo (g)</td> <td>18.04</td> <td>15.44</td> <td>14.10</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Peso de recipiente+suelo seco (g)</td> <td>15.10</td> <td>13.05</td> <td>11.96</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Peso de agua (g)</td> <td>2.94</td> <td>2.39</td> <td>2.14</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Peso de suelo seco (g)</td> <td>11.95</td> <td>9.80</td> <td>9.41</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Contenido de humedad (%)</td> <td>24.58</td> <td>24.41</td> <td>22.73</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Número de golpes</td> <td>20</td> <td>23</td> <td>34</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>						N° de recipiente	TP-05	TP-09	TP-06			Peso de recipiente (g)	3.15	3.25	2.55			Peso de recipiente+suelo húmedo (g)	18.04	15.44	14.10			Peso de recipiente+suelo seco (g)	15.10	13.05	11.96			Peso de agua (g)	2.94	2.39	2.14			Peso de suelo seco (g)	11.95	9.80	9.41			Contenido de humedad (%)	24.58	24.41	22.73			Número de golpes	20	23	34		
N° de recipiente	TP-05	TP-09	TP-06																																																		
Peso de recipiente (g)	3.15	3.25	2.55																																																		
Peso de recipiente+suelo húmedo (g)	18.04	15.44	14.10																																																		
Peso de recipiente+suelo seco (g)	15.10	13.05	11.96																																																		
Peso de agua (g)	2.94	2.39	2.14																																																		
Peso de suelo seco (g)	11.95	9.80	9.41																																																		
Contenido de humedad (%)	24.58	24.41	22.73																																																		
Número de golpes	20	23	34																																																		
<table border="1"> <tbody> <tr> <td>LÍMITE LÍQUIDO</td> <td>23.9</td> </tr> <tr> <td>LÍMITE PLÁSTICO</td> <td>15.5</td> </tr> <tr> <td>ÍNDICE PLÁSTICO</td> <td>8.5</td> </tr> </tbody> </table>						LÍMITE LÍQUIDO	23.9	LÍMITE PLÁSTICO	15.5	ÍNDICE PLÁSTICO	8.5																																										
LÍMITE LÍQUIDO	23.9																																																				
LÍMITE PLÁSTICO	15.5																																																				
ÍNDICE PLÁSTICO	8.5																																																				
																																																					
REVISÓ WILBER MATOS ENRIQUETA		APROBÓ ENRIQUE MATOS PAUCAR																																																			
				COPIA CONTROLADA																																																	

INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO		ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO MTC E107-2000 / ASTM D - 422		CODIGO T-5	
PROYECTO:	SERVICIO DE ANÁLISIS DE SUELOS RECOLECTADOS - TRABAJOS DE CAMPO EN EL CASERO MILHUSH Y CENTRO EDIFICADO CHALMAYACO	ALCANTARILLO:	13.00 m.		
ELABORANTE:	Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico	ANÁLISIS:	E.W.M.P.		
MATERIAL:	suelo inerte, con materia orgánica	TECNICO:	L.D.A.		
UBICACIÓN:	Milhuash 8042310N 281740E	REALIZADO POR:	L.D.A.		
TÍTULO:	T-5	FECHA:	3/07/2024		
MUESTRA:	T-5				
FRACCIÓN GRUESA					
Peso Total (gr): 8155.00					
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	0.0	0.00	0.00	100.00
3/4"	19	58.3	0.72	0.72	99.28
1/2"	12.5	151.3	1.86	2.57	97.42
3/8"	9.5	349.1	4.26	6.83	93.17
N° 4	4.75	1500.1	18.40	24.03	75.97
FRACCIÓN FINA					
Malla	Abertura (mm)	Peso Retenido (gr)	% Parcial Retenido (gr)	% ACUMULADO	
				Retenido	Que Pasa
N° 10	2	845.5	10.38	34.81	65.19
N° 20	0.85	1204.4	14.65	52.46	47.54
N° 30	0.59	449.1	5.51	58.18	41.82
N° 40	0.43	257.1	3.15	61.46	38.54
N° 60	0.25	235.4	2.89	64.46	35.54
N° 100	0.15	446.0	5.47	67.15	32.85
N° 200	0.075	275.8	3.38	70.66	29.34
FONDO		1301.1	15.96	100.00	0.00
TOTAL				100.00	
CONTENIDO DE HUMEDAD DE SUELOS - MTC E 108 - 2000					
N° Del Recipiente	CHM-05				
Peso Del Recipiente (gr)	95				
Peso Del Recipiente + Suelo Húmedo (gr)	396				
Peso Del Recipiente + Suelo Seco (gr)	379				
Peso Del Agua Contendida (gr)	17				
Peso Del Suelo Seco (gr)	284				
Contenido De Humedad (%)	5.99				
Contenido De Humedad (%) :	5.99				
D ₁₀	—				
D ₃₀	—				
D ₆₀	—				
Coefficiente de Uniformidad (Cu)	—				
Coefficiente de Curvatura (Cc)	—				
Límite Líquido (LL)	23.0				
Límite Plástico (LP)	15.5				
Índice de plasticidad (PI)	8.5				
CLASIFICACIÓN SUCS					
Arena arcillosa con grava SC					
CLASIFICACIÓN AASHTO					
A-2-4 Grava y arena arcillosa o limosa					

CURVA GRANULOMÉTRICA

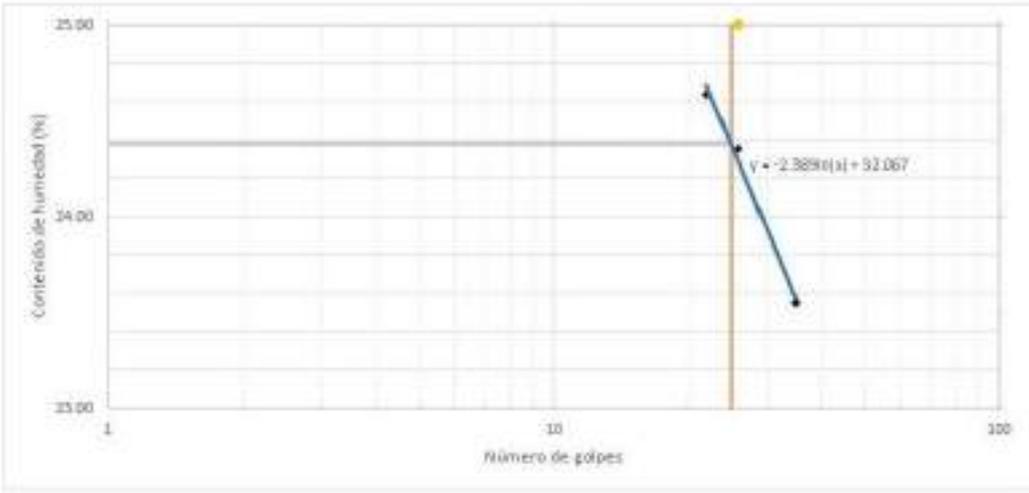
Dímetro del tamiz (mm)

NOTA:
 Presencia de materia orgánica.
 No presenta coeficiente de curvatura ni uniformidad, por la falta de gradación del suelo, la mayor parte es material cohesivo.

 ingeniería servicios <small>S.A.C.</small>		ENSAYO DE PESO UNITARIO (METODO DE LA PARAFINA)		CODIGO T-4
PROYECTO:	SERVICIO DE ANÁLISIS DE SUELOS RECOLECTADOS - TRABAJOS DE CAMPO EN EL CASERÍO MILLHUASH Y CENTRO POBLADO CHALLHUAYACO	PROF. (gr):	NA	
SOLICITANTE:	Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico	RESP:	E.W.M.P.	
MATERIAL:	suelo inalterado, con materia orgánica	TÉCNICO:	I.O.A.	
UBICACIÓN:	Quebrada	8943839N	261934E	REALIZADO POR: I.O.A.
CAUSATA:	T-4	FECHA:	3/07/2024	
MUESTRA:	T-4			

	I	II	III	PROMEDIO
PESO DE LA MUESTRA AL AIRE (gr)	115.36	—	—	
PESO DE LA MUESTRA PARAFINADA AL AIRE (gr)	128.30	—	—	
PESO DE LA MUESTRA PARAFINADA SUMERGIDA (gr)	47.32	—	—	
PESO ESPECÍFICO RELATIVO DE LA PARAFINA (gr/cm ³)	0.88	—	—	
PESO DE LA PARAFINA (gr)	12.94	—	—	
VOLUMEN TOTAL DEL SUELO (cm ³)	80.98	—	—	
VOLUMEN DEL SUELO (cm ³)	66.28	—	—	
DENSIDAD DEL SUELO (gr/cm ³)	1.74	—	—	1.74

REVISO	APROBO		COPIA CONTROLADA
WILBE MATOS ENRIQUEZ	ENRIQUE MATOS PAUCAR		
			

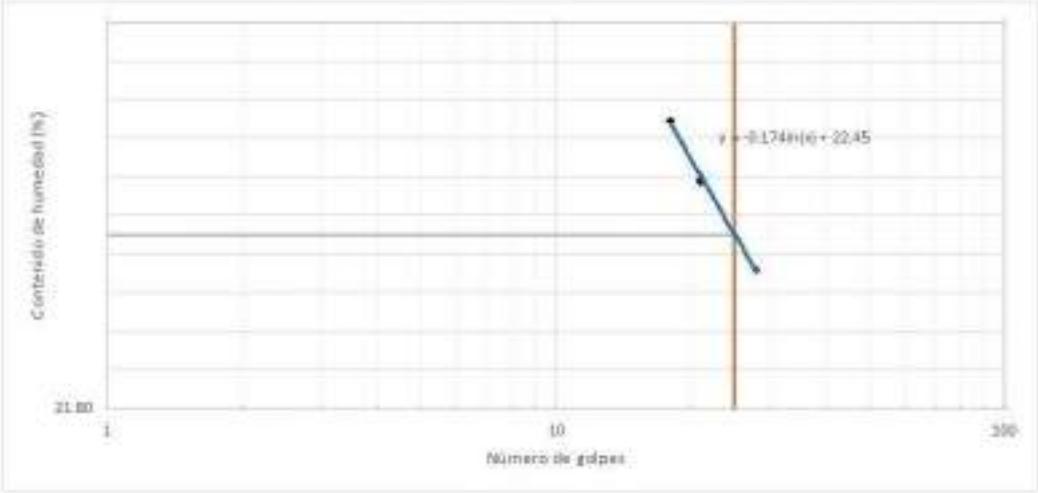
 SERVICIO TÉCNICO		DETERMINACION DE LIMITES DE CONSISTENCIA		CODIGO T-4																																									
PROYECTO:	SERVICIO DE ANÁLISIS DE SUELOS RECOLECTADOS - TRABAJOS DE CAMPO EN EL CASERIO MILLHUSH Y CENTRO POBLADO CHALHUAYACO	PROF (m):	NA																																										
CLIENTE:	Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico	RESP:	E.W.M.P.																																										
MATERIAL:	suelo inalterado, con materia orgánica	TOMO:	L.D.A																																										
UBICACIÓN:	Quebrada 8941889N 261934E	REALIZADO POR:	L.D.A																																										
CALCULO:	T-4	FECHA:	3/07/2024																																										
MUESTRA:	T-4																																												
LÍMITE PLÁSTICO MTC E 111 - 2000 / ASTM D - 4318																																													
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>N° de recipiente</th> <th>CM-01</th> <th>CM-02</th> <th></th> <th>PROMEDIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Peso de recipiente (g)</td> <td>10.89</td> <td>10.52</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Peso de recipiente+suelo húmedo (g)</td> <td>22.29</td> <td>21.86</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Peso de recipiente+suelo seco (g)</td> <td>20.63</td> <td>20.20</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Peso de agua (g)</td> <td>1.66</td> <td>1.66</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Peso de suelo seco (g)</td> <td>9.74</td> <td>9.68</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Contenido de humedad (%)</td> <td>17.03</td> <td>17.13</td> <td></td> <td>17.08</td> </tr> </tbody> </table>						N° de recipiente	CM-01	CM-02		PROMEDIO	Peso de recipiente (g)	10.89	10.52			Peso de recipiente+suelo húmedo (g)	22.29	21.86			Peso de recipiente+suelo seco (g)	20.63	20.20			Peso de agua (g)	1.66	1.66			Peso de suelo seco (g)	9.74	9.68			Contenido de humedad (%)	17.03	17.13		17.08					
N° de recipiente	CM-01	CM-02		PROMEDIO																																									
Peso de recipiente (g)	10.89	10.52																																											
Peso de recipiente+suelo húmedo (g)	22.29	21.86																																											
Peso de recipiente+suelo seco (g)	20.63	20.20																																											
Peso de agua (g)	1.66	1.66																																											
Peso de suelo seco (g)	9.74	9.68																																											
Contenido de humedad (%)	17.03	17.13		17.08																																									
LÍMITE LÍQUIDO MTC E 110 - 2000 / ASTM D - 4318																																													
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>N° de recipiente</th> <th>TP-04</th> <th>TP-11</th> <th>TP-07</th> <th></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Peso de recipiente (g)</td> <td>3.18</td> <td>3.23</td> <td>2.88</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Peso de recipiente+suelo húmedo (g)</td> <td>18.04</td> <td>15.44</td> <td>14.30</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Peso de recipiente+suelo seco (g)</td> <td>15.10</td> <td>13.05</td> <td>11.96</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Peso de agua (g)</td> <td>2.94</td> <td>2.39</td> <td>2.34</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Peso de suelo seco (g)</td> <td>11.92</td> <td>9.82</td> <td>9.09</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Contenido de humedad (%)</td> <td>24.64</td> <td>24.35</td> <td>25.55</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Número de golpes</td> <td>22</td> <td>26</td> <td>35</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>						N° de recipiente	TP-04	TP-11	TP-07		Peso de recipiente (g)	3.18	3.23	2.88		Peso de recipiente+suelo húmedo (g)	18.04	15.44	14.30		Peso de recipiente+suelo seco (g)	15.10	13.05	11.96		Peso de agua (g)	2.94	2.39	2.34		Peso de suelo seco (g)	11.92	9.82	9.09		Contenido de humedad (%)	24.64	24.35	25.55		Número de golpes	22	26	35	
N° de recipiente	TP-04	TP-11	TP-07																																										
Peso de recipiente (g)	3.18	3.23	2.88																																										
Peso de recipiente+suelo húmedo (g)	18.04	15.44	14.30																																										
Peso de recipiente+suelo seco (g)	15.10	13.05	11.96																																										
Peso de agua (g)	2.94	2.39	2.34																																										
Peso de suelo seco (g)	11.92	9.82	9.09																																										
Contenido de humedad (%)	24.64	24.35	25.55																																										
Número de golpes	22	26	35																																										
<table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr> <td>LÍMITE LÍQUIDO</td> <td>24.4</td> </tr> <tr> <td>LÍMITE PLÁSTICO</td> <td>17.1</td> </tr> <tr> <td>ÍNDICE PLÁSTICO</td> <td>7.3</td> </tr> </table>						LÍMITE LÍQUIDO	24.4	LÍMITE PLÁSTICO	17.1	ÍNDICE PLÁSTICO	7.3																																		
LÍMITE LÍQUIDO	24.4																																												
LÍMITE PLÁSTICO	17.1																																												
ÍNDICE PLÁSTICO	7.3																																												
																																													
REVISÓ WILBE MATOS ENRIQUEZ  WILBE MATOS ENRIQUEZ GEOTECHNICAL ENGINEER -Ingemmet S.A.C.		APROBÓ ENRIQUE MATOS PAUCAR 		COPIA CONTROLADA 04																																									

	ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO MTC E107-2000 / ASTM D - 422	CÓDIGO T-4						
PROYECTO: SERVICIO DE ANÁLISIS DE SUELOS RECIPIENTADOS - TRABAJOS DE CAMPO EN EL CASERIO MILDUSH Y CENTRO POBLADO DHALHUMARADO	RESP. IN: RA							
INSTITUTO: Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico	RESP.: E.W.M.R.							
MUESTRA: suelo (laborado, con materia orgánica)	TOMADO: L.D.A.							
UBICACIÓN: Quevedo: 894338N 261934E	REALIZADO POR: L.D.A.							
PROYECTO: T-4	FECHA: 3/07/2014							
MUESTRA: T-4								
FRACCIÓN GRUESA								
Peso Total (gr): 6729.00								
Malla	Abertura (mm)	Peso Retenido (gr)	% Parcial Retenido (gr)	% ACUMULADO				
				Retenido	Que Pasa			
3"	75	0.0	0.00	0.00	100.00			
1"	50	0.0	0.00	0.00	100.00			
1 1/2"	37.5	302.4	4.49	4.49	95.51			
1"	25	306.1	4.55	9.04	90.96			
3/4"	18	485.4	7.21	16.26	83.74			
1/2"	12.5	572.2	8.50	24.76	75.24			
3/8"	9.5	430.1	6.39	31.15	68.85			
N° 4	4.75	728.0	10.82	41.97	58.03			
CONTENIDO DE HUMEDAD DE SUELOS								
MTC E 108 - 2000								
N° Del Recipiente	CHM-07							
Peso Del Recipiente (gr)	94							
Peso Del Recipiente + Suelo (húmedo) (gr)	892							
Peso Del Recipiente + Suelo Seco (gr)	875							
Peso Del Agua (contenido) (gr)	18							
Peso Del Suelo Seco (gr)	779							
Contenido De Humedad (%)	2.44							
Contenido De Humedad (%) :	2.44							
FRACCIÓN FINA								
Malla	Abertura (mm)	Peso Retenido (gr)	% Parcial Retenido (gr)	% ACUMULADO				
				Retenido	Que Pasa			
N° 10	2	394.4	5.86	48.08	51.92			
N° 20	0.85	661.9	9.84	58.32	41.68			
N° 30	0.59	251.9	3.74	62.22	37.78			
N° 40	0.43	160.1	2.38	64.70	35.30			
N° 60	0.25	150.2	2.23	67.12	32.88			
N° 100	0.15	322.1	4.79	69.69	30.31			
N° 200	0.075	230.9	3.43	72.95	27.05			
PODOSO		1747.4	25.98	100.00	0.00			
TOTAL				100.00				
D ₁₀	—							
D ₃₀	—							
D ₆₀	—							
Coefficiente de Uniformidad (Cu)	—							
Coefficiente de Curvatura (Cc)	—							
Límite Líquido (LL)	24.4							
Límite Plástico (LP)	17.1							
Índice de plasticidad (IP)	7.3							
			<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="2">CLASIFICACIÓN SUCS</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td colspan="2">Grava arcillosa con arena GC</td> </tr> </tbody> </table>		CLASIFICACIÓN SUCS		Grava arcillosa con arena GC	
CLASIFICACIÓN SUCS								
Grava arcillosa con arena GC								
			<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="2">CLASIFICACIÓN AASHTO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td colspan="2">A-2-4 Grava y arena arcillosa o limosa</td> </tr> </tbody> </table>		CLASIFICACIÓN AASHTO		A-2-4 Grava y arena arcillosa o limosa	
CLASIFICACIÓN AASHTO								
A-2-4 Grava y arena arcillosa o limosa								
CURVA GRANULOMÉTRICA								
REVISÓ WILBERMOTOS ENRIQUETA			APROBÓ ENRIQUE MANTOS PAUCAR					
								
			COPIA CONTROLADA					

	ENSAYO DE PESO UNITARIO (METODO DE LA PARAFINA)			CÓDIGO
				T-1
PROYECTO:	SERVICIO DE ANÁLISIS DE SUELOS RECOLECTADOS - TRABAJOS DE CAMPO EN EL CASERIO MILLHUISH Y CENTRO POBLADO CHALLHUAYACO	PROF(m):	7.00 m.	
SOLICITANTE:	Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico	RESP:	E.W.M.F.	
MATERIAL:	suelo inalterado, con materia orgánica	TECNICO:	L.D.A.	
UBICACIÓN:	Vista Alegre	8941511N	262891E	REALIZADO POR: L.D.A.
CAUSAL:	T-1	FECHA:	3/07/2024	
MUESTRA:	T-1			

	I	II	II	PROMEDIO
PESO DE LA MUESTRA AL AIRE(gr)	129.30	---	---	
PESO DE LA MUESTRA PARAFINADA AL AIRE(gr)	145.34	---	---	
PESO DE LA MUESTRA PARAFINADA SUMERGIDA (gr)	52.11	---	---	
PESO ESPECIFICO RELATIVO DE LA PARAFINA(gr/cm3)	0.88	---	---	
PESO DE LA PARAFINA (gr)	16.04	---	---	
VOLUMEN TOTAL DEL SUELO (cm3)	93.23	---	---	
VOLUMEN DEL SUELO (cm3)	75.00	---	---	
DENSIDAD DEL SUELO (gr/cm3)	1.72	---	---	1.72

REVISO	APROBO	COPIA CONTROLADA
WILDE MATOS ENRIQUEZ  WILDE S. MATOS ENRIQUEZ Gerente General SERVICIO NACIONAL DE GEOMINERÍA S.A.C.	ENRIQUE MATOS PAUCAR 	

 Ingeominas <small>I.G.M.</small>		DETERMINACION DE LÍMITES DE CONSISTENCIA		CODIGO T-1																																									
PROYECTO:	SERVICIO DE ANÁLISIS DE SUELOS RECOLECTADOS - TRABAJOS DE CAMPO EN EL CASERÍO MILHUISH Y CENTRO POBLADO CHALLHUAYACO	PROF. (m):	7.00 m.																																										
SOLICITANTE:	Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico	RESP.:	E.W.M.F.																																										
MATERIAL:	suelo enlenteado, con materia orgánica	TÉCNICO:	L.D.A.																																										
UBICACIÓN:	Vista Alegre 8941513N 262891E	REALIZADO POR:	L.D.A.																																										
CALCATA:	T-1	FECHA:	3/07/2024																																										
MUESTRA:	T-1																																												
LÍMITE PLÁSTICO MTC E 111 - 2000 / ASTM D - 4318																																													
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>N° de recipiente</th> <th>CP-15</th> <th>CM-03</th> <th colspan="2">PROMEDIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Peso de recipiente (g)</td> <td>8.05</td> <td>10.51</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Peso de recipiente+suelo húmedo (g)</td> <td>20.68</td> <td>22.28</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Peso de recipiente+suelo seco (g)</td> <td>18.83</td> <td>20.58</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Peso de agua (g)</td> <td>1.85</td> <td>1.70</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Peso de suelo seco (g)</td> <td>10.78</td> <td>10.07</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Contenido de humedad (%)</td> <td>17.20</td> <td>16.91</td> <td></td> <td>17.05</td> </tr> </tbody> </table>						N° de recipiente	CP-15	CM-03	PROMEDIO		Peso de recipiente (g)	8.05	10.51			Peso de recipiente+suelo húmedo (g)	20.68	22.28			Peso de recipiente+suelo seco (g)	18.83	20.58			Peso de agua (g)	1.85	1.70			Peso de suelo seco (g)	10.78	10.07			Contenido de humedad (%)	17.20	16.91		17.05					
N° de recipiente	CP-15	CM-03	PROMEDIO																																										
Peso de recipiente (g)	8.05	10.51																																											
Peso de recipiente+suelo húmedo (g)	20.68	22.28																																											
Peso de recipiente+suelo seco (g)	18.83	20.58																																											
Peso de agua (g)	1.85	1.70																																											
Peso de suelo seco (g)	10.78	10.07																																											
Contenido de humedad (%)	17.20	16.91		17.05																																									
LÍMITE LÍQUIDO MTC E 110 - 2000 / ASTM D - 4318																																													
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>N° de recipiente</th> <th>TP-02</th> <th>TP-13</th> <th>TM-01</th> <th></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Peso de recipiente (g)</td> <td>3.98</td> <td>3.18</td> <td>3.20</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Peso de recipiente+suelo húmedo (g)</td> <td>24.79</td> <td>21.44</td> <td>31.60</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Peso de recipiente+suelo seco (g)</td> <td>21.05</td> <td>18.16</td> <td>26.50</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Peso de agua (g)</td> <td>3.75</td> <td>3.28</td> <td>5.10</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Peso de suelo seco (g)</td> <td>17.06</td> <td>14.97</td> <td>23.30</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Contenido de humedad (%)</td> <td>21.95</td> <td>21.92</td> <td>21.87</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Número de golpes</td> <td>38</td> <td>21</td> <td>28</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>						N° de recipiente	TP-02	TP-13	TM-01		Peso de recipiente (g)	3.98	3.18	3.20		Peso de recipiente+suelo húmedo (g)	24.79	21.44	31.60		Peso de recipiente+suelo seco (g)	21.05	18.16	26.50		Peso de agua (g)	3.75	3.28	5.10		Peso de suelo seco (g)	17.06	14.97	23.30		Contenido de humedad (%)	21.95	21.92	21.87		Número de golpes	38	21	28	
N° de recipiente	TP-02	TP-13	TM-01																																										
Peso de recipiente (g)	3.98	3.18	3.20																																										
Peso de recipiente+suelo húmedo (g)	24.79	21.44	31.60																																										
Peso de recipiente+suelo seco (g)	21.05	18.16	26.50																																										
Peso de agua (g)	3.75	3.28	5.10																																										
Peso de suelo seco (g)	17.06	14.97	23.30																																										
Contenido de humedad (%)	21.95	21.92	21.87																																										
Número de golpes	38	21	28																																										
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tbody> <tr> <td>LÍMITE LÍQUIDO</td> <td>21.9</td> </tr> <tr> <td>LÍMITE PLÁSTICO</td> <td>17.1</td> </tr> <tr> <td>ÍNDICE PLÁSTICO</td> <td>4.8</td> </tr> </tbody> </table>						LÍMITE LÍQUIDO	21.9	LÍMITE PLÁSTICO	17.1	ÍNDICE PLÁSTICO	4.8																																		
LÍMITE LÍQUIDO	21.9																																												
LÍMITE PLÁSTICO	17.1																																												
ÍNDICE PLÁSTICO	4.8																																												
																																													
REVISO WILBERNATOS ENRIQUEZ		APROBO ENRIQUE NATOS PAUCAR		COPIA CONTROLADA																																									
																																													

		ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO MTC E107-2000 / ASTM D - 422		CÓDIGO T-1
PROYECTO:	SERVIDIO DE ANÁLISIS DE SUELOS RECOLECTADOS - TRABAJOS DE CAMPO EN EL CASERIO MULLUBA Y CENTRO POBLADO CHALLHUAYACO	PROF. P.O.	7.00 m.	
ELABORANTE:	INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO	RES:	E.W.M.P.	
MATERIA:	suelo arcilloso, con materia orgánica	TECNICO:	I.O.A.	
UBICACIÓN:	Vinto Alegre 8941511N 262851E	REALIZADOR:	I.O.A.	
TENDENCIA:	T-1	FECHA:	03/07/2024	
MUESTRA:	T-1			

FRACCIÓN GRUESA					
Peso Total (gr)		8750.00			
Malla	Abertura (mm)	Peso Retenido (gr)	% Parcial Retenido (gr)	% ACUMULADO	
				Retenido	Que Pasa
3"	75	0	0.00	0.00	100.00
2"	50	0	0.00	0.00	100.00
1 1/2"	37.5	0	0.00	0.00	100.00
1"	25	148.10	1.69	1.69	97.81
3/4"	19	157.30	1.79	3.48	95.48
1/2"	12.5	532.30	6.08	9.56	87.59
3/8"	9.5	325.20	<td>13.29</td> <td>82.77</td>	13.29	82.77
N° 4	4.75	321.60	3.68	16.97	78.01

FRACCIÓN FINA					
Malla	Abertura (mm)	Peso Retenido (gr)	% Parcial Retenido (gr)	% ACUMULADO	
				Retenido	Que Pasa
N° 10	2	637.1	7.28	7.28	88.19
N° 20	0.85	919.8	10.51	17.79	54.03
N° 30	0.59	342.3	3.91	21.70	48.76
N° 40	0.43	202.7	2.32	24.02	45.64
N° 60	0.25	202.7	2.32	26.34	42.51
N° 100	0.15	450.2	5.14	31.48	38.70
N° 200	0.075	350.2	3.99	35.47	35.30
PONDO		2181.5	25.04	100.00	0.00
TOTAL			100.00		

Fracción Gruesa (%)	31.69
Fracción Fina (%)	78.01

CONTENIDO DE HUMEDAD DE SUELOS MTC E 108 - 2000	
N° Del Recipiente	CHM-02
Peso Del Recipiente (gr)	92
Peso Del Recipiente + Suelo Húmedo (gr)	604
Peso Del Recipiente + Suelo Seco (gr)	584
Peso Del Agua Contenido (gr)	20
Peso Del Suelo Seco (gr)	492
Contenido De Humedad (%)	4.07
Contenido De Humedad (%)	4.07

D ₁₀	—
D ₃₀	—
D ₆₀	—
Coefficiente de Uniformidad (Cu)	—
Coefficiente de Curvatura (Cc)	—
Límite líquido (LL)	31.9
Límite plástico (LP)	17.1
Índice de plasticidad (PI)	4.8

CLASIFICACIÓN SUCS	
Arena arcillosa-limosa con grava SC-SM	
CLASIFICACIÓN AASHTO	
A-2-4 Grava y arena arcillosa o limosa	

CURVA GRANULOMÉTRICA

Diámetro de Tamiz (mm)

NOTA:
 Presencia de materia orgánica.
 No presenta coeficiente de curvatura ni uniformidad, por la falta de gradación del suelo, la mayor parte es material cohesivo.

REVISÓ INGENIERO EN GEOTECNIA	APROBÓ INGENIERO EN GEOTECNIA	CORA CONTROLADA