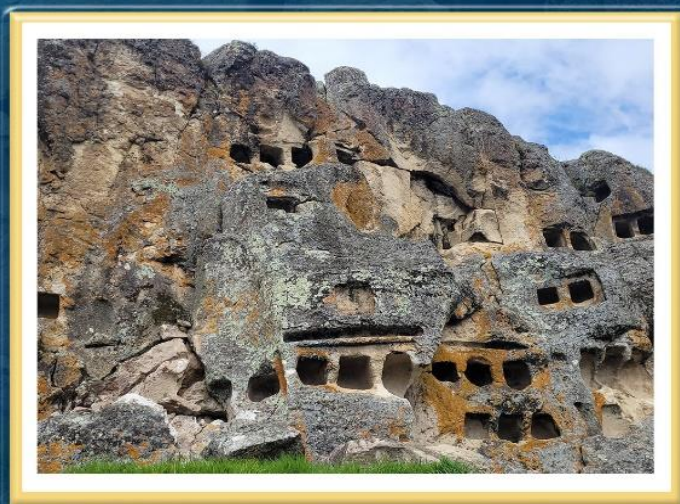


DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO

Informe Técnico N° A7370

EVALUACIÓN DE PELIGRO GEOLÓGICO POR CAÍDA DE ROCAS EN EL SITIO ARQUEOLÓGICO VENTANILLAS DE OTUZCO

Departamento Cajamarca
Provincia Cajamarca
Distrito Baños del Inca



ABRIL
2023

***EVALUACIÓN DE PELIGRO GEOLÓGICO POR CAÍDA DE ROCAS EN EL SITIO
ARQUEOLÓGICO VENTANILLAS DE OTUZCO***

Departamento Cajamarca, provincia Cajamarca, distrito Baños del Inca

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

Equipo de investigación:

*Luis Miguel León Ordáz
Elvis Rubén Alcántara Quispe*

Referencia bibliográfica

Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico (2023). Evaluación de peligro geológico por caída de rocas en el sitio arqueológico Ventanillas de Otuzco, distrito Baños del Inca, provincia Cajamarca, departamento Cajamarca. Lima: INGEMMET, Informe Técnico A7370, 46p.

ÍNDICE

RESUMEN	1
1. INTRODUCCIÓN	5
1.1. Objetivos del estudio	5
1.2. Antecedentes y trabajos anteriores	6
1.3. Aspectos generales	6
2. DEFINICIONES	8
3. ASPECTO GEOLÓGICO	10
3.1. Unidades litoestratigráficas.....	10
4. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS	15
4.1. Modelo digital de elevaciones (MDE)	15
4.2. Pendiente del terreno	16
5. PELIGROS GEOLÓGICOS	18
5.1. Caída de rocas sitio arqueológico Ventanillas de Otuzco	19
5.2. Daños.....	37
6. CONCLUSIONES	38
7. RECOMENDACIONES	39
BIBLIOGRAFÍA	40
ANEXO 1. MAPAS	41
ANEXO 2. MEDIDAS CORRECTIVAS	45

RESUMEN

El presente informe técnico es el resultado de la evaluación de peligros geológicos por movimientos en masa en el sitio arqueológico Ventanillas de Otuzco, distrito Baños del Inca, provincia y departamento Cajamarca. Con este trabajo, el Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico – Ingemmet cumple con una de sus funciones que es brindar asistencia técnica en peligros geológicos para los tres niveles de gobierno.

El sitio arqueológico Ventanillas de Otuzco, se ubica en un acantilado formado por la erosión de una lomada, cuyo macizo rocoso pertenece a la secuencia volcánica San José, conformado por depósitos piroclásticos de pómez y cenizas, gris blanquecinas amarillentas, las cuales se encuentra poco a medianamente fracturadas y moderadamente hasta altamente meteorizadas.

Existen tres familias de discontinuidades principales cartografiadas, que son críticas ante rotura planar y en cuña, además, los bloques de roca intacta tienen una resistencia a la compresión uniaxial aproximadamente entre 15 a 25 MPa (baja) y el macizo rocoso un fracturamiento en bloques GSI de 60 (regular).

La geoforma identificada corresponde a la subunidad de lomada en rocas volcano – sedimentarias, con pendientes de moderada a muy escarpada (5° a >45°).

Los factores que condicionan la ocurrencia de caída de rocas son: a) rocas conformado por depósitos piroclásticos de pómez y cenizas, poco a medianamente fracturados y moderadamente hasta altamente meteorizados. b) frontis de sitio arqueológico, donde se construyeron los nichos funerarios, presenta terreno de pendiente muy escarpado (>45°). c) La falta de revestimiento y mantenimiento de los canales ubicados en la parte superior, permite la infiltración del agua hacia el macizo rocoso, c) disposición de una familia de fracturas a favor de la pendiente. d) fracturamiento de la roca (poco a medianamente fracturada), que origina fragmentos de roca con diámetros entre 0.30 m y 2.5 m. Además, se atribuye como factor detonante, las lluvias intensas y/o prolongadas registradas en la zona.

En el sitio arqueológico Ventanillas de Otuzco se identificó ocurrencias de caída de rocas, el tamaño de los bloques oscila entre 0.50 y 2.5 m de diámetro. Los bloques se desplazaron hasta 2 m poniendo en riesgo la integridad física de los turistas que transitan en el entorno, el área donde ocurren las caídas se ubica en la cara libre del talud con pendiente de hasta 88°, y una altura de entre 5 y 12 m.

Por las condiciones geológicas, geomorfológicas y geodinámicas al sitio arqueológico Ventanillas de Otuzco se le considera como de **Peligro Alto** por caída de rocas ante la ocurrencia de lluvias extraordinarias o movimientos sísmicos; además, se le categoriza como **Zona Crítica**.

Finalmente, en el informe se sugiere revestir y dar mantenimiento periódico a los canales de derivación de aguas de lluvia ubicados en la parte superior; sellar las fracturas ubicadas en la parte alta para evitar la infiltración de agua y disminuir el proceso de caída de rocas; la construcción de una cobertura o techo, sobre el sitio arqueológico para evitar de manera más óptima el ingreso de agua de lluvia en las fracturas, estos trabajos deben realizarse por especialistas en conservación de monumentos arqueológicos.

1. INTRODUCCIÓN

El INGEMMET, ente técnico-científico que desarrolla a través de los proyectos de la Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico (DGAR) la “Evaluación de peligros geológicos a nivel nacional (ACT11)”, contribuye de esta forma con entidades gubernamentales en los tres niveles de gobierno mediante el reconocimiento, caracterización y diagnóstico del peligro geológico en zonas que tengan elementos vulnerables.

Atendiendo la solicitud del Ministerio de Cultura, mediante Oficio N°000017-2023-VMPCIC/MC, es en el marco de nuestras competencias que se realiza una evaluación de peligro geológico por caída de rocas en el sitio arqueológico Ventanillas de Otuzco.

La Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico del Ingemmet designó a los ingenieros Luis León Ordáz y Elvis Alcántara Quispe, para realizar la evaluación geológica, geomorfológica y geodinámica de los peligros geológicos que afectan el sitio arqueológico Ventanillas de Otuzco, los trabajos de campo se realizaron el 10 de febrero del 2023.

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

Este informe se pone en consideración del Ministerio de Cultura y la Dirección Desconcentrada de Cultura de Cajamarca y las entidades encargadas de la gestión de riesgos de desastres, donde se proporcionan resultados de la inspección y recomendaciones para la reducción del riesgo de desastres, a fin de que sea un instrumento técnico para la toma de decisiones.

1.1. Objetivos del estudio

El presente trabajo tiene como objetivos:

- a) Evaluar, tipificar y caracterizar los peligros geológicos por movimientos en masa que se presentan en el sitio arqueológico Las Ventanillas de Otuzco, eventos que puede comprometer la integridad física de los turistas.

- b) Determinar los factores condicionantes y desencadenantes que influyen en la ocurrencia de los diferentes peligros identificados.
- c) Emitir las recomendaciones pertinentes para la reducción de los daños que pueden causar los peligros geológicos identificados.

1.2. Antecedentes y trabajos anteriores

Existen trabajos previos y publicaciones del Ingemmet relacionados a temas de geología y geodinámica externa de los cuales destacan los siguientes:

- a) El estudio desarrollado por Zavala y Rosado (2011), titulado “Riesgo Geológico en la Región Cajamarca”, indica que la frecuencia de peligros geológicos en la región es mediana a alta en comparación a otras áreas del país.
 Mencionan que en el distrito de Baños del Inca identificaron 11 peligros geológicos, entre los cuales tenemos deslizamientos, caídas de rocas, flujos y reptación; además, se consideró como bajo el grado de susceptibilidad ante movimientos en masa del área evaluada.

1.3. Aspectos generales

1.3.1 Ubicación

El sitio arqueológico Ventanillas de Otuzco, se ubica a 8 km, al noreste de la ciudad de Cajamarca, políticamente pertenece al distrito Baños del Inca, provincia y departamento Cajamarca.

Geográficamente se encuentra en la margen derecha del río Chonta, afluente del de la red fluvial de la cuenca Crisnejas. Las coordenadas del área de estudio se detallan en el cuadro 1 y figura 1.

Cuadro 1. Coordenadas del área de estudio.

N°	UTM – WGS 84 - ZONA 17S		COORDENADAS DECIMALES	
	Este	Norte	Latitud	Longitud
1	780808	9211646	-7.125124°	-78.457755°
2	780767	9211643	-7.125153°	-78.458126°
3	780774	9211535	-7.126128°	-78.458057°
4	780815	9211537	-7.126108°	-78.457687°
COORDENADA CENTRAL DE LA ZONA EVALUADA O EVENTO PRINCIPAL				
C	780798	9211574	-7.125775°	-78.457842°

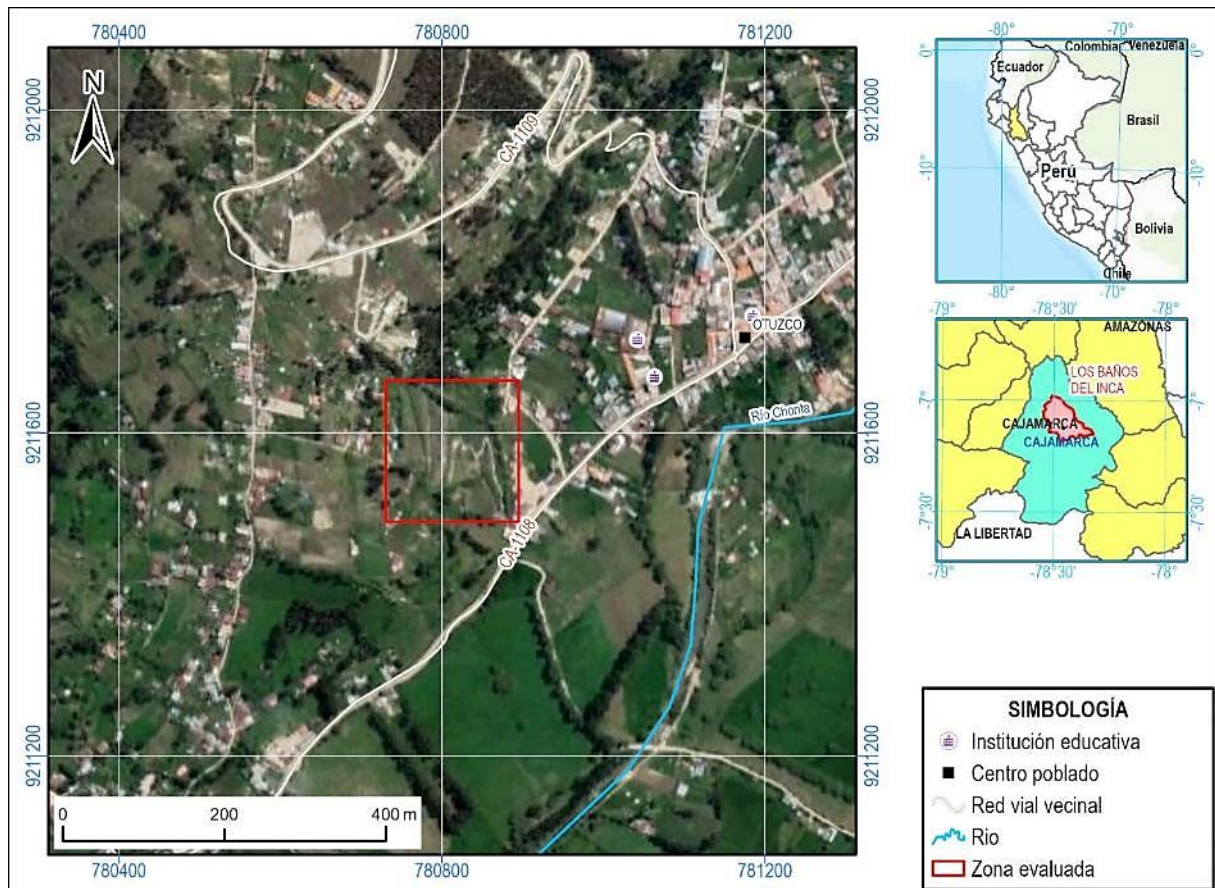


Figura 1. Ubicación del sitio arqueológico Ventanillas de Otuzco.

1.3.2 Accesibilidad

El acceso al sector evaluado se realizó a través de una vía asfaltada desde la ciudad de Cajamarca. La ruta de acceso se describe en el cuadro 2:

Cuadro 2. Rutas y accesos a la zona evaluada: Sitio arqueológico Ventanillas de Otuzco.

Ruta	Tipo de vía	Distancia (km)	Tiempo estimado
Cajamarca – Sitio arqueológico Ventanillas de Otuzco.	Asfaltada	8	20 min

2. DEFINICIONES

El presente informe técnico está dirigido a las entidades gubernamentales en los tres niveles de gobierno, así como personal no especializado, que no son necesariamente geólogos; por ello se desarrollan algunas definiciones relevantes, considerando como base el Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas (2007), los términos y definiciones se detallan a continuación:

Actividad: La actividad de un movimiento en masa se refiere a tres aspectos generales del desplazamiento en el tiempo de la masa de material involucrado: el estado, la distribución y el estilo de la actividad. El primero describe la regularidad o irregularidad temporal del desplazamiento; el segundo describe las partes o sectores de la masa que se encuentran en movimiento; y el tercero indica la manera como los diferentes movimientos dentro de la masa contribuyen al movimiento total. El estado de actividad de un movimiento en masa puede ser: activo, reactivado, suspendido, inactivo latente, inactivo abandonado, inactivo estabilizado e inactivo relicto (WP/WLI, 1993).

Activo: Movimiento en masa que actualmente se está moviendo, bien sea de manera continua o intermitente.

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

Arcilla: Suelo para ingeniería con tamaño de partículas menores a 2 micras (0,002 mm) que contienen minerales arcillosos. Las arcillas y suelos arcillosos se caracterizan por presentar cohesión y plasticidad. En este tipo de suelos es muy importante el efecto del agua sobre su comportamiento.

Buzamiento: Ángulo que forma la recta de máxima pendiente de un plano con respecto a la horizontal y puede variar entre 0° y 90°.

Caída: Movimiento en masa en el cual uno o varios bloques de suelo o roca se desprenden de una ladera. El material se desplaza por el aire, golpeando, rebotando o rodando (Varnes, 1978). Se clasifican en caídas de rocas, suelos y derrumbes.

Caída de rocas: Tipo de caída producido cuando se separa una masa o fragmento de roca y el desplazamiento es a través del aire o caída libre, a saltos o rodando.

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: Estructura de discontinuidad menor en la cual hay separación por tensión, pero sin movimiento tangencial entre los cuerpos que se separan. Los rangos de fracturamiento rocoso, dependiendo del espaciamiento entre las fracturas, pueden ser: maciza, poco fracturada, medianamente fracturada, muy fracturada y fragmentada.

Ladera: Superficie natural inclinada de un terreno.

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. Los rangos de meteorización se clasifican en: roca fresca, ligeramente meteorizada, moderadamente meteorizada, altamente meteorizada, completamente meteorizada y suelo residual.

Movimiento en masa: Movimiento ladera abajo de una masa de roca, de detritos o de tierras (Cruden, 1991). Estos procesos corresponden a caídas, vuelcos, deslizamientos, flujos, entre otros. Sin.: Remoción en masa y movimientos de ladera.

Peligro o amenaza geológica: Proceso o fenómeno geológico que podría ocasionar la muerte, lesiones u otros impactos a la salud, al igual que daños a la propiedad, la pérdida de medios de sustento y de servicios, trastornos sociales y económicos, o daños ambientales.

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.

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.

Velocidad: Para cada tipo de movimiento en masa se describe el rango de velocidades, parámetro importante ya que ésta se relaciona con la intensidad del evento y la amenaza que puede significar. De acuerdo con Cruden y Varnes (1996), las escalas de velocidades corresponden a: extremadamente lenta, muy lenta, lenta, moderada, rápida, muy rápida y extremadamente rápida.

Zona crítica: Zona o área con peligros potenciales de acuerdo a la vulnerabilidad asociada (infraestructura y centros poblados), que muestran una recurrencia, en algunos casos, entre periódica y excepcional.

3. ASPECTO GEOLÓGICO

El análisis geológico, se desarrolló en base a la memoria descriptiva de la revisión del cuadrángulo de San Marcos, hoja 15g, elaborado por Reyes (1980), escala 1:100 000 y cuadrángulo de San Marcos, hoja 15 – g – IV, elaborado por Velasco J., (2007), escala 1:50 000, publicados por el Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (mapa 1).

Asimismo, los trabajos en campo, análisis de imágenes satelitales y fotografías con dron sirvieron para caracterizar la unidad litológica identificada.

3.1. Unidades litoestratigráficas

En el sector evaluado afloran rocas de origen volcánico – sedimentario, de la unidad litoestratigráfica, rocas de la secuencia volcánica San José.

3.1.1 Secuencia volcánica San José (Nm-sjE2)

Están conformadas por depósitos piroclásticos de pómez y cenizas, gris blanquecinas amarillentas, ricos en cristales de composición riolítica. Tienen un espesor aproximado de 250 m, su azimuth promedio es de N281 y un buzamiento de 5° (Fotografía 1), además se ha determinado una familia de discontinuidades con orientación NE-SO (F1) con un azimuth promedio de N60 y buzamiento de 83°, y una familia con orientación N-S (F2) con azimuth promedio de N353 y buzamiento de 62° (figura 2); en la figura 3 se muestra la distribución de estas discontinuidades en forma estereográfica y 3D.

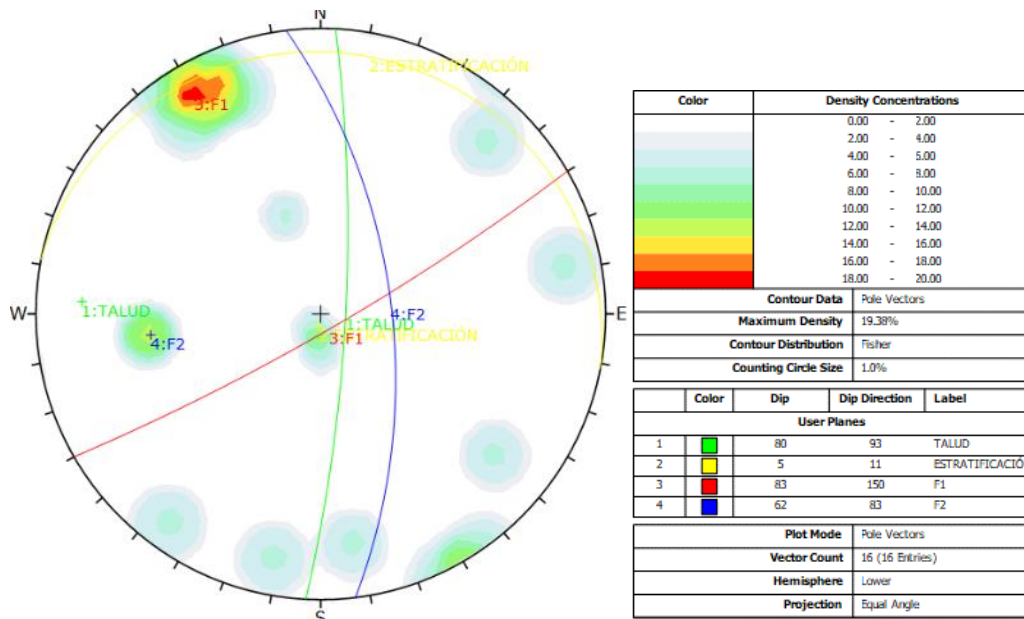
En la parte frontal, el macizo rocoso se encuentra poco a medianamente fracturado a y moderadamente hasta altamente meteorizada (fotografía 2).



Fotografía 1. Descripción con rumbo y buzamiento.



Figura 2. Distribución de las principales discontinuidades en el sitio arqueológico Ventanillas de Otuzco: en amarillo los planos de estratificación, en rojo las discontinuidades NO-SE (F1) y en azul las discontinuidades N-S (F2). La cara libre tiene un buzamiento de entre 80° a 90° y un azimut de N3°.



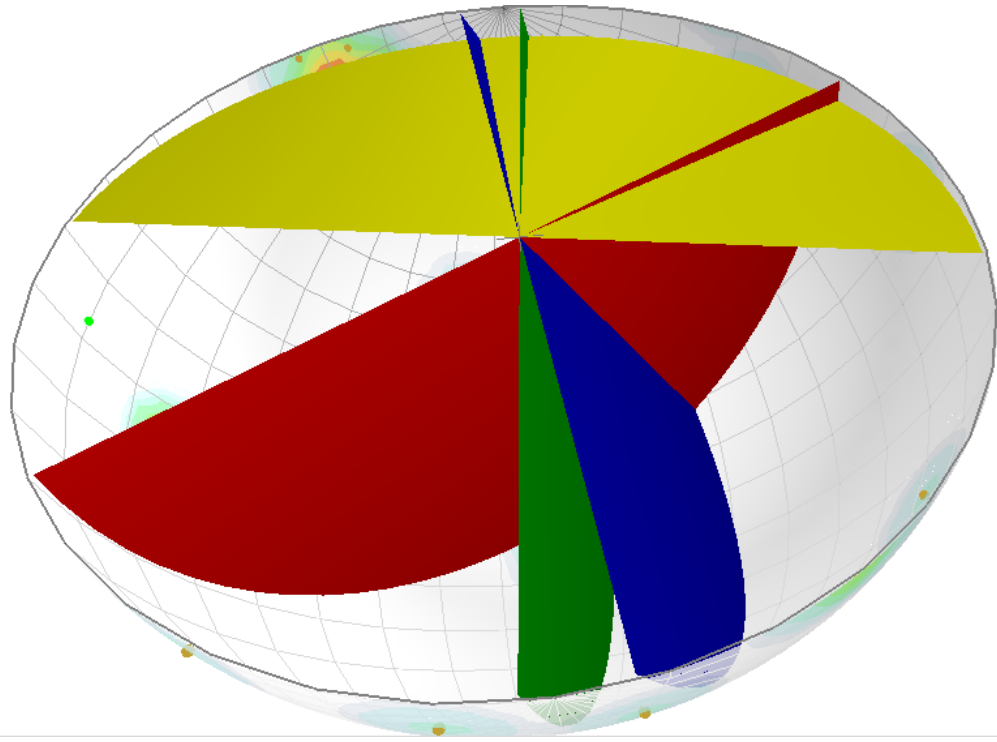


Figura 3. Vista estereográfica (arriba) y 3D (abajo) de las discontinuadles del sitio arqueológico Ventanillas de Otuzco: en verde la cara libre del talud, en amarillo los planos de estratificación, en rojo la familia de discontinuidades NE-SO (F1) y en azul la familia de discontinuidades N-S (F2).



Fotografía 2. Se puede observar el macizo rocoso altamente meteorizado.

Los macizos rocosos presentan un Índice Geológico de Resistencia (Hoek, 2007) promedio de 60 (figura 4), debido a la que sus discontinuidades son rugosas y muestran tres familias de discontinuidades principales.

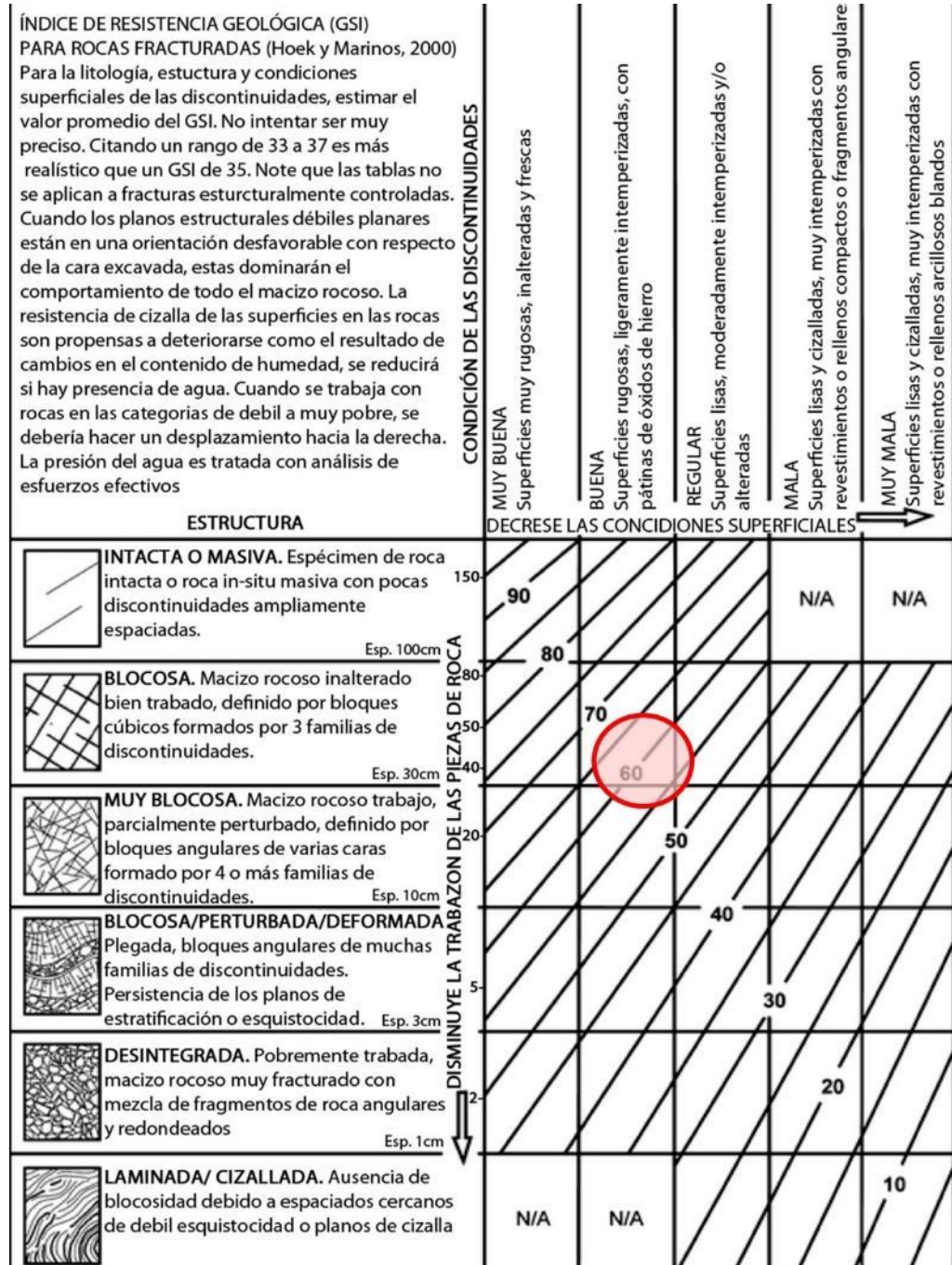


Figura 4. Estructura y calidad de las discontinuidades del macizo rocoso del sitio arqueológico Ventanillas de Otuzco, GSI promedio de 60. Fuente: Tabla del Índice Geológico de Resistencia GSI (Hoek, 2007).

La resistencia del macizo se ha medido mediante el martillo Schmidt en dos estaciones, dando como resultado valores de 25 MPa (Estación 1) y 15 MPa

(Estación 2); sin embargo, se resalta que el macizo más meteorizado (Fotografía 3) tiene tan baja resistencia que es fácilmente desintegrado con el rayador (<5 MPa).



Fotografía 3. Medición de la resistencia de la cara de las discontinuidades de los macizos del sitio arqueológico Ventanillas de Otuzco mediante la aplicación del martillo Schmidt; estación 1 (izquierda) y estación 2 (derecha).

La rugosidad de las discontinuidades ha sido medida mediante el peine de Barton (Fotografía 4), dando como resultado de JRC (Joint Roughness Coefficient) de 18 (en una escala de 0 a 20).



Fotografía 4. Medición de la rugosidad mediante el peine de Barton.

4. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS

Para el análisis geomorfológico se realizó el levantamiento fotogramétrico mediante el empleo de dron, obteniéndose el modelo digital del terreno con una resolución 7 cm por pixel, y 1 cm por pixel para la ortofoto, (figura 4), información que fue complementada con el análisis de imágenes satelitales, análisis morfométrico del relieve y cartografiado in situ.

4.1. Modelo digital de elevaciones (MDE)

La zona de estudio, se distribuye sobre un relieve con elevaciones entre 2720 m y 2771 m; se clasificó en cinco niveles altitudinales, con la finalidad de visualizar la extensión del área respecto a la diferencia de alturas, donde los niveles más extensos corresponden a menor pendientes y los de menor espesor serán aquellos que presentes mayor diferencia de alturas (figura 5).

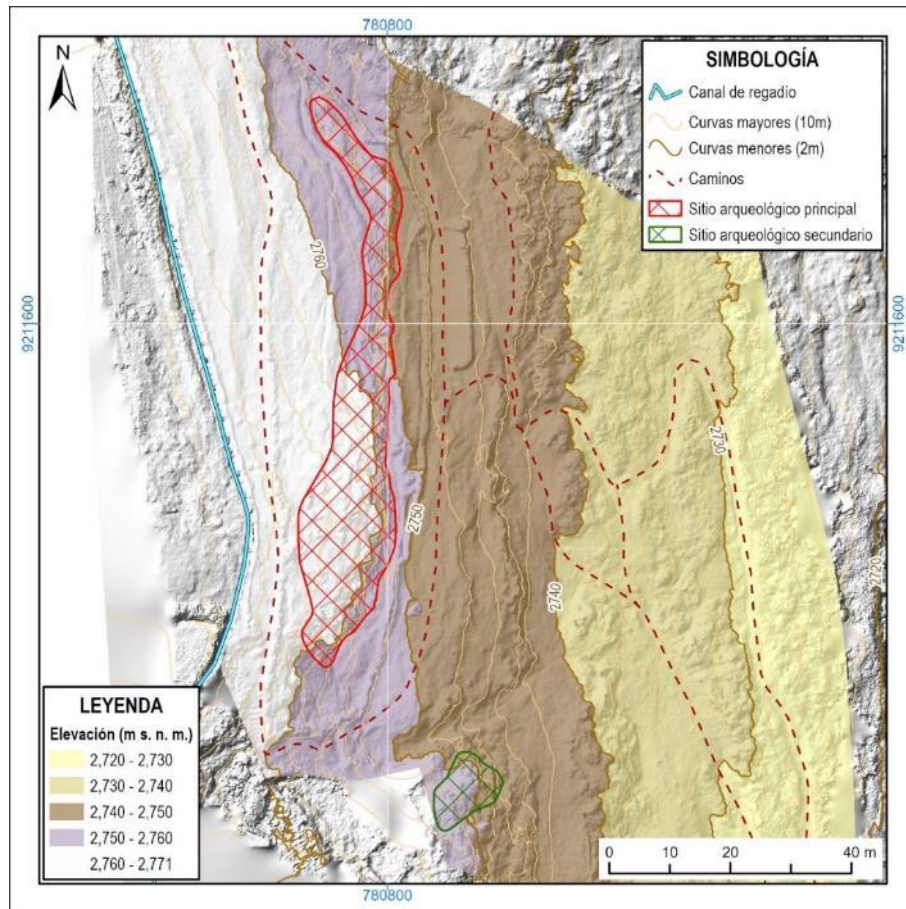


Figura 5. Modelo digital de elevaciones de la zona evaluada.

El sitio arqueológico principal, se asienta sobre superficies con elevaciones entre 2750 m y 2765 m; mientras las máximas elevaciones se ubican al oeste y sobrepasan los 2760 m. La caída de rocas se originó a los 2761 m y desciende hasta los 2751 m., a 2 m de distancia del camino por donde transitan los turistas.

4.2. Pendiente del terreno

En el sector evaluado, la ladera presenta pendientes variables, la cara frontal donde se ubican los nichos funerarios están construidos sobre un macizo rocoso con pendiente de terreno muy escarpado $>45^\circ$ (llegando hasta los 90°), es allí donde se origina la caída de rocas (figura 6); en la parte superior de los nichos (figura 7), se tiene pendientes de moderada (5° a 15°) a fuerte (15° a 25°) y la parte inferior (figura 8) a los nichos las pendientes son variadas de moderadas (5° a 15°) a muy fuerte o escarpada (25° a 45°).

Las variaciones de la pendiente, se muestran en el mapa N° 2.



Figura 6. Los nichos funerarios están construidos sobre un macizo rocoso con una pendiente con una pendiente $< 45^\circ$, en donde se origina la caída de rocas.



Figura 7. Se observa la parte superior de donde se ubican los nichos fúnebres, la pendiente promedio es de 20°.



Figura 8. Parte baja del sector evaluado, el terreno presenta pendiente varía de 20° a 28°.

4.3. Unidades Geomorfológicas

Para la clasificación y caracterización de las unidades geomorfológicas en el sitio arqueológico Las Ventanillas de Otuzco, se han empleado los trabajos de Villota (2005) y la clasificación de unidades geomorfológicas utilizadas en los estudios del Ingemmet; cuyas concepciones se basan en considerar el efecto de los procesos morfodinámicos (degradacionales o denudativos y agradacionales o deposicionales) en la evolución del relieve (mapa 3).

Unidad de lomada

Los terrenos, cerros, tienen alturas menores de 300 metros (medidos desde el nivel base) y sus laderas con pendientes mayores a 15°. Esta unidad se ubica próxima a la unidad de montaña.

Subunidad de lomada en roca volcano-sedimentaria (L-rvs)

Unidad geomorfológica que corresponde a afloramientos de rocas volcano sedimentarias reducido por procesos denudativos (fotografía 5), conformados por laderas disectadas de pendientes que varían de moderadas (5° a 15°) a terrenos muy escarpados (> 45°).



Fotografía 5. Vista general del sitio arqueológico Ventanillas de Otuzco, terreno que conforma una lomada modelada en rocas volcano sedimentarias.

5. PELIGROS GEOLÓGICOS

Los movimientos en masa son parte de los procesos denudativos que modelan el relieve de la tierra. Su origen obedece a una gran diversidad de procesos geológicos, hidrometeorológicos, químicos y mecánicos que se dan en la corteza terrestre.

La meteorización, las lluvias, los sismos y otros eventos (incluyendo la actividad antrópica), actúan sobre las laderas desestabilizándolas y cambian el relieve a una condición más plana (Proyecto Multinacional Andino, 2007).

Los peligros geológicos en el sitio arqueológico Ventanillas de Otuzco, corresponden a movimientos en masa de tipo caída de rocas, resultado del modelamiento del terreno, así como la incisión sufrida en los cursos de agua en la Cordillera de los Andes.

5.1. Caída de rocas sitio arqueológico Ventanillas de Otuzco

En el complejo arqueológico de Ventanillas de Otuzco se identificaron caída de rocas. Se describió sus características, se realizaron toma de datos GPS y de fotografías a nivel del terreno y aéreas.

El macizo rocoso en donde se construyeron los nichos fúnebres, se encuentra poco a medianamente fracturado y moderadamente hasta altamente meteorizado, con presencia de humedad (figura 9), debido a la infiltración de agua en la parte alta, en donde se han identificado agrietamientos (figura 10) y canales de derivación de aguas sin revestimiento y sin mantenimiento, cubiertos por vegetación, (mapa 5).

Este tipo de movimiento en masa es uno de los más rápidos, la trayectoria que siguen los bloques y la distancia que ellos puedan alcanzar dependen de la morfología del terreno (en el sector evaluado las rocas que caen del frontis del nicho funerario van en dirección del camino por donde transitan los turistas y pueden atentar contra su integridad física.

Según Pimentel (2011), la caída de rocas se debe principalmente a las discontinuidades preexistentes de las rocas, tales como fallas, juntas y estratificación.

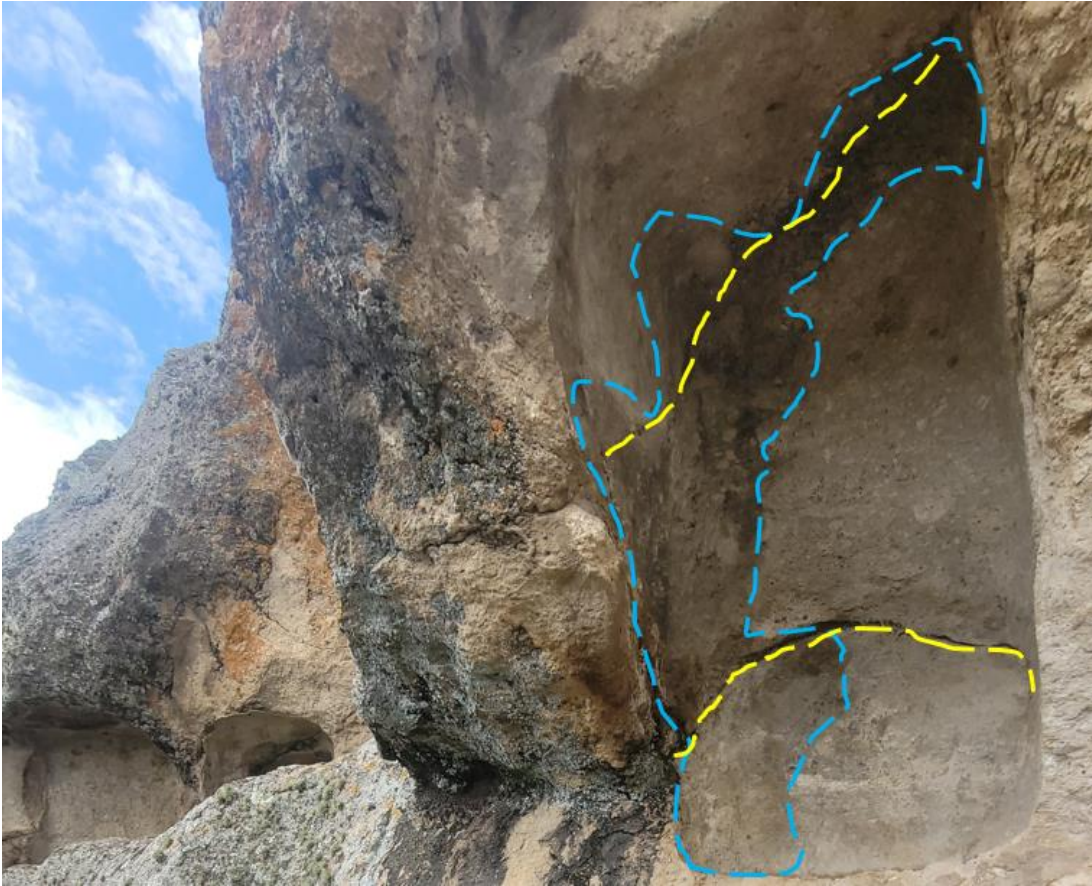


Figura 9. Se observa presencia de agua (línea discontinua celeste), que ingresa por las fracturas (línea discontinua amarilla) al macizo rocoso.



Figura 10. Agrietamientos (líneas amarillas discontinuas), con longitudes de 1m a 5 m, ubicados en la parte superior del macizo rocoso.

5.2 Características visuales del evento

La caída de rocas presenta las siguientes características:

- Longitud de arranque: 100 metros en macizo fracturado (frontis donde se ubican los nichos funerarios) compuesto de rocas volcánicas.
- Altura: de 5 a 8 metros.
- Tipo de rotura: planar y en cuña.
- Forma de zona de arranque: recta, discontinua.
- Alcance horizontal de caída: 4 metros.
- Agrietamientos: con longitudes de 1 m a 5 m y ancho de 2 cm a 8 cm a lo largo de todo el macizo evaluado.
- Tamaño de bloques: 1 a 4.21 m (figura 11 y 12).
- Pendiente del terreno: $>45^\circ$.
- Tipo de fracturas: abiertas, cerradas.
- Relleno de fracturas: arena y limo.



Figura 11. Se observa el bloque que ha colapsado (línea blanca discontinua), parte central del frontis donde se ubican los nichos fúnebres. Coordenadas UTM WGS84, Norte: 9211580 – Este: 780799.

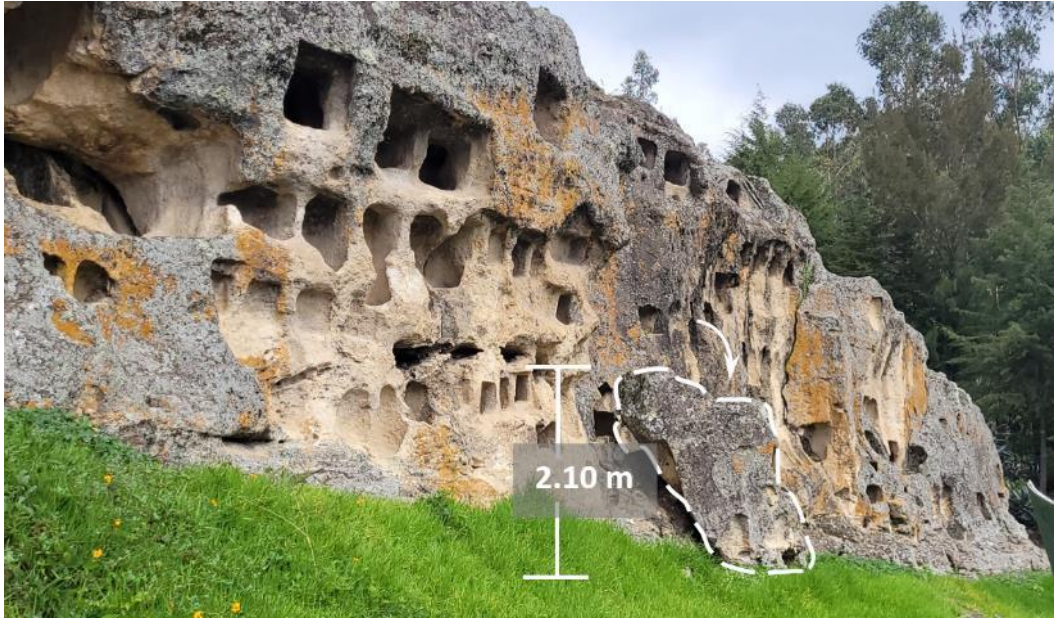


Figura 12. Se observa el bloque caído (línea blanca discontinua), lado izquierdo del frontis donde se ubican los nichos fúnebres. Coordenadas UTM WGS84, Norte: 9211599 – Este: 780800.

5.3 Factores condicionantes

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

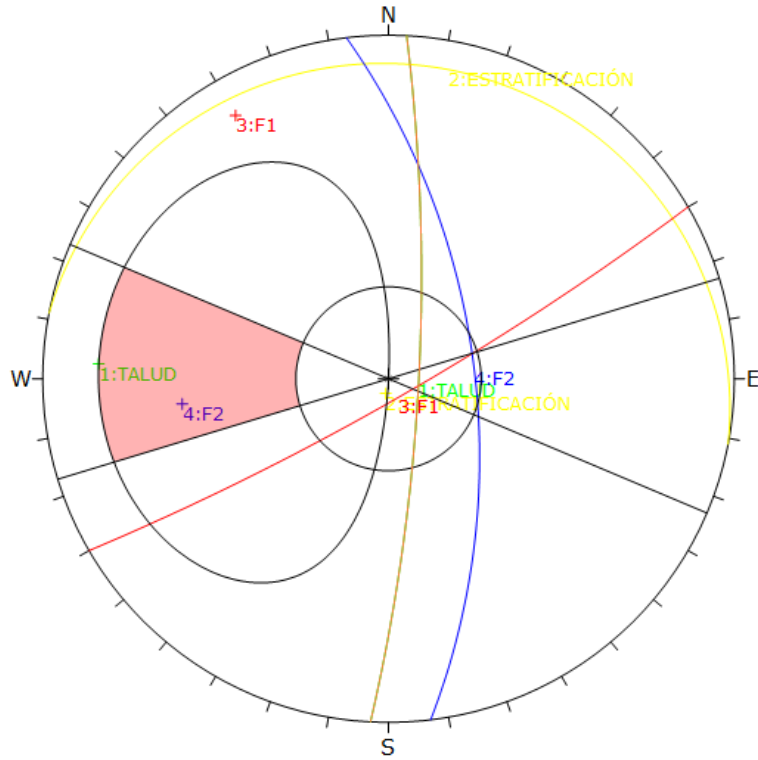
Factor litológico

Dentro de los factores litológicos que han condicionado la caída de rocas tenemos:

- En cuanto al análisis cinemático de las discontinuidades (figura 13) se tiene:
 - o La familia de discontinuidades N-S (F2) es crítica ante rotura planar.
 - o La familia de discontinuidades NE-SO (F1) y N-S (F2) conforman intersecciones críticas ante rotura en cuña.

- La resistencia del macizo rocoso es considerada de baja (R2) con promedio de resistencia de entre 15 a 25 MPa; sin embargo, si se considera su Índice de Resistencia Geológica GSI de 60 (figura 4) y un tipo de roca de toba (m_i de 13), se tiene que su resistencia global es de tan solo 3.68 MPa (figuras 13 y 14); lo que lo convierte en un macizo rocoso de regular a mala calidad.

- El Complejo Volcánico Yanacocha, conformado por depósitos piroclásticos de pómez y cenizas, el macizo rocoso se encuentra poco a medianamente fracturado y moderadamente hasta altamente meteorizado (figura 15 a 21 y fotografía 6); en la parte frontal del sitio arqueológico. En la parte superior y donde se ubican los nichos fúnebres se tiene fracturamiento abierto que permite la filtración del agua y el lavado del material.



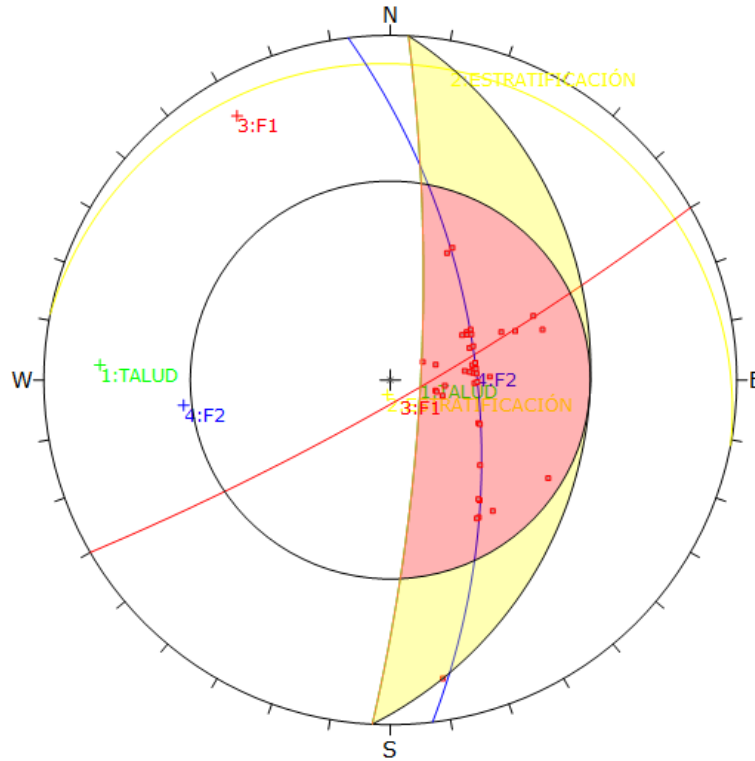


Figura 13. Análisis cinemático de las discontinuidades del sitio arqueológico Ventanillas de Otuzco: análisis ante rotura planar (arriba) y ante rotura en cuña (abajo).

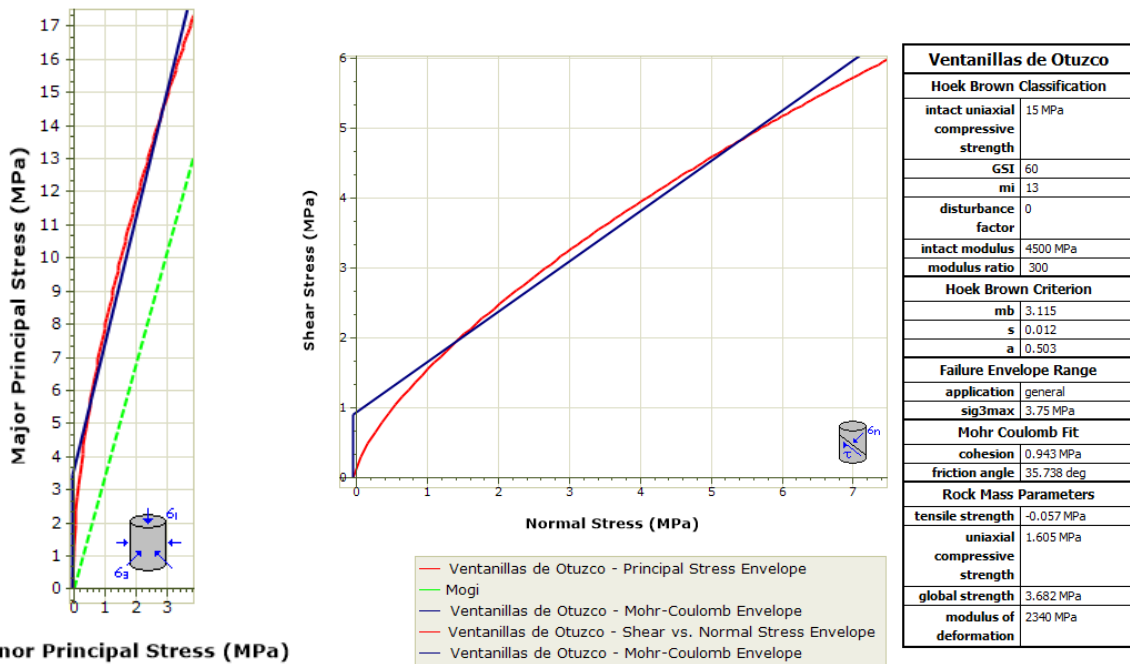


Figura 14. Envolturas de rotura de Hoek-Brown y Mohr-Coulomb en el sitio arqueológico Ventanillas de Otuzco, mostrando bajos valores de resistencia debido a que se encuentra poco a medianamente fracturado y moderada hasta altamente meteorizado el macizo rocoso, con una baja resistencia a la compresión uniaxial ya de por si (15-25 MPa).



Figura 15. Delimitada con líneas blancas discontinuas se muestra los bloques caídos y con líneas amarillas discontinuas las fracturas en el macizo rocoso. Se ubica en el lado derecho del frontis de las Ventanillas de Otuzco.



Figura 16. Se observa bloque caído (líneas blancas discontinuas) y las fracturas (líneas amarillas discontinuas) del macizo, ubicadas en el centro del frontis de las Ventanillas de Otuzco.



Figura 17. Se observa bloque caído (líneas blancas discontinuas) y las fracturas (líneas amarillas discontinuas) del macizo, ubicadas en el lado izquierdo del frontis de las Ventanillas de Otuzco.



Figura 18. Delimitada con líneas discontinuas de color verde se observa las áreas moderadamente hasta altamente meteorizadas. Se ubica en el lado derecho del frontis de las Ventanillas de Otuzco.



Figura 19. Rocas de moderadamente hasta altamente meteorizadas, con erosión pluvial y eólica en el centro del frontis de las Ventanillas de Otuzco, dentro de las líneas discontinuas de color verde.



Figura 20. Zonas de moderadamente hasta altamente meteorizadas, con erosión pluvial y eólica en el centro del frontis de las Ventanillas de Otuzco (líneas discontinuas de color verde).



Figura 21. Macizo altamente meteorizado, con presencia de diaclasas (líneas negras).



Fotografía 6. Nichos fúnebres, deteriorados por la erosión pluvial y eólica, del macizo rocoso.

Factor geomorfológico

Tenemos las geoformas de lomada en roca volcánico sedimentaria, que en la ladera donde están ubicados los nichos fúnebres la pendiente es mayor a 45° , es donde arranca la caída de rocas (figura 22).



Figura 22. Los nichos funerarios están contruidos sobre un macizo rocoso con una pendiente $< 45^\circ$, en donde se origina la caída de rocas.

Otros factores antrópicos

La falta de mantenimiento en los drenajes ubicados en la parte superior (canales sin revestimiento y sin mantenimiento), permite la infiltración del agua en el macizo rocoso (figura 23).

Canales sin caída y nichos deteriorados, originan el aniego del agua (figura 24 y fotografía 7) proveniente de lluvia, acelerando el proceso de meteorización del macizo rocoso.



Figura 23. Canal de drenaje de escorrentía, sin revestimiento y con abundante vegetación.



Figura 24. En las depresiones originadas por los nichos deteriorados, se observa el anegamiento de agua, la cual filtra y deteriora los nichos fúnebres ubicados en la parte frontal.



Fotografía 7. En las depresiones originadas por los nichos deteriorados, se observa el crecimiento de abundante vegetación, donde se produce anegamiento de agua cuando llueve.

5.4 Factores desencadenantes

Precipitaciones pluviales

El ingreso del agua proveniente de las precipitaciones pluviales en las fracturas que presenta el macizo rocoso, disminuye su resistencia y permite la aceleración del proceso de caída de rocas; en la ciudad de Cajamarca se consideran lluvias de intensidad extrema cuando superan los 23.3 mm/día.

5.5 Análisis longitudinal

Se han elaborado 5 perfiles en el sitio arqueológico Ventanillas de Otuzco, con el fin de evaluar el comportamiento de las discontinuidades y su relevancia en el peligro ante caída rocas.

- En el perfil A-A' (figuras 25 y 26) se observa como una discontinuidad de 60° de buzamiento, con dirección favorable a la pendiente, que se conserva en su lugar debido a la gran rugosidad de la discontinuidad; sin embargo, podría desestabilizarse ante movimiento sísmico de gran magnitud o lluvias intensas. El bloque tiene una altura de 3.73 m y un ancho de 3.22 m.

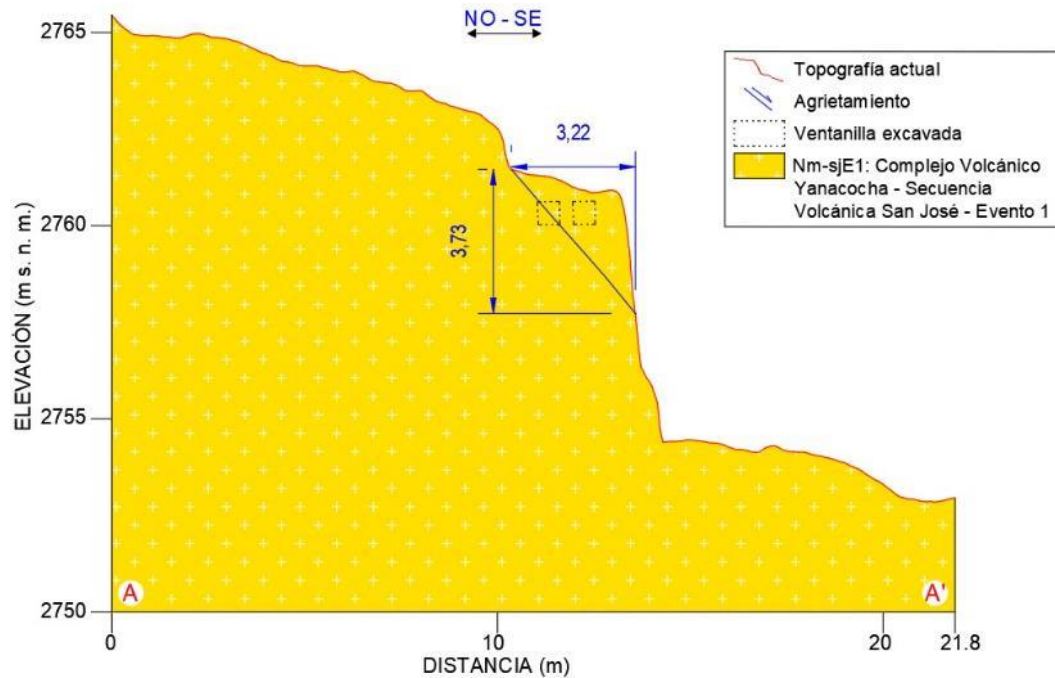


Figura 25. Perfil A-A', mostrando una discontinuidad en proceso de rotura planar.
Ubicación: E: 780789; N: 9211549; Z: 2761.4.

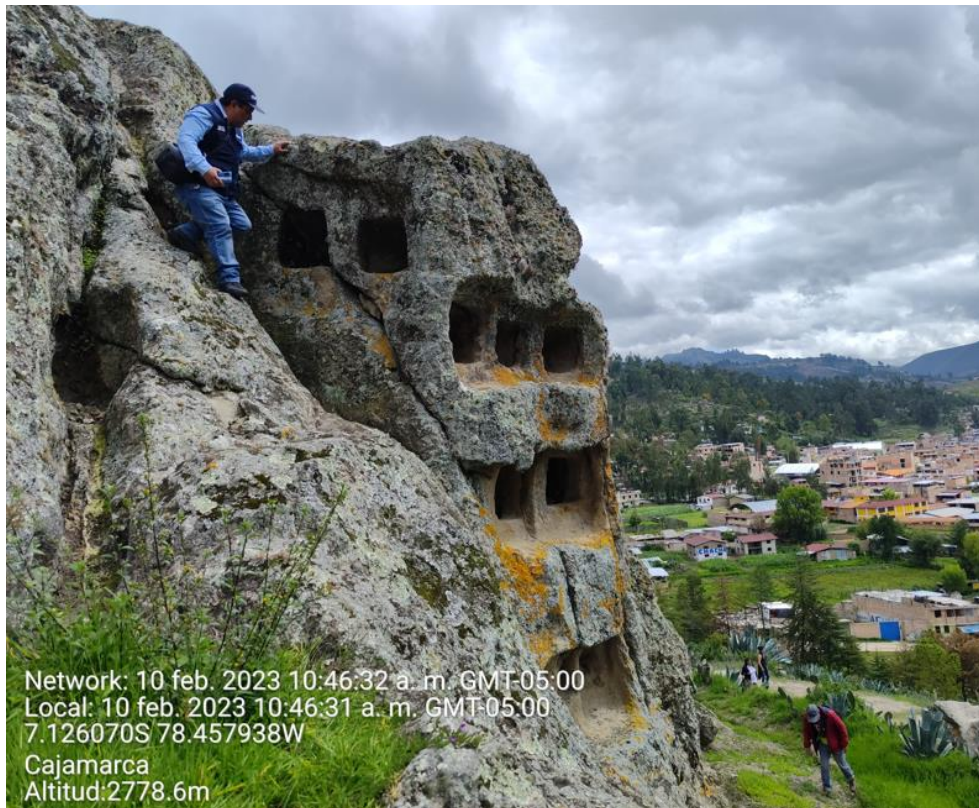


Figura 26. Detalle de la zona del Perfil A-A', mostrando una discontinuidad favorable a rotura planar, la gran rugosidad de la misma mantiene el bloque en su lugar.

- En los perfiles B-B', C-C' y D-D' (figuras 27 al 32 y fotografías 8 y 9) se observan discontinuidades sub verticales con pendiente favorable a la cara del talud; estas discontinuidades podrían fallar si la erosión en el pie del talud continúa.

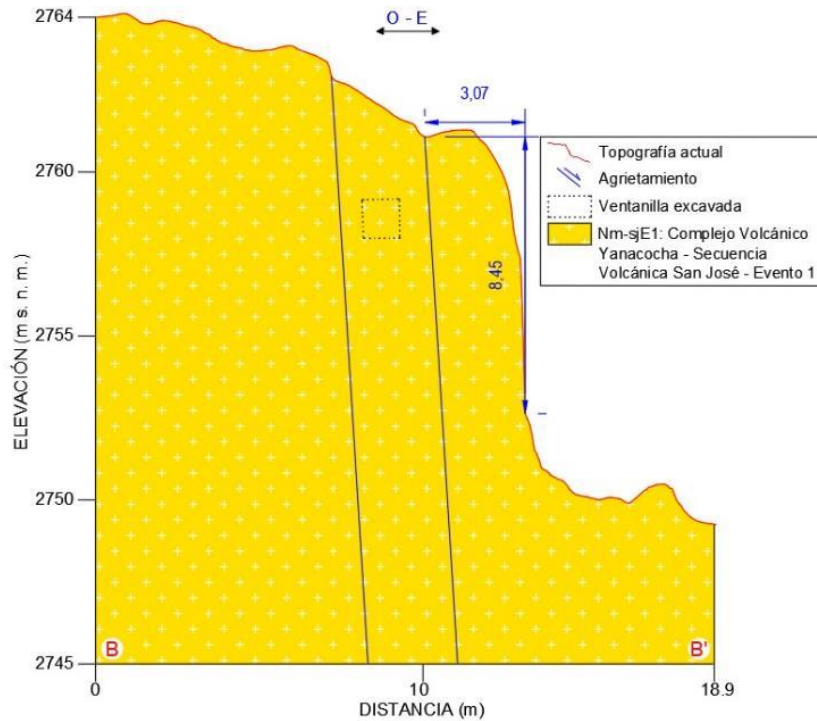
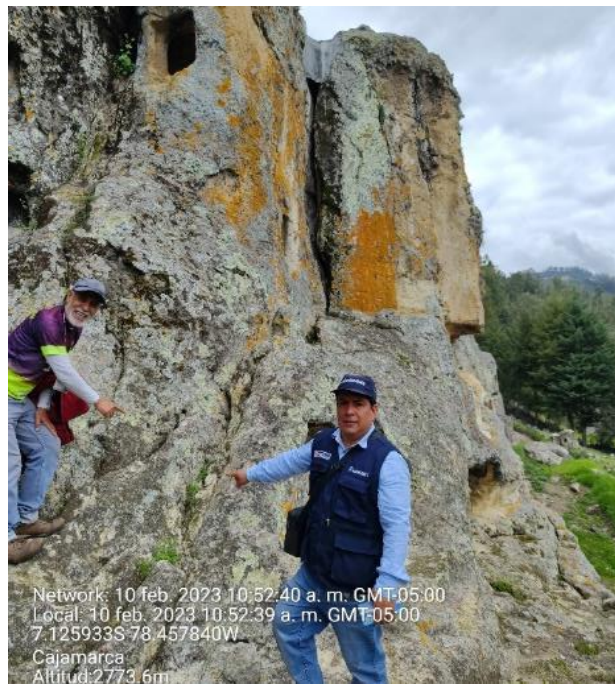


Figura 27. Perfil B-B', mostrando dos discontinuidades sub verticales con tendencia a favor del talud. **Ubicación:** E: 780798; N: 9211568; Z: 2761.3.



Fotografía 28. Detalle de la zona del Perfil B-B', donde se observan dos discontinuidades sub paralelas con buzamientos cercanos a los 90°, cuyas partes superiores están en proceso de erosión y meteorización, lo que reduce aún más la resistencia geológica del macizo rocoso.

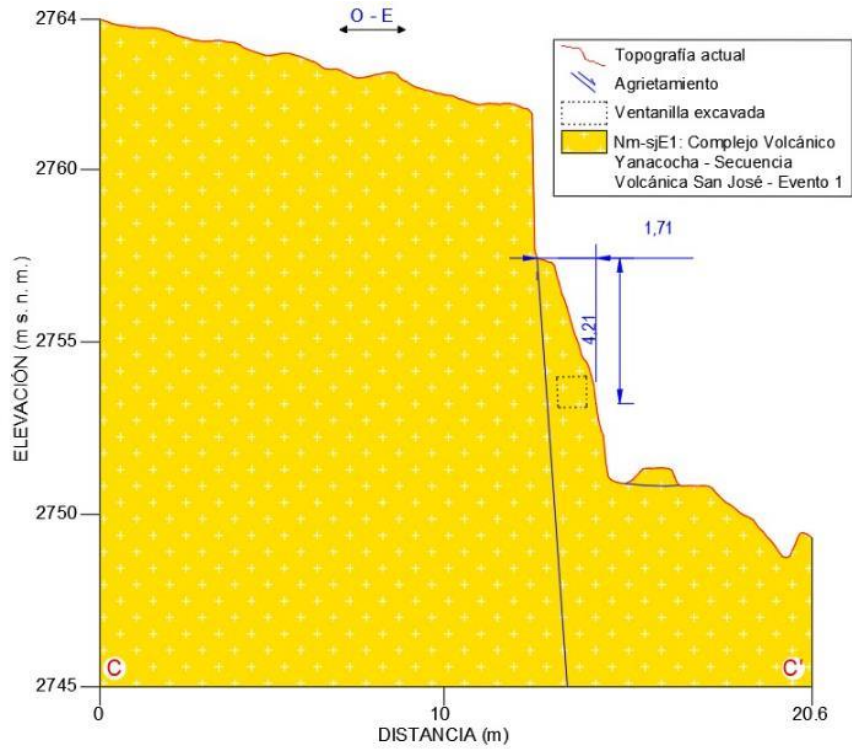


Figura 29. Perfil C-C', mostrando una discontinuidad sub vertical con tendencia a favor del talud. **Ubicación:** E: 780796; N: 9211580; Z: 2761.9.



Figura 30. Detalle de la zona del Perfil C-C', donde se observa un bloque rocoso muy inestable debido a que la misma excavación antrópica para la conformación de los nichos funerarios ha debilitado el pie del talud.

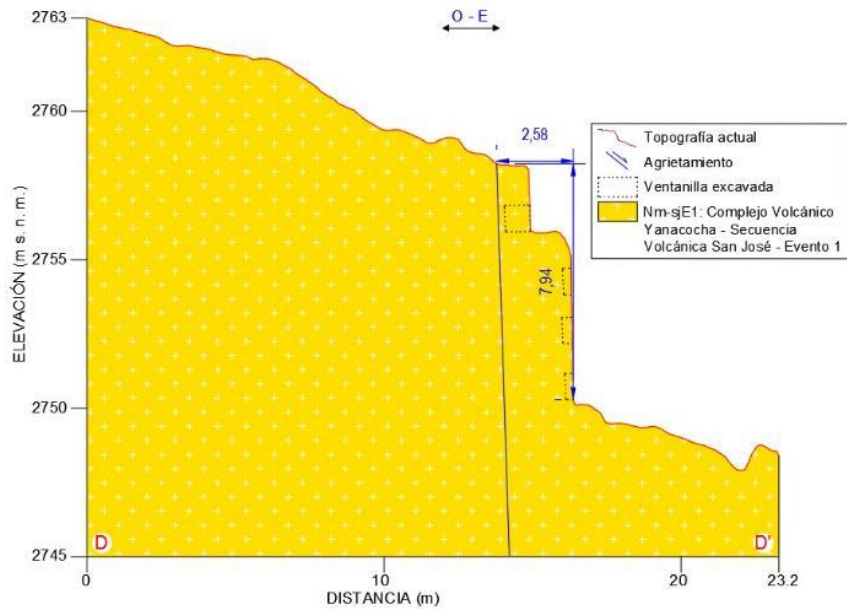


Figura 31. Perfil D-D', mostrando dos discontinuidades sub verticales con tendencia a favor del talud. **Ubicación:** E: 780798; N: 9211594; Z: 2758.2.



Fotografía 8. Detalle de la zona del Perfil D-D', donde se observa una gran densidad de nichos funerarios excavados en la cara del talud, cavidades que han contribuido a la alta inestabilidad del mismo talud.

- En el Perfil E-E' (Figura 24 y fotografía 12) no se distinguen discontinuidades abiertas que condicionen a la inestabilidad del talud; sin embargo, es la erosión y meteorización lo que ha destruido el patrimonio cultural.

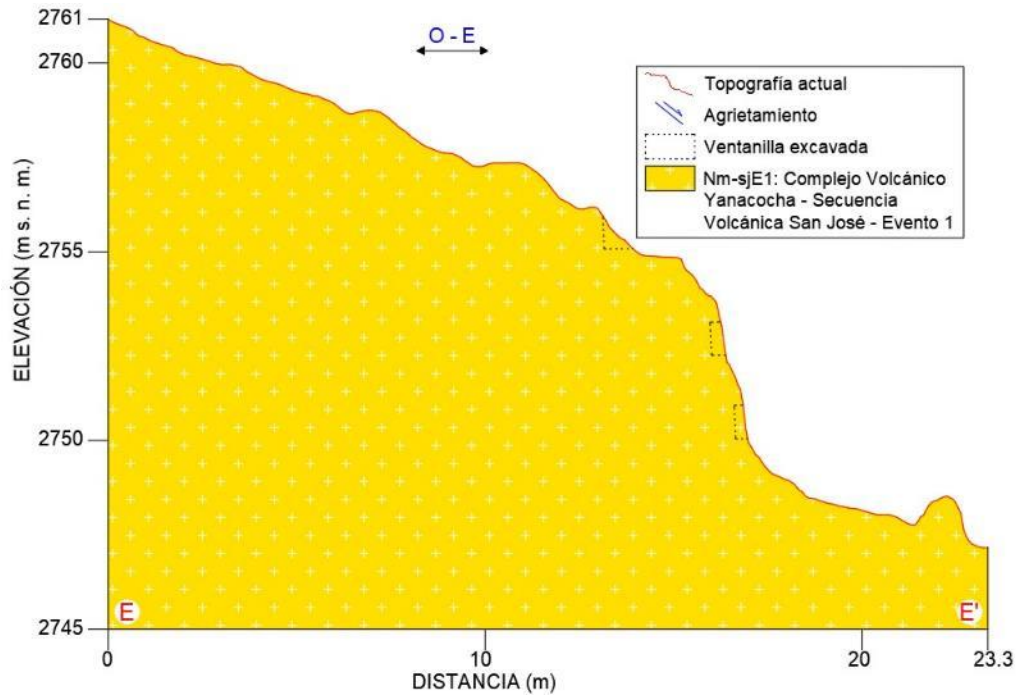


Figura 32. Perfil E-E', mostrando el relieve erosionado del talud. **Ubicación:** E: 780798; N: 9211618; Z: 2754.9.



Fotografía 9. Detalle de la zona del Perfil E-E', donde se aprecian nichos funerarios colapsados debido a la meteorización y erosión misma del talud, por procesos pluviales y eólicos.

5.2. Daños

El principal daño es el deterioro acelerado del sitio arqueológico Ventanillas de Otuzco, lo cual significa la pérdida del patrimonio histórico del departamento de Cajamarca (fotografía 10).

El camino por donde transitan los turistas se encuentra a 5 m del frotis donde se ubican los nichos fúnebres, lugar donde se origina el evento de caída de rocas, las cuales puede atentar contra su integridad física de los transeúntes. (fotografía 11).



Fotografía 10. Se puede apreciar los nichos fúnebres muy deteriorados (poco a medianamente fracturados y moderadamente hasta altamente meteorizados), si no se toman medidas de remediación este sitio arqueológico quedará totalmente destruido.



Fotografía 11. Se puede apreciar que los turistas transitan por la parte baja del frente donde se ubican los nichos funerarios, su integridad física queda expuesta por la caída de rocas.

6. CONCLUSIONES

- a. La unidad litoestratigráfica que aflora en el sector evaluado, sitio arqueológico Ventanillas de Otuzco, corresponde a la secuencia volcánica San José, evento 2, conformado por depósitos piroclásticos de pómez y cenizas, gris blanquecinas amarillentas, los cuales se encuentra poco a medianamente fracturadas y moderadamente hasta altamente meteorizados; en la parte frontal del sitio arqueológico.
- b. La pendiente en el frontis del sitio arqueológico es de terreno muy escarpado ($<45^\circ$), factor importante para la generación de caída de rocas.
- c. Se han determinado tres familias de discontinuidades principales, que son críticas ante rotura planar y en cuña, las demás discontinuidades no configuran un azimut preferente agrupable; además, los bloques de roca intacta tienen una resistencia a la compresión uniaxial baja (15 a 25 MPa) y el macizo rocoso una blocosidad regular (GSI de 60), por lo que se lo considera de regular a mala calidad.
- d. Geomorfológicamente el sitio arqueológico Ventanillas de Otuzco, se encuentra sobre la subunidad de Subunidad de lomada en roca volcánico - sedimentaria (L-rvs), con pendientes de moderada (5° - 15°) a terrenos muy escarpados ($>45^\circ$).
- e. La resistencia global del macizo rocoso es muy baja (<5 MPa) y la misma naturaleza piroclástica de la roca la hace muy susceptibles a erosión y meteorización, sumado a la misma excavación realizada por los antiguos pobladores para la elaboración de los nichos funerarios, han quitado resistencia al pie del talud.
- f. El 27 de enero de 2023, en el sitio arqueológico Ventanillas de Otuzco, se generó una caída de rocas, que generó bloques con tamaños de 4.20 m y 1.20 m. Debido al evento, el frontis de atractivo turístico de los nichos funerarios se ha deteriorado, así mismo se observó en frontis bloques sueltos, que pueden desprenderse, estos se encuentran cerca del camino por donde transitan los turistas.
- g. Por las condiciones geológicas, geomorfológicas y geodinámicas el sitio arqueológico Ventanillas de Otuzco, se le considera de **peligro alto y zona crítica**, sujeto a caída de rocas.

7. RECOMENDACIONES

- a. Revestir los canales de derivación de aguas pluviales ubicados en la parte superior de los nichos fúnebres de las Ventanillas de Otuzco; además, se debe realizar mantenimiento periódico. Los trabajos deben efectuarse con el asesoramiento de un especialista.
- b. Con la finalidad de detener la infiltración de agua y disminuir el proceso de caída de rocas se debe sellar las fracturas ubicadas en la parte alta y en frontis donde se ubican los nichos o ventanillas, con aditivos especiales que no deterioren químicamente con los compuestos propios de la roca. El trabajo debe ser realizado por un especialista con experiencia.
- c. Construcción de una cobertura o techo, sobre el sitio arqueológico, como medida a largo plazo definitiva, este debe ser implementado bajo la propuesta de un equipo multidisciplinario, con un análisis adecuado de cargas, tamaño, zonas de evacuación de agua, contraste con el paisaje, entre otros.



LUIS MIGUEL LEON ORDAZ
Ingeniero Geólogo
Reg. CIP. N° 215610

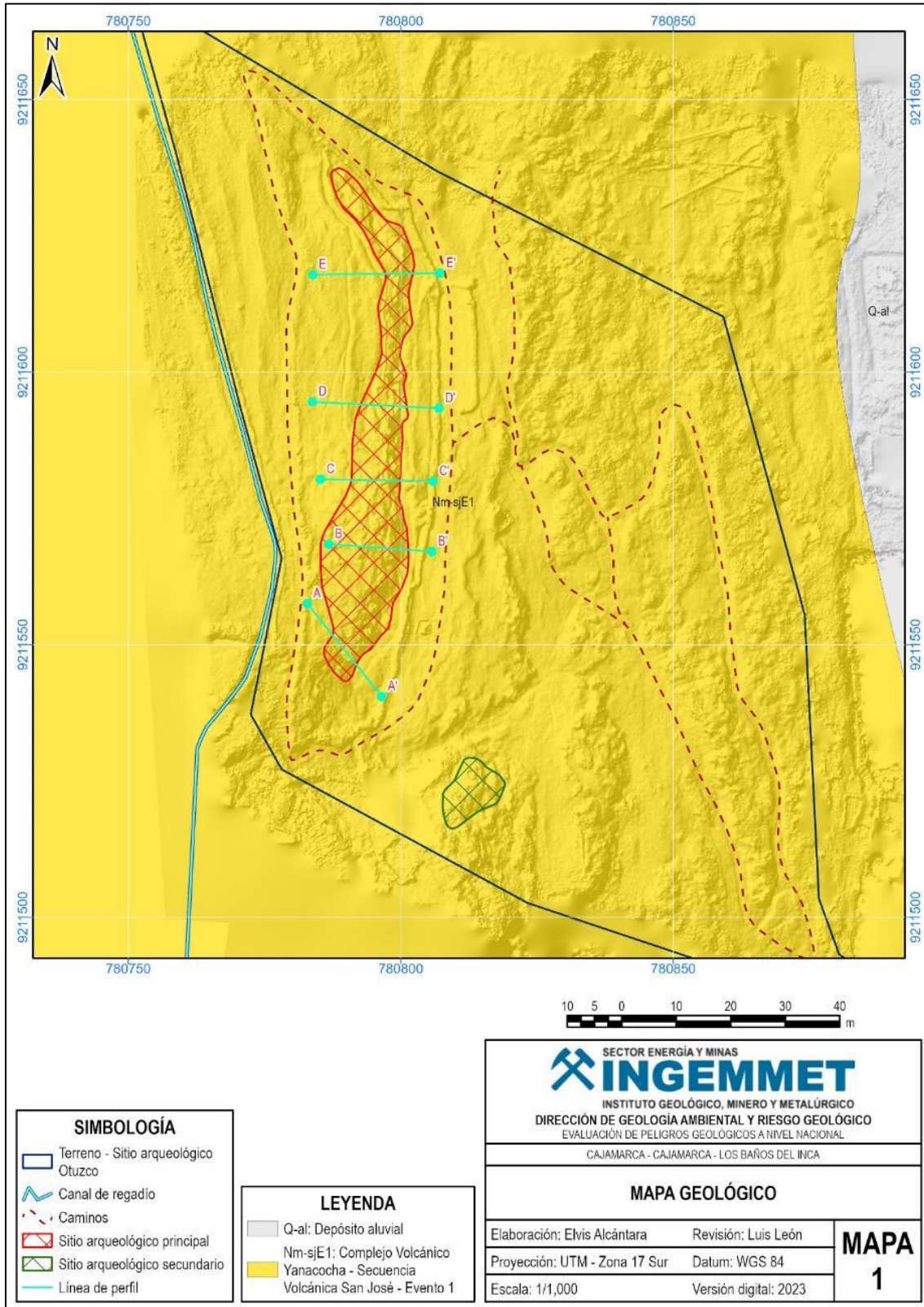


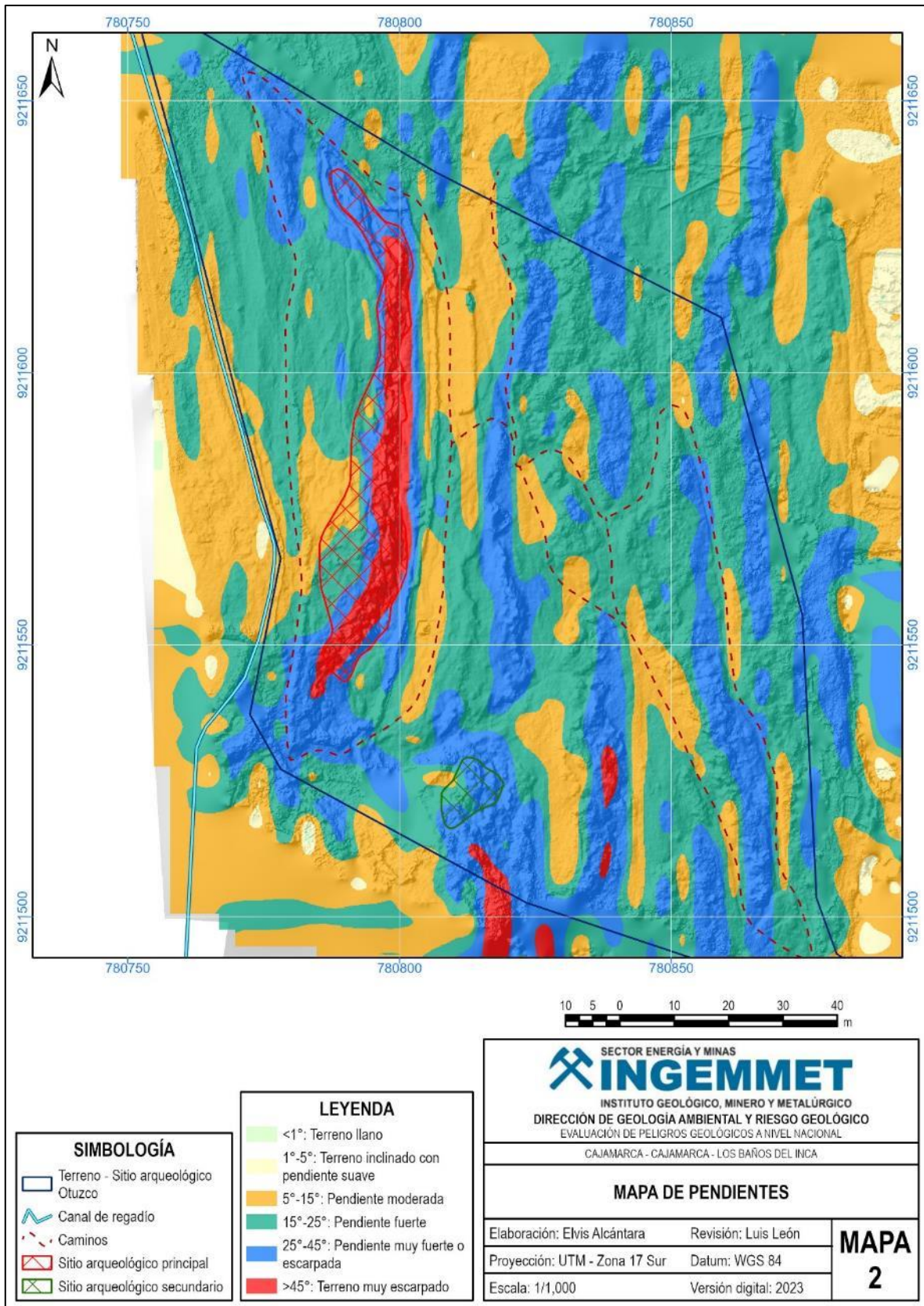
Ing. LIONEL V. FIDEL SMOLL
Director
Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico
INGEMMET

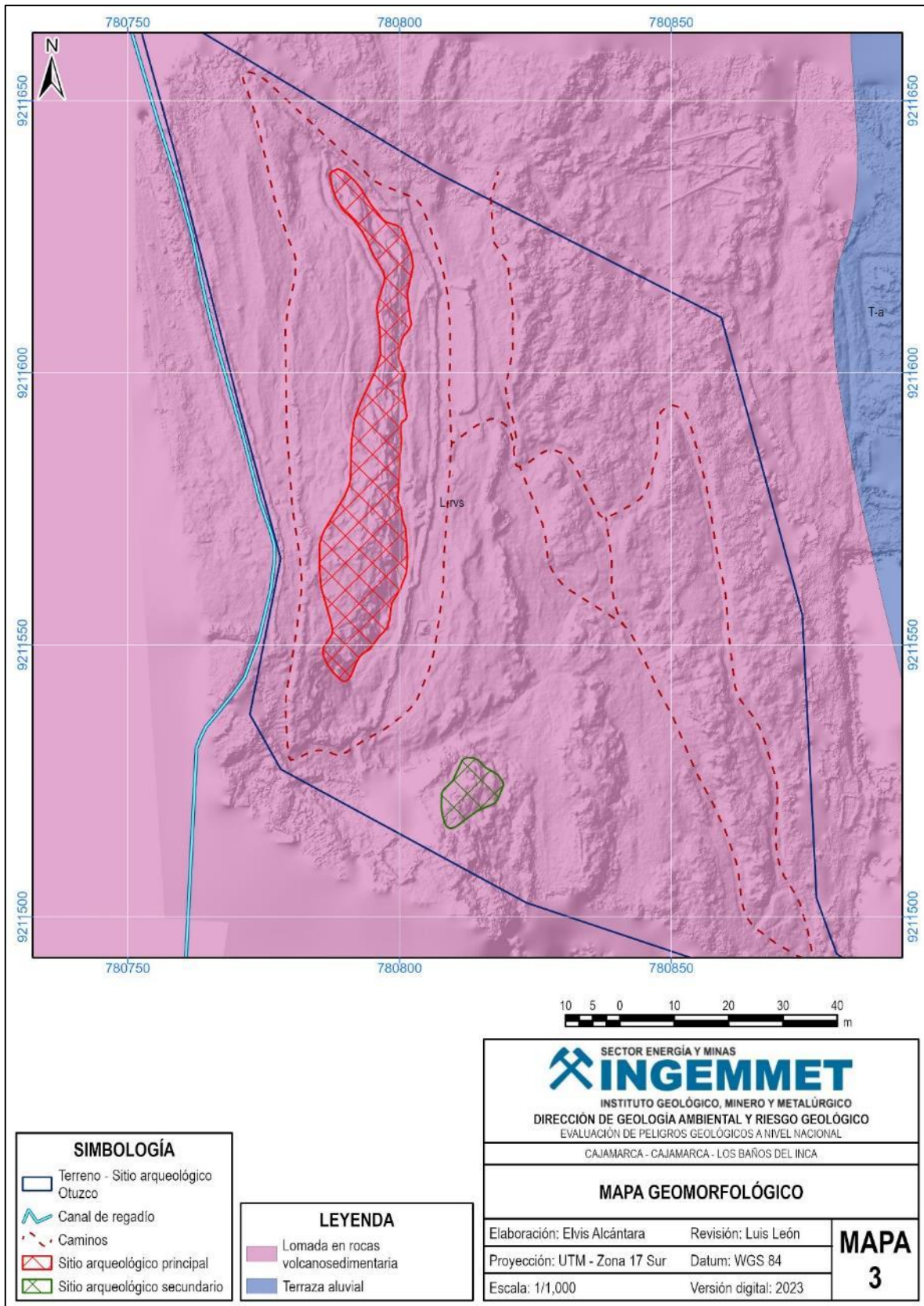
BIBLIOGRAFÍA

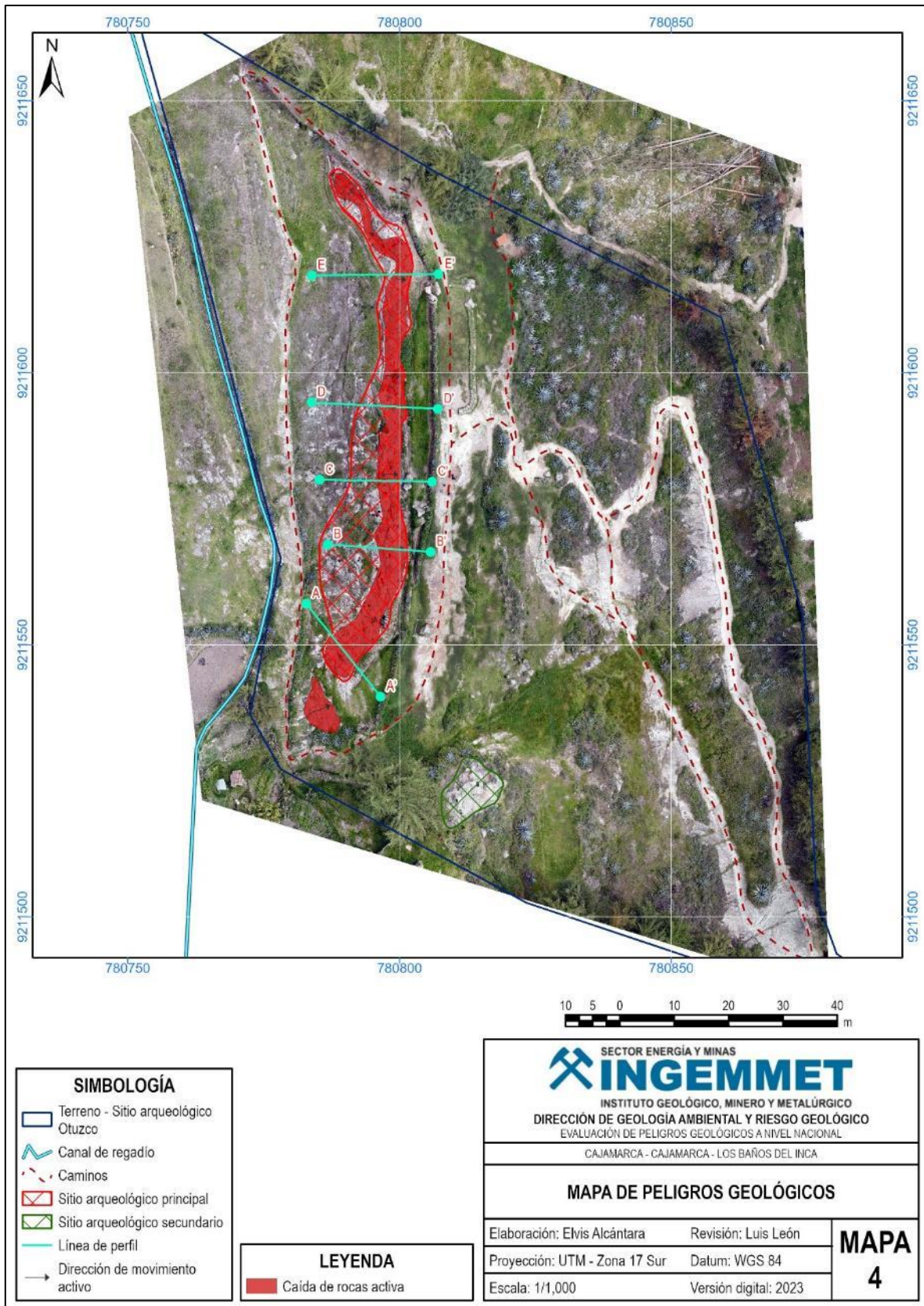
- Corominas Dulcet, J., & García Yagué A. (1997). Terminología de los movimientos de laderas, en Memorias, IV Simposio Nacional sobre Taludes y Laderas Inestables, Granada, España, p. 1051–1072.
- Cruden, D.M., Varnes, D.J. (1996). Landslide types and processes, en Turner, K., y Schuster, R.L., ed., Landslides investigation and mitigation: Washington D. C, National Academy Press, Transportation Research Board Special Report 247.
- Hoek, E. (2007). Rock Mass Properties. En Practical Rock Engineering (2a ed., pp. 190–236). Rocscience.
- González, L. I. (2004). Ingeniería Geológica. Madrid: Isabel Capella.
- Julio de la Cruz W. (1995). Geología de los cuadrángulos de Río Santa Águeda, San Ignacio y Aramango. Boletín N° 57 Serie A: Carta Geológica Nacional.
- Pimentel, F. (2011). Retroanálisis para la determinación de los coeficientes de restitución de gneis y depósitos de talud. Instituto de geociencias de la Universidad federal de Rio de Janeiro. 48p.
- Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas. (2007) - Movimientos en Masa en la Región Andina: Una guía para la evaluación de amenazas. Santiago: Servicio Nacional de Geología y Minería, 432 p., Publicación Geológica Multinacional. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/2830>.
- Reyes, L. (1980). Geología de los Cuadrángulos de Cajamarca (15-f), San Marcos (15-g) y Cajabamba (16-g) Boletín A 31 Serie A. Ingemmet (1a ed.). Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico - Ingemmet.
- Suarez, J. (2001). Control de Erosión.
- Suarez, J. (s.f.). Deslizamientos: Análisis geotécnico.
- Suarez, J. (s.f.). Respuesta hidrogeológica de los deslizamientos de tierra. II Congreso colombiano de hidrogeología, 12.
- Varnes, D. J. (1978). Slope movements types and processes, en Schuster R.L., y Krizek R.J., ed, Landslides analysis and control: Washington D. C, National Academy Press, Transportation Research Board Special Report 176.
- Villota, H. (2005). Geomorfología aplicada a levantamientos edafológicos y zonificación física de tierras. España: Instituto Geográfico Agustín Codazzi-IGAC (Departamento Nacional de Estadística).
- Zavala, B. & Rosado, M. (2010). Riesgo geológico en la región Cajamarca. INGEMMET, Boletín, Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica.

ANEXO 1. MAPAS









ANEXO 2. MEDIDAS CORRECTIVAS

Revestimiento de canales

Los canales tienen como finalidad recoger las aguas superficiales o aquellas recogidas por los drenajes profundos y evacuarlas lejos del talud para así evitar su infiltración (figura A1). Las aguas de escorrentía se evacúan por medio de zanjas de drenaje (cunetas de coronación), impermeabilizadas. Estas deben situarse detrás del frontis donde están ubicados los nichos fúnebres, de manera que eviten la llegada del agua. El cálculo de la sección debe hacerse con los métodos hidrológicos.

Colocación de cubiertas arquitectónicas

Mantener esos componentes del patrimonio arqueológico en su sitio, y propiciar las mejores condiciones para su conservación, es el motivo por el cual la arqueología, desde sus orígenes, ha recurrido a la colocación de cubiertas protectoras.

La colocación de una cubierta arquitectónica debe realizarse en un marco de coordinación entre profesionales de las diversas disciplinas, cuyo interés primordial sea la conservación de los monumentos arqueológicos. Las competencias de intervención estarán determinadas por los perfiles profesionales involucrados. Deberá considerarse de manera inicial la participación de arqueólogos, conservadores de bienes culturales, arquitectos restauradores, ingenieros en estructuras y mecánica de suelos, con la participación, dependiendo de la complejidad de cada proyecto, de otros expertos.



Figura A2. Ejemplo de monumento arqueológico, protegido por una cubierta, sobre una estructura metálica.