

DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO

Informe Técnico N° A7518

EVALUACIÓN DE PELIGRO GEOLÓGICO POR HUNDIMIENTO EN EL CASERÍO MARAYPATA

Departamento: Cajamarca
Provincia: Celendín
Distrito: Celendín



JUNIO
2024

EVALUACIÓN DE PELIGRO GEOLÓGICO POR HUNDIMIENTO EN EL CASERÍO MARAYPATA

**Departamento Cajamarca
Provincia Celendín
Distrito de Celendín**



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

León, L. (2024). Evaluación de peligro geológico por hundimiento en el caserío Maraypata, distrito y provincia Celendín, departamento Cajamarca. Lima: Ingemmet, Informe Técnico N° A7518, 33 p.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	5
1.1. Objetivos del estudio	5
1.2. Antecedentes y trabajos anteriores	6
1.3. Aspectos generales	6
2. DEFINICIONES.....	9
3. ASPECTO GEOLÓGICO	11
3.1. Unidades litoestratigráficas.....	11
4. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS	13
4.1. Modelo digital de elevaciones (MDE)	13
4.2. Pendiente del terreno	14
5. PELIGROS GEOLÓGICOS	15
5.1. Hundimiento	17
5.2. Hundimientos en la localidad de Maraypata	18
5.3. Factores condicionantes.....	22
5.4. Factores desencadenantes	24
5.5. Daños.....	24
6. CONCLUSIONES	25
7. RECOMENDACIONES	26
8. BIBLIOGRAFÍA	27
ANEXO 1. MAPAS	28
ANEXO 2. MEDIDAS CORRECTIVAS	33

RESUMEN

El Instituto Geológico Minero y Metalúrgico – Ingemmet, a través de la Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico (DGAR), realiza el “Servicio de Asistencia Técnica en la Evaluación de Peligros Geológicos a Nivel Nacional (Actividad 11)”. Con este trabajo cumple con una de sus funciones que consiste en brindar asistencia técnica en peligros geológicos para los tres niveles de gobierno.

El presente informe técnico es el resultado de la evaluación de peligros geológicos por hundimiento en el caserío Maraypata, distrito y provincia Celendín, departamento Cajamarca.

En el sector evaluado se observan principalmente afloramientos de calizas de la Formación Cajamarca, color crema amarillento, cubiertas por depósitos coluvio deluviales de arcillas. Geomorfológicamente, se presentan subunidades de colinas estructurales en roca sedimentaria (CE-rs), colinas en roca sedimentaria (C-rs) y vertiente coluvio deluvial (V-cd), cuyas laderas presentan inclinaciones y pendientes suaves (1° a 5°) hasta fuerte (15° a 25°).

Los factores geológicos que condicionan la ocurrencia de los hundimientos se configuran por la presencia de substratos de rocas calizas (solubles), medianamente a muy fracturadas y altamente meteorizadas y terrenos con pendiente suave (1° - 5°), que favorece la filtración de agua de lluvia, además de la falta de revestimiento y mantenimiento del canal Sendamal – El Toro, que también ha sido afectado por estos hundimientos. Por otro lado, se le atribuye como factor detonante a las lluvias intensas y/o prolongadas registradas en la zona.

A lo largo de un tramo de 530 m del canal Sendamal – El Toro, se evidencia la presencia de seis hundimientos, lo cual interrumpió el curso de agua por dicho canal, generando alarma y preocupación en las poblaciones cercanas.

Por las condiciones geológicas, geomorfológicas mencionadas anteriormente, el sector evaluado en el caserío de Maraypata se considera de **Peligro Alto** por hundimiento.

Finalmente, se recomienda realizar estudios geofísicos, que permitan determinar la profundidad de las dolinas que puedan afectar viviendas cercanas. También implementar medidas estructurales de mitigación, como revestir los canales de agua y darles mantenimiento constante.

1. INTRODUCCIÓN

El Ingemmet, ente técnico-científico que desarrolla a través de los proyectos de la Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico (DGAR), el “Servicio de Asistencia Técnica en la Evaluación de Peligros Geológicos a Nivel Nacional (ACT. 11)”, Con este trabajo cumple con una de sus funciones que consiste en brindar asistencia técnica en peligros geológicos para los tres niveles de gobierno.

Atendiendo el Oficio N° 180-2022-MPC/A, de la Municipalidad Provincial de Celendín, es en el marco de nuestras competencias que se realiza una evaluación de peligro geológico por hundimiento en el caserío Maraypata.

La Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico del Ingemmet designó a los ingenieros Luis León Ordáz y Elvis Alcántara Quispe, realizar la evaluación geológica, geomorfológica y geodinámica del peligro geológico por hundimiento que afecta el caserío Maraypata, los trabajos de campo se realizaron el 23 de julio del 2022.

La evaluación técnica se realizó en 03 etapas: etapa de pre-campo con la recopilación de antecedentes e información geológica y geomorfológica del INGEMMET; etapa de campo a través de la observación, toma de datos (sobrevuelos dron, puntos GPS, tomas fotográficas), cartografiado, recopilación de información y testimonios de población local afectada; y para la etapa final de gabinete se realizó el procesamiento de toda información terrestre y aérea adquirida en campo, fotointerpretación de imágenes satelitales, cartografiado e interpretación, elaboración de mapas, figuras temáticas y redacción del informe.

Este informe se pone a consideración de la Municipalidad Provincial de Celendín, Gobierno Regional de Cajamarca e instituciones técnico normativas del Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres – Sinagerd, como el Instituto Nacional de Defensa Civil – INDECI y el Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastre - CENEPRED, a fin de proporcionar información técnica de la inspección, conclusiones y recomendaciones que contribuyan con la reducción del riesgo de desastres en el marco de la Ley 29664.

1.1. Objetivos del estudio

El presente trabajo tiene como objetivos:

- a) Evaluar, tipificar y caracterizar los peligros geológicos por hundimiento que se presenta en el caserío Maraypata.
- 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) En el Boletín N° 38 Serie A, Geología de los Cuadrángulos de Jayanca, Incahuasi, Cutervo, Chiclayo, Chongoyape, Chota, Celendín, Pacasmayo, Chepén (Wilson, 1984) menciona que la zona presenta rocas sedimentarias carbonatadas de la Formación Cajamarca y Celendín.
- b) El estudio desarrollado por Zavala y Rosado (2011), titulado “Riesgo Geológico en la Región Cajamarca”, indica que en la provincia de Celendín se identificaron tres peligros por hundimiento.

1.3. Aspectos generales

1.3.1 Ubicación

El caserío de Maraypata, se ubica a 12.7 km, al oeste de la ciudad de Celendín, políticamente pertenece al distrito y provincia Celendín, departamento Cajamarca.

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	
	<i>Este</i>	<i>Norte</i>	<i>Latitud</i>	<i>Longitud</i>
1	809900	9240300	-6.864710°	-78.196129°
2	809900	9239775	-6.869454°	-78.196098°
3	809420	9239775	-6.869479°	-78.200440°
4	809420	9240300	-6.864736°	-78.200470°
COORDENADA CENTRAL DE LA ZONA EVALUADA O EVENTO PRINCIPAL				
C	809553	9240125	-6.866309°	-78.199257°

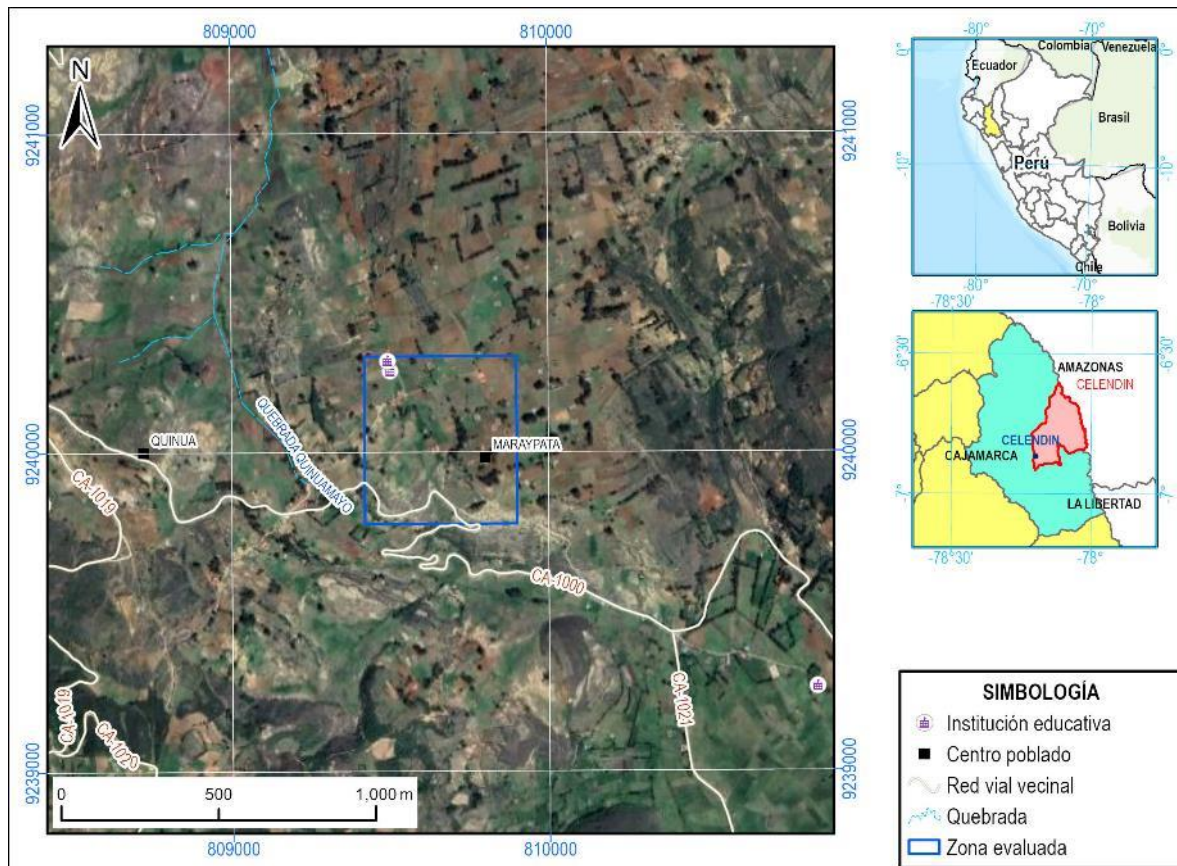


Figura 1. Ubicación área evaluada en el caserío Maraypata.

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: caserío de Maraypata

Ruta	Tipo de vía	Distancia (km)	Tiempo estimado
Cajamarca – Celendín	Asfaltada	175.3	3 horas
Celendín – Maraypata	Afirmada	12.7	30 minutos

1.3.3 Clima

Según el método de Clasificación Climática de Warren Thornthwaite - (Senamhi, 2020), la zona de estudio posee un clima lluvioso con otoño e invierno secos, templado (B (o, i) B'), con una temperatura máxima promedio de hasta 23°C, una temperatura mínima promedio desde 3°C y una precipitación anual entre 700 mm a 1 500 mm.

Durante el mes de marzo del 2022, en la estación más próxima (La Encañada), se registraron precipitaciones de hasta 37.4 mm/día y en el mes de abril precipitaciones de hasta 28.9 mm/día (gráfico 1 y 2), considerados por el Senamhi como Muy Lluvioso, (Senamhi, 2014).

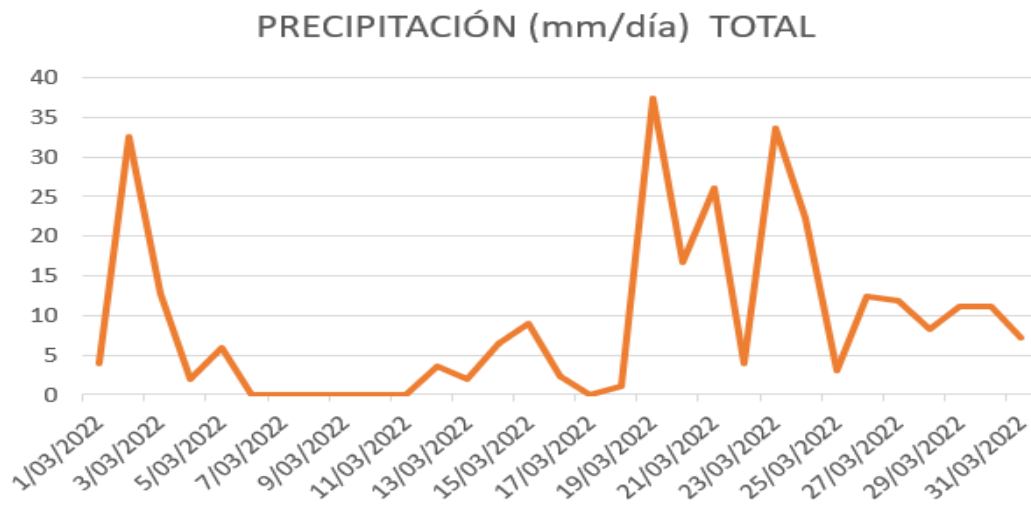


Gráfico 1. Precipitación diaria en el mes de marzo del año 2023, en la Estación La Encañada.
 Fuente: Senamhi.

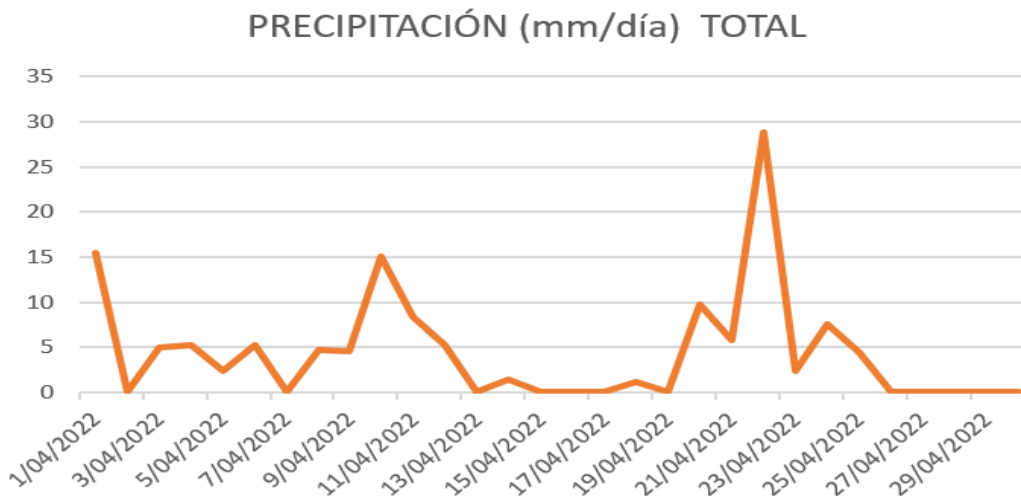


Gráfico 2. Precipitación diaria en el mes de abril del año 2023, en la Estación La Encañada.
 Fuente: Senamhi.

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 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.

Aluvial: Génesis de la forma de un terreno o depósito de material debida a la acción de las corrientes naturales de agua.

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.

Caverna: Es un espacio vacío en el subsuelo que alcanza grandes dimensiones, pudiendo tener disposición horizontal, vertical u oblicua, como resultado de la disolución de rocas calcáreas (proceso kárstico). Dentro de las cavernas pueden encontrarse su paisaje de karst entre las cuales se tienen estalactitas, estalagmitas, pilares y travertinos (figura 12).

Deluvial: Terreno constituido por enormes depósitos de materiales que fueron transportados por grandes corrientes de agua.

Dolina: Hoyos cerrados en forma de embudo o de cuenco, con sus lados rocosos o cubiertos de suelo y vegetación, de forma circular o elíptica en vista de planta, cuyas dimensiones varían entre 2 y 100 m de profundidad y entre 10 y 100 m de diámetro, pueden ocurrir aisladas o en grupos (Villota, 2005). Las dolinas pueden clasificarse como:

Dolinas de desplome: Se forman donde el techo de una caverna cae, dejando un pozo de paredes verticales y a menudo angulares.

Dolinas de subsidencia: Se forman donde yacen depósitos de cobertura sobre las calizas; un desplome puede involucrar la capa de cobertura, la cual será

gradualmente descendida o llevada hacia el interior de la cavidad, para dejar un hueco cónico.

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.

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.

Hundimiento: Desplazamiento vertical brusco de una masa de suelo o roca debido en muchas ocasiones a la falla estructural de la bóveda de una cavidad subterránea. Suelen estar asociados a procesos de disolución de rocas carbonatadas o a la minería subterránea (Hauser, 2000).

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 Celendín, hoja 14 – g, elaborado por Wilson, J. (1984), escala 1:100 000, 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 sedimentario, de las Formaciones Cajamarca, Celendín, el Grupo Pullucana y depósitos de origen coluvio - deluvial.

3.1.1 Formación Celendín (Ks-ce)

Compuesta por capas delgadas de caliza nodular arcillosa, intercaladas con margas y lutitas. Las lutitas y margas son grises o gris azuladas mientras la caliza es crema oscura a marrón. En general las margas y lutitas, predominan sobre las calizas. La formación es fosilífera y contiene una fauna variada de amonites, lamelibranquios, gasterópodos y echinoideos. (Wilson, J., 1984).

3.1.2 Formación Cajamarca (Ks-ca)

La Formación Cajamarca alcanza su desarrollo máximo en los cuadrángulos de Chota y Celendín, donde tiene un grosor promedio de 500 m. y llega a cerca de 700 m. en algunas áreas. Estos grosores continúan hacia el sur en la región de Cajamarca (BENAVIDES V., 1956).

En el sector evaluado se identificó un afloramiento de calizas nodulares, altamente meteorizada y medianamente a muy fracturada, de color gris y crema (fotografía 1).



Fotografía 1. Calizas altamente meteorizadas y medianamente a muy fracturadas, Formación Cajamarca.
Coordenadas UTM, WGS-84, 17S. **Norte:** 9239851 y **Este:** 809479.

3.1.3 Depósito coluvio - deluvial (Q-cd)

Lo conforman bloques y gravas en matriz limo arcillosa, son depósitos poco consolidados (fotografía 2). Esta unidad cobertura las Formaciones Cajamarca y Celendín.



Fotografía 2. Se observa los depósito coluvio-deluvial, conformados por bloques y gravas en matriz limo arcillosa.
Coordenadas UTM, WGS-84, 17S. **Norte:** 9239950 y **Este:** 809827.

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 50 cm por pixel, y 10 cm por pixel para la ortofoto, información que fue complementada con el análisis de imágenes satelitales, análisis morfométrico del relieve y cartografiada in situ.

4.1. Modelo digital de elevaciones (MDE)

La zona de estudio, se distribuye sobre un relieve con elevaciones de 2700 m a 2760 m; se clasificó en seis niveles altitudinales, con la finalidad de visualizar la extensión del área respecto a la diferencia de alturas, donde los niveles más extensos corresponden a pendientes menores y los de menor aquellos que presentes mayor diferencia de alturas (figura 3).

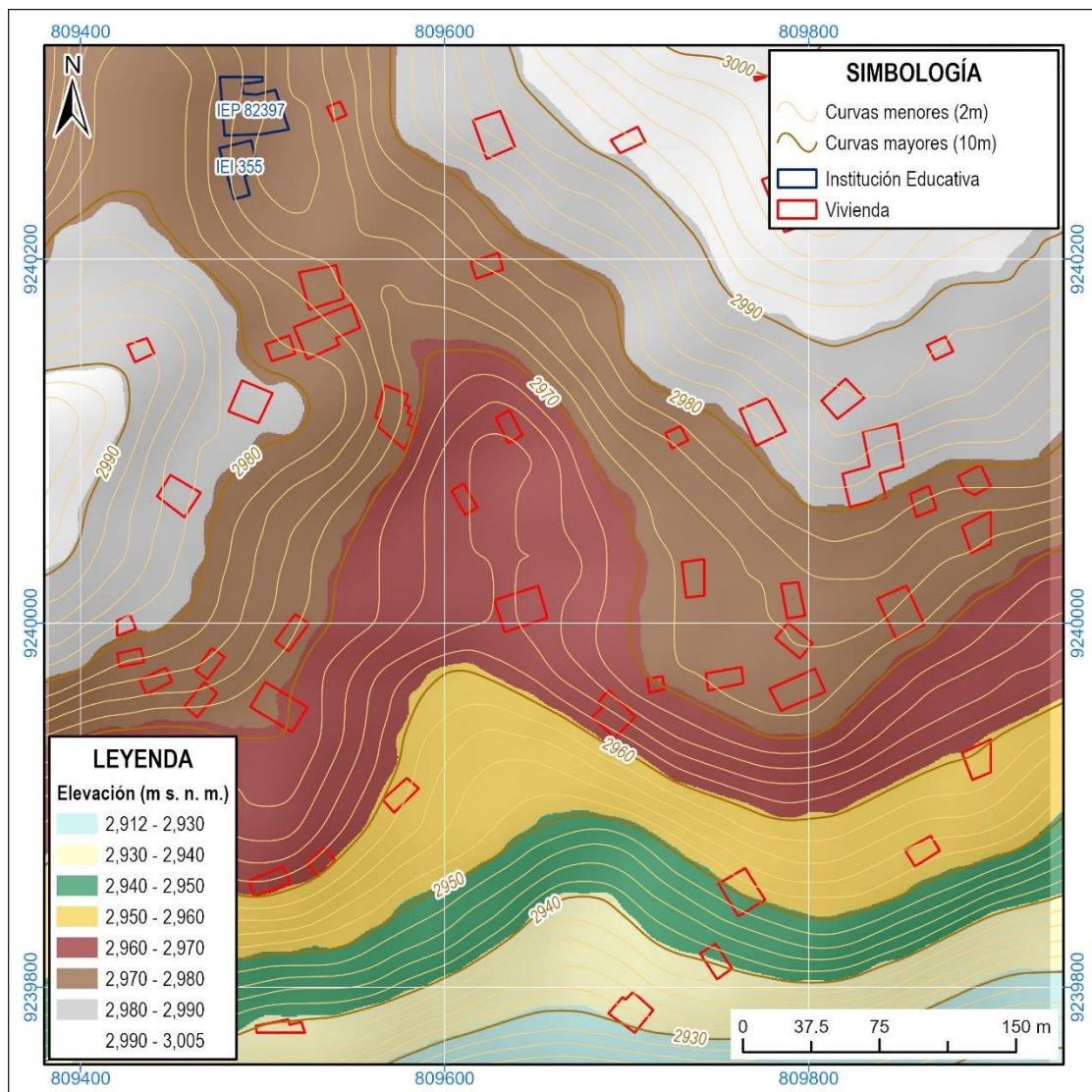


Figura 3. Modelo digital de elevaciones de la zona evaluada.

4.2. Pendiente del terreno

En el sector evaluado de las seis categorías y/o rangos de pendientes estipulado en los estudios de peligros, en la zona se presentan pendientes variables, desde terreno llano ($<1^\circ$) a pendiente moderada (5° a 15°), (figura 4, mapa 2).



Figura 4. La ladera donde se desencadenó el hundimiento (H1), pendiente promedio de 12° .

4.3. Unidades Geomorfológicas

Para la clasificación y caracterización de las unidades geomorfológicas en la localidad de Maraypata, se han empleado los trabajos de Villota (2005), Zavala *et al* (2011) 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).

Subunidad de colinas estructurales en roca sedimentaria (CE-rs)

En el área de estudio se identificó la unidad morfológica de colina estructural desarrollada en rocas sedimentarias. Litológicamente corresponde a rocas sedimentarias de la Formación Cajamarca (Ks-ca), sus laderas presentan terrenos inclinados con pendiente suave (1° a 5°) hasta pendiente fuerte (15° a 25°).

Subunidad de colinas en roca sedimentaria (RC- rs)

Representada por colinas con una altura menor a 300 m desde el nivel de base y con inclinación de laderas presentan terrenos inclinados con pendiente suave (1° a 5°) hasta pendiente fuerte (15° a 25°).

Esta unidad se ubica próxima a la unidad de montañas y viene a formar parte de la cordillera. Estas geoformas presentan baja a moderada susceptibilidad a ser afectados por movimientos en masa y se asocian a la ocurrencia de caída de rocas, derrumbes y deslizamientos.

Vertiente coluvio deluvial (V-cd)

Son unidades conformadas por la acumulación intercalada de materiales de origen coluvial y deluvial. Se encuentran interestratificados y no es posible separarlas como unidades individuales:

Esta unidad se encuentra depositada al pie de las laderas de montañas o acantilados (Vílchez et al., 2019). Se formó por la acción de movimientos en masa antiguos (gravitacionales y fluvio-gravitacionales), presenta terrenos inclinados con pendiente suave (1° a 5°) hasta pendiente moderada (5° a 15°).

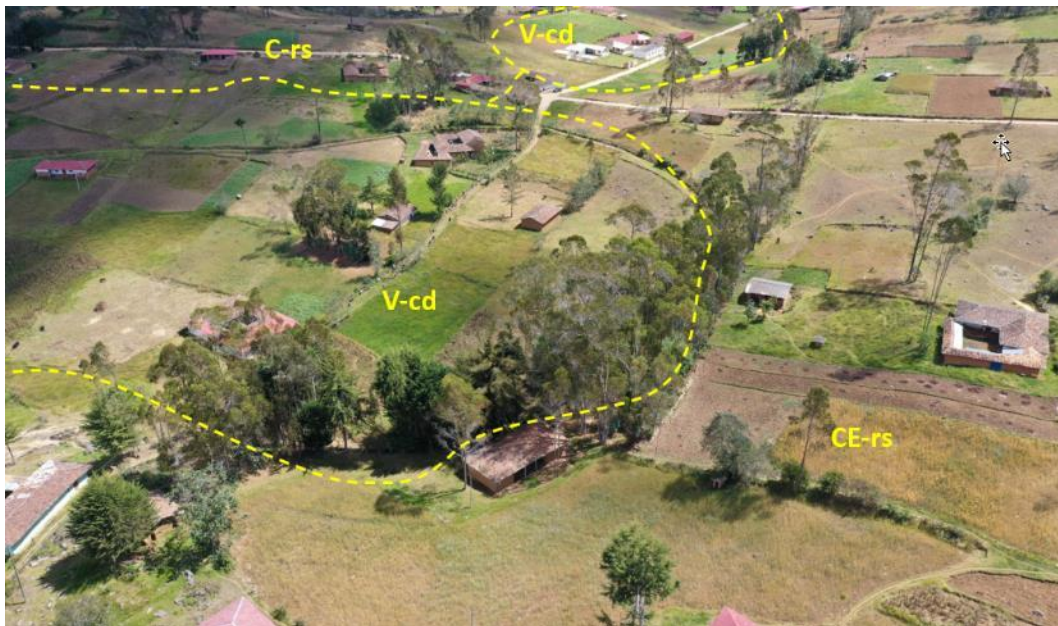


Figura 4. Se aprecia las diferentes sub unidades geomorfológicas en el caserío de Maraypata.

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.

Los peligros geológicos identificados, corresponden a la clasificación de otros peligros geológicos, tipo hundimientos, desarrollados a lo largo del trayecto del canal Sendamal – El Toro (figuras 5 al 7).

La mecánica del hundimiento resulta del colapso subterráneo de una cavidad, asociado a la disolución de rocas carbonatadas (en este caso las calizas nodulares de la Formación Cajamarca), aunado a la incidencia del canal existente que aporta

agua por filtración que contribuye a la disolución de las calizas con procesos kársticos (dolinas), hacia bajo del depósito coluvio – deluvial.



Figura 5. Dolina (líneas discontinuas color blanco), ubicada al noroeste del sector evaluado.
Coordenadas UTM, WGS-84, 17S. **Norte:** 9240124 y **Este:** 809552.



Figura 6. Dolinas (líneas discontinuas color blanco), ubicadas al sureste del sector evaluado
Coordenadas UTM, WGS-84, 17S. **Norte:** 9239951 y **Este:** 809841.



Figura 7. Dolina (líneas discontinuas color blanco), ubicada al sureste del sector evaluado.
Coordenadas UTM, WGS-84, 17S. **Norte:** 9239950 y **Este:** 809827.

5.1. Hundimiento

Es el descenso o movimiento vertical de una porción de suelo o roca que cede a causa de fenómenos kársticos, depresión del nivel freático, labores mineras antiguas o abandonadas, o también pueden ocurrir debido a fenómenos de licuación de arenas o por una deficiente compactación diferencial de suelos; pueden suceder por:

- Procesos de disolución de rocas calcárea, por circulación de aguas subterráneas (cavernas naturales).

Los materiales afectados son rocas calcáreas (calizas y dolomitas), conjunto de rocas que contienen más del 50% de minerales de carbonato, siendo el más común la calcita (CaCO_3), también se tiene aragonito (CaCO_3 cristalizado) y la dolomita ($\text{Ca, Mg} (\text{CO}_3)_2$). El resto del material constituyente lo conforman impurezas de sílice, limos, minerales de arcilla y óxidos de hierro (Figura 9).

Los hundimientos como procesos y sus expresiones morfológicas como formas (dolinas de hundimiento) son las expresiones más notables de los peligros relacionados a karst (Ayala, F. y Olcina J. 2002). Los hundimientos pueden ser lentos (subsistencia) o rápidos (colapsos o desplome) (figura 8).

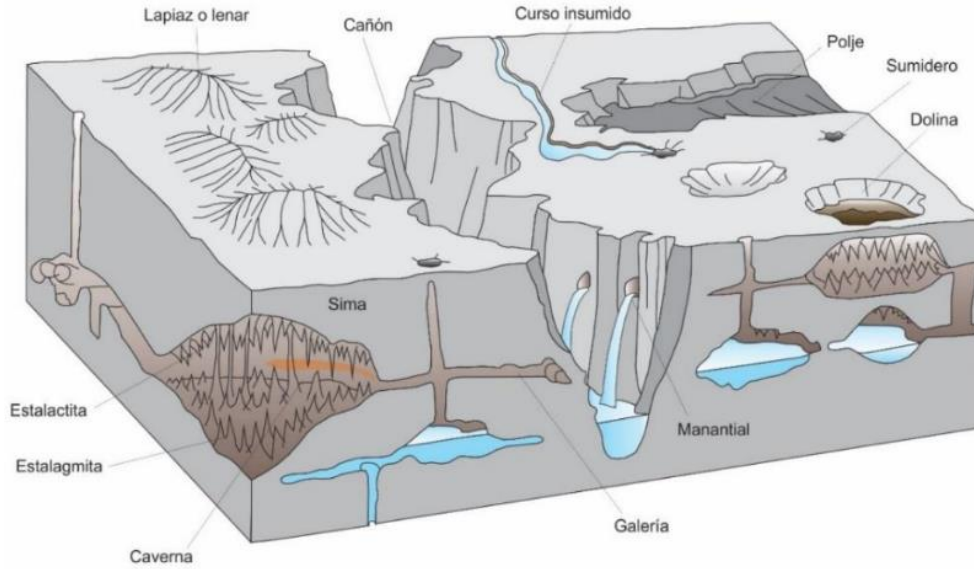


Figura 8: Esquema en la que se pueden observar las geformas presentes en una zona de karst.

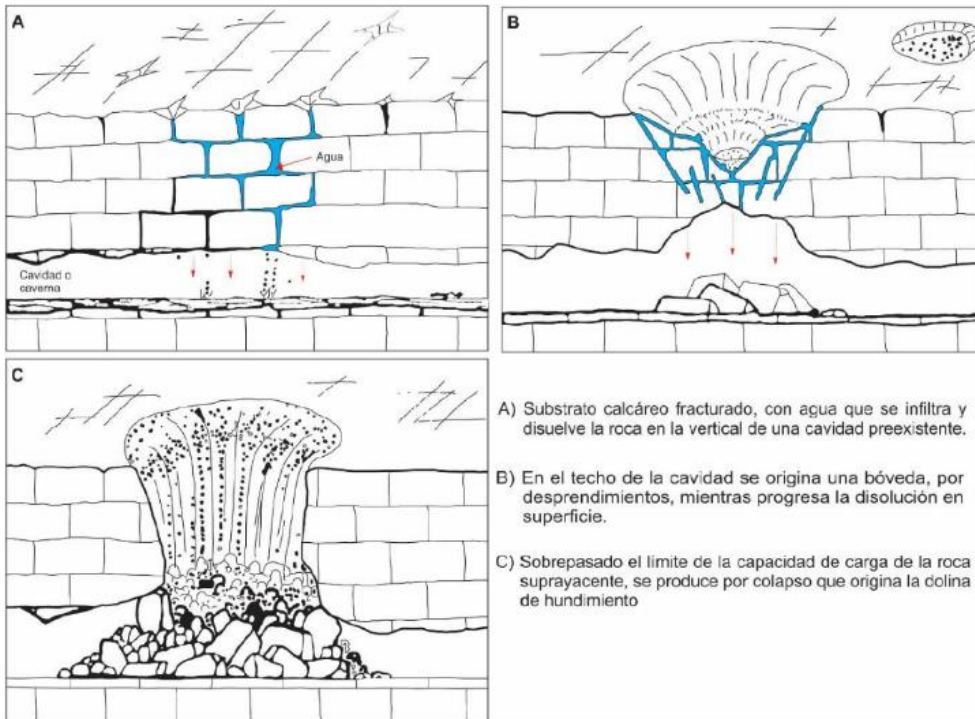


Figura 9: Esquema del proceso de formación de una dolina.

5.2. Hundimientos en la localidad de Maraypata

Los hundimientos identificados en la localidad de Maraypata, tiene como origen el proceso de disolución de rocas calcáreas (calizas) de la Formación Cajamarca; formando dolinas, el sustrato se encuentra medianamente a muy fracturadas,

altamente meteorizadas, donde la infiltración de agua y disuelve la roca, formando cavidades.

La infiltración de agua proveniente de las lluvias intensas, provocaron que el peso del material de la superficie (depósito coluvio-deluvial), supere la capacidad de carga del sustrato rocoso y se origine el hundimiento (dolina).

Puede ser también que, debido al mal estado del canal, (fisurado y sin revestimiento en algunos tramos) el agua de lluvia filtro fácilmente al subsuelo, produciéndose hasta en seis sectores con características en casa tramo. A continuación, se describe:

Hundimiento H1

- Forma: irregular (figura 10).
- Forma general: cónica
- Profundidad: desconocida (pobladores reportan una profundidad visual de 7 m, los cuales fueron rellenados con 10 volquetadas de material).
- Área: 39 m².



Figura 10. Se observa el canal Sendamal – El Toro afectado por el hundimiento.
Coordenadas UTM, WGS-84, 17S. **Norte:** 9240125 y **Este:** 809552.

Hundimiento H2

- Forma: irregular (figura 11).
- Forma general: cónica
- Profundidad: desconocida (pobladores reportan una profundidad visual de 3 m).
- Área: 15 m².



Figura 11. Se observa el hundimiento colinda con el canal Sendamal – El Toro.
Coordenadas UTM, WGS-84, 17S. **Norte:** 9239952 y **Este:** 809828.

Hundimiento H3

- Forma: semicircular (figura 12).
- Forma general: cónica
- Profundidad: desconocida (pobladores reportan una profundidad visual de 2.5 m).
- Área: 9.5 m².



Figura 12. Se observa el hundimiento relleno con material de la zona.
Coordenadas UTM, WGS-84, 17S. **Norte:** 9239947 y **Este:** 809834.

Hundimiento H4

- Forma: semicircular (figura 13).
- Forma general: cónica
- Profundidad: desconocida (profundidad visual de 0.9 m).
- Área: 45 m².



Figura 13. Se observa el hundimiento colinda con el canal Sendamal – El Toro.
Coordenadas UTM, WGS-84, 17S. **Norte:** 9239951 y **Este:** 809841.

Hundimiento H5

- Forma: semicircular (figura 14).
- Forma general: cónica
- Profundidad: desconocida (profundidad visual de 0.47 m).
- Área: 31.7 m².



Figura 14. Se observa el inicio del proceso de hundimiento.
Coordenadas UTM, WGS-84, 17S. **Norte:** 9240003 y **Este:** 809718.

Hundimiento H6

- Forma: semicircular.
- Forma general: cónica
- Profundidad: desconocida (profundidad visual de 0.7 m).
- Área: 21.6 m².

5.3. Factores condicionantes

Los factores que condicionan los procesos de hundimiento son variados y están relacionados con las características litológicas, pendiente del terreno y la circulación de aguas subterráneas.

Factor litológico

Las calizas de la Formación Cajamarca, se encuentra de medianamente a muy fracturada y altamente meteorizada, la cual se ve la presencia cavernas y galerías originados por la disolución de carbonatos.

Pendiente

La pendiente de los terrenos influye en la formación de estos procesos en calizas, tal es así que en terrenos de ligeramente inclinado (1° a 5°) y de pendiente moderada (5° a 15°), es mayor la permanencia de agua de lluvia, por lo tanto mayor filtración y saturación, acelerando el proceso de disolución de las calizas.

Factores antrópicos

Canaletas sin revestimiento y otras revestidas en mal estado de conservación, (con presencia de grietas y falta de mantenimiento), que permite una filtración acelerada de agua que conduce y contribuye al proceso de disolución de carbonatos de calizas de la Formación Cajamarca (figuras 15 y 16).



Figura 15. Hundimientos (H1, H5 y H6), se presentan a lo largo del canal de conducción de agua para riego (líneas celestes), Sendamal – El Toro.



Figura 16. Hundimientos (H2, H3 y H4), afectan canal de conducción de agua para riego (líneas celestes), Sendamal – El Toro; además se ubican a 20 metros de las viviendas de los pobladores.

5.4. Factores desencadenantes

Los pobladores indican los hundimientos ocurrieron por presencia precipitaciones intensas y prolongadas, entre los meses de noviembre del 2021 y abril del 2022, periodo de lluvias estacionales.

5.5. Daños

El daño principal se registra en la infraestructura del canal que conduce aguas para riego Sendamal - El Toro (figura 17), en el cual, a lo largo de un tramo de 530 m, se presentan diferentes hundimientos como los mostrados anteriormente.



Figura 17. Hundimiento 1 en un tramo de 7m del Canal Sendamal – El Toro

6. CONCLUSIONES

En base al análisis de información geológica, geomorfológica de la zona de estudio, así como a los trabajos de campo, y la evaluación de peligros geológicos, emitimos las siguientes conclusiones:

- a. En Maraypata, afloran calizas (Fm. Cajamarca), color crema amarillenta altamente meteorizadas y medianamente a muy fracturadas. Esas rocas presentan disolución química en contacto con el agua y son muy susceptibles a formar hundimientos y subsidencias. La secuencia calcárea se encuentra cubierta por depósitos coluvio deluviales.
- b. El caserío se encuentra sobre una subunidad de colinas estructurales en roca sedimentaria (CE-rs), colinas en roca sedimentaria (C-rs) y vertiente coluvio-deluvial (V-cd). Los terrenos presentan pendiente suave (1° a 5°) a pendiente moderada (5° a 15°).
- c. Se identificaron hundimientos, con profundidades de 2 a 10 m, de formas semicirculares, en aproximadamente seis sectores que abarcan un total de 530 m del trayecto del canal que conduce agua para riego Sendamal – El Toro. Estos hundimientos dejaron al canal inutilizable; además de causar preocupación en los pobladores que tienen sus viviendas en las proximidades de los hundimientos.
- d. Los factores condicionantes son: calizas medianamente a muy fracturada y altamente meteorizada de la Formación Cajamarca, permite la filtración de agua; la pendiente, a menor pendiente mayor permanencia de agua de lluvia en el terreno, por lo tanto mayor filtración y saturación; canaletas sin revestimiento y otras revestidas en mal estado de conservación, permite una filtración acelerada del agua que conduce; todos estos factores originan la disolución de carbonatos en calizas; como factor detonante se tiene las lluvias intensas y/o prolongadas en la zona.
- e. Por las condiciones geológicas, geomorfológicas y ante la ocurrencia de lluvias intensas, se considera al sector evaluado en la localidad de Maraypata de **Peligro Alto** ante hundimiento.

7. RECOMENDACIONES

Las recomendaciones que a continuación se brindan tienen por finalidad mitigar el impacto de los peligros geológicos. Así mismo, la implementación de dichas recomendaciones permitirá darle mayor seguridad a la población e infraestructura expuesta a los peligros antes mencionados.

- a. Restringir el tránsito peatonal y de animales cerca de las zonas de hundimiento. También prohibir la construcción de viviendas y otras obras civiles en la zona de influencia de los hundimientos, así como en zonas donde se identifique acumulación de agua.
- b. Construir un nuevo canal de agua, en un tramo sin hundimientos.
- c. Realizar trabajos geofísicos (tomografías eléctricas, sísmica de refracción, sísmica, etc.), con la finalidad de caracterizar a detalle el comportamiento kárstico del substrato rocoso y determinar las posibles subsidencias cercanas a futuras construcciones de obras y edificaciones, y poder adoptar las soluciones constructivas que minimicen los riesgos.
- d. Revestir los canales de drenaje y canales de agua para uso agrícola y evitar el riego por inundación, debido a que favorecen la infiltración de agua al subsuelo y origina los hundimientos.
- e. Construir un sistema de desagüe a impermeabilizado que recolecten las aguas de lluvia, evitando la infiltración de aguas al suelo que incrementan los procesos de disolución kárstica.

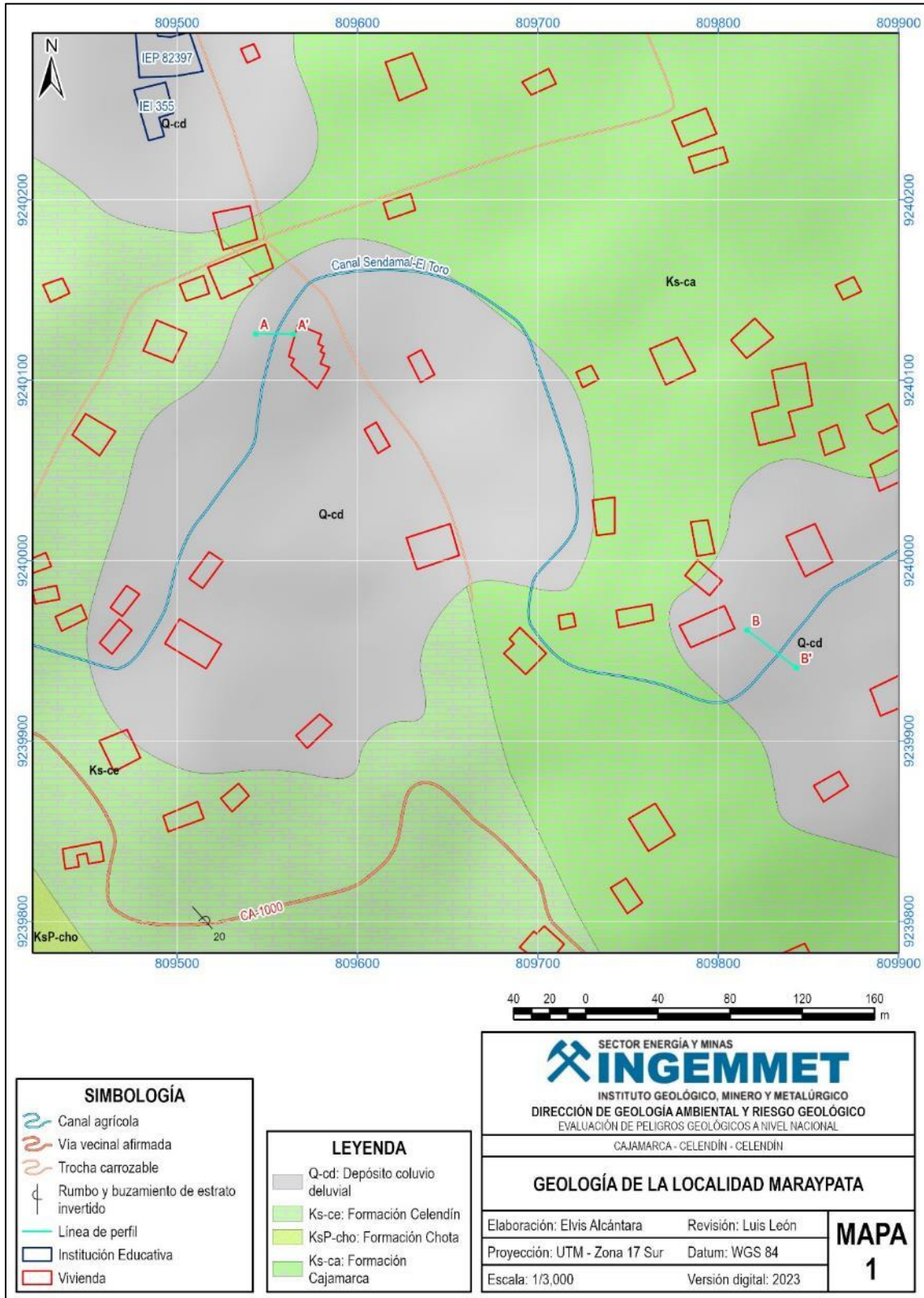

LUIS MIGUEL LEON ORDAZ
Ingeniero Geólogo
Reg. CIP. N° 215610

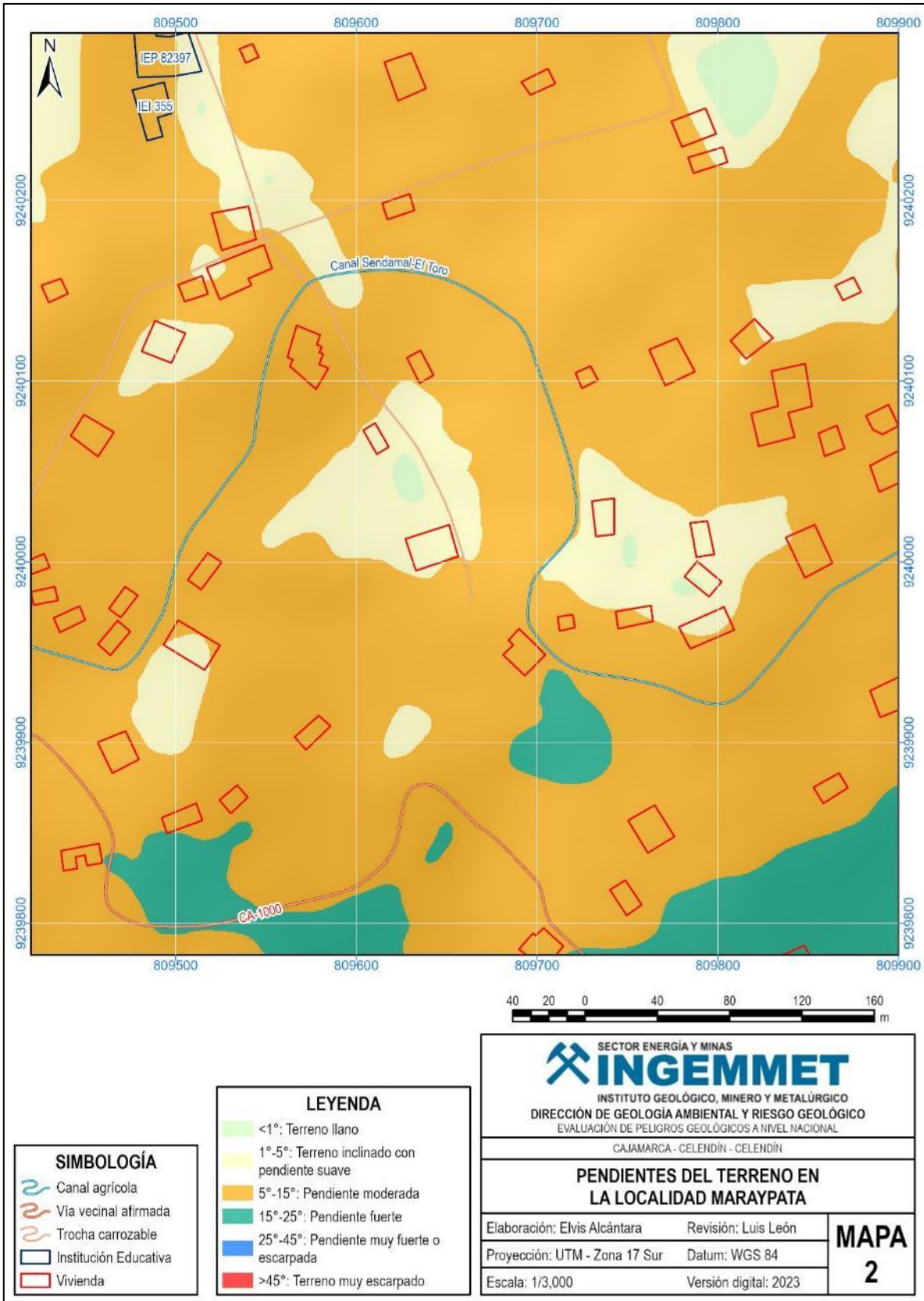

Ing. GILBERTO ZAVALA CARRIÓN
Director (e)
Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico
INGEMMET

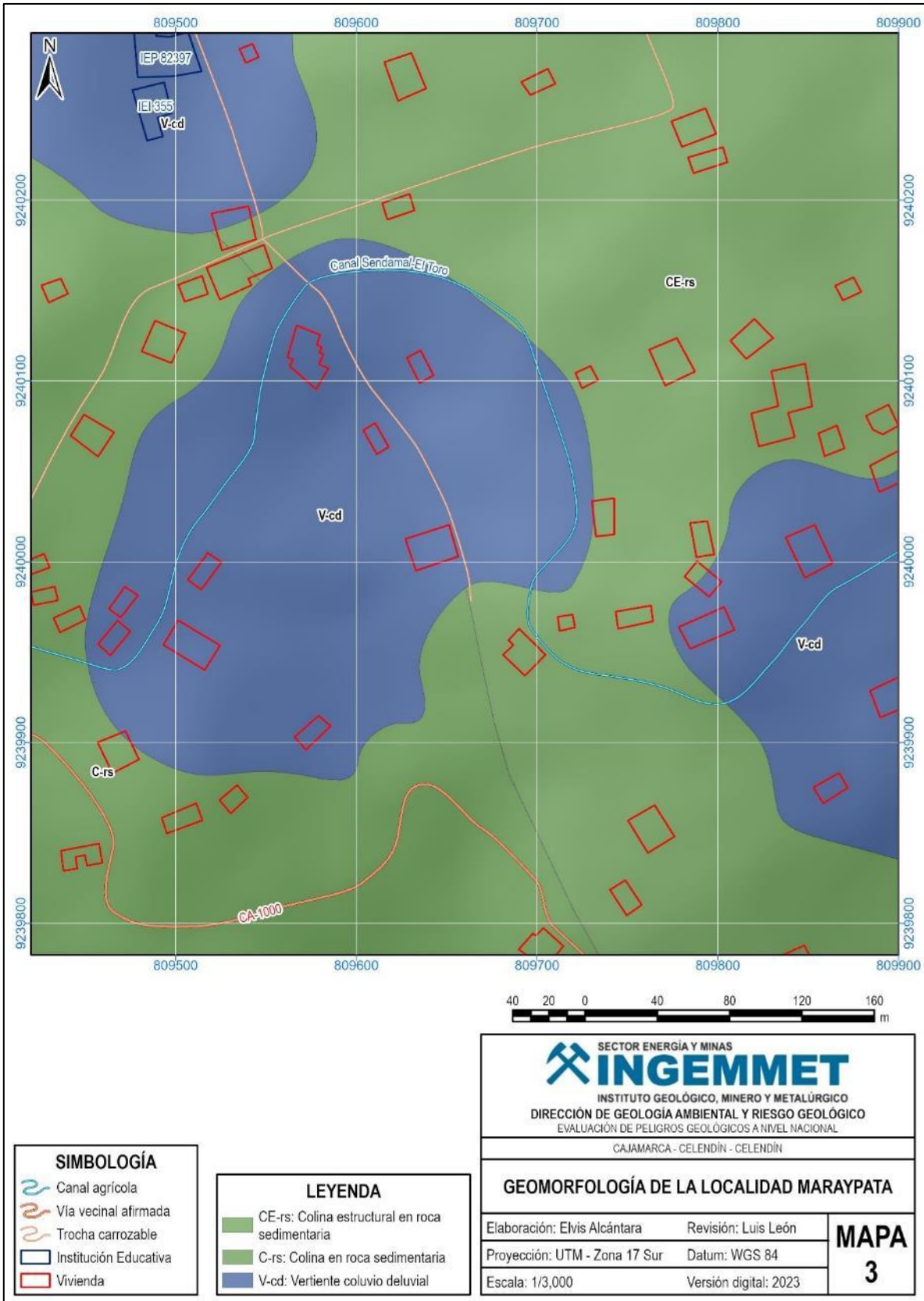
8. BIBLIOGRAFÍA

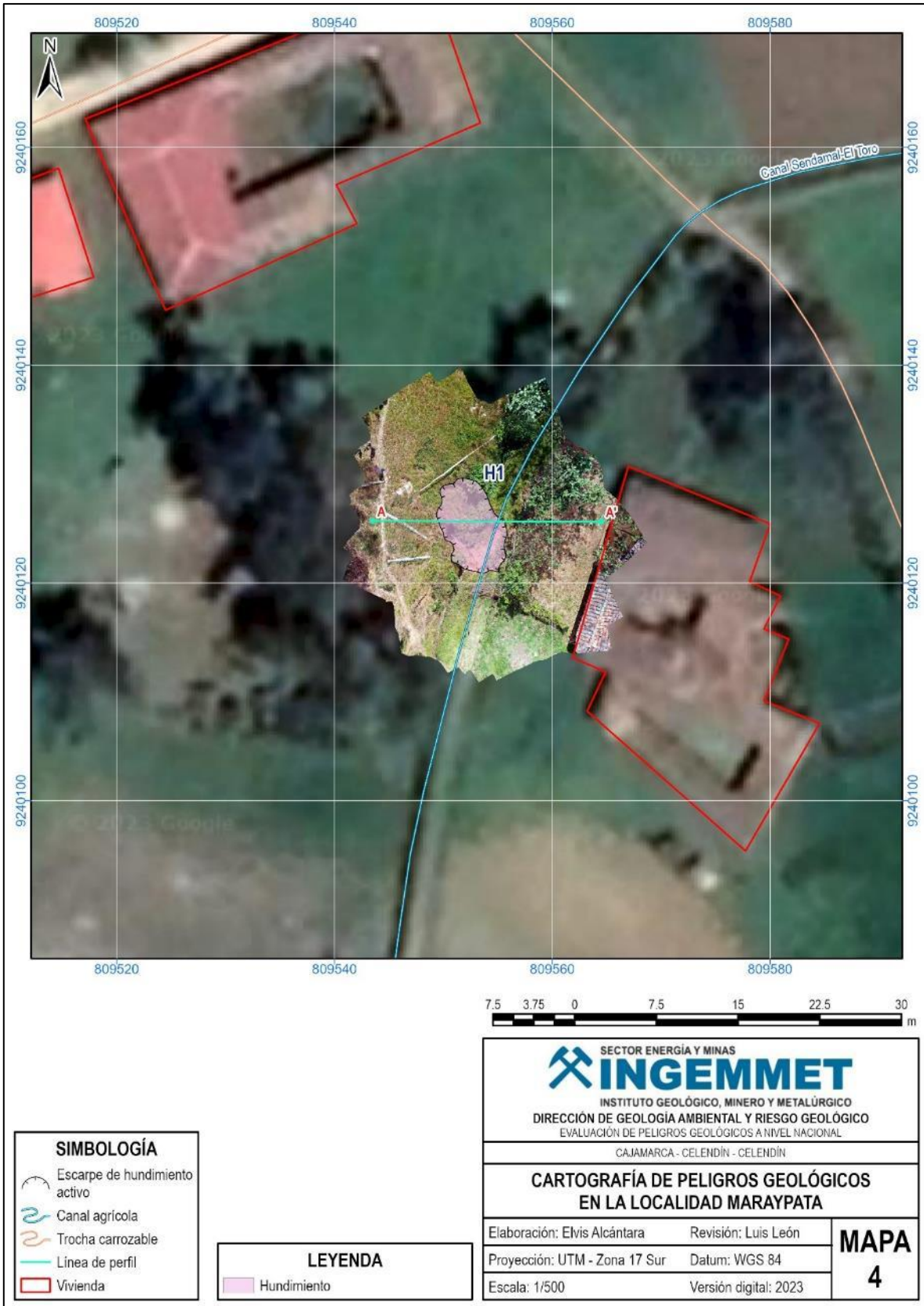
- Ayala, F.J. & Alcina, J. (2002) – Riesgos Naturales. Barcelona. Ariel, 1512 p
- Cruden, D.M., Varnes, D.J. (1996). Landslide types and processes, en Turner, K., y Schuster, R.L., ed., Landslides investigation and mitigation: Washington D. C, National Academy Press, Transportation Research Board Special Report 247.
- Hoek, E. (2007). Rock Mass Properties. En Practical Rock Engineering (2a ed., pp. 190–236). Rocscience.
- PALMQUIST, R. (1979) Geologic controls on doline characteristics in mantled karst. Z. Geomorph. N.F. Suppl. Bd. 32, pp.
- 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>.
- Wilson, J. (1980). Geología de los cuadrángulos de Jayanca (13-d), Incahuasi (13-e), Cutervo (13-f), Chiclayo (14-d), Chongoyape (14-e), Chota (14-f), Celendín (14-g), Pacasmayo (15-d), Chepén (15-e), Boletín 38 Serie A. Ingemmet (1a ed.). Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico - Ingemmet.
- Senamhi. (2020). *Climas del Perú - Mapa de Clasificación Climática Nacional*. <https://www.senamhi.gob.pe/?p=mapa-climatico-del-peru>.
- 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).
- YUAN, D. (1988) Environmental and engineering problems of karst geology in China Environ. Geol. Water Sci., vol. 12, pp. 79-87.
- Zavala, B. & Rosado, M. (2010). Riesgo geológico en la región Cajamarca. INGEMMET, Boletín, Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica.

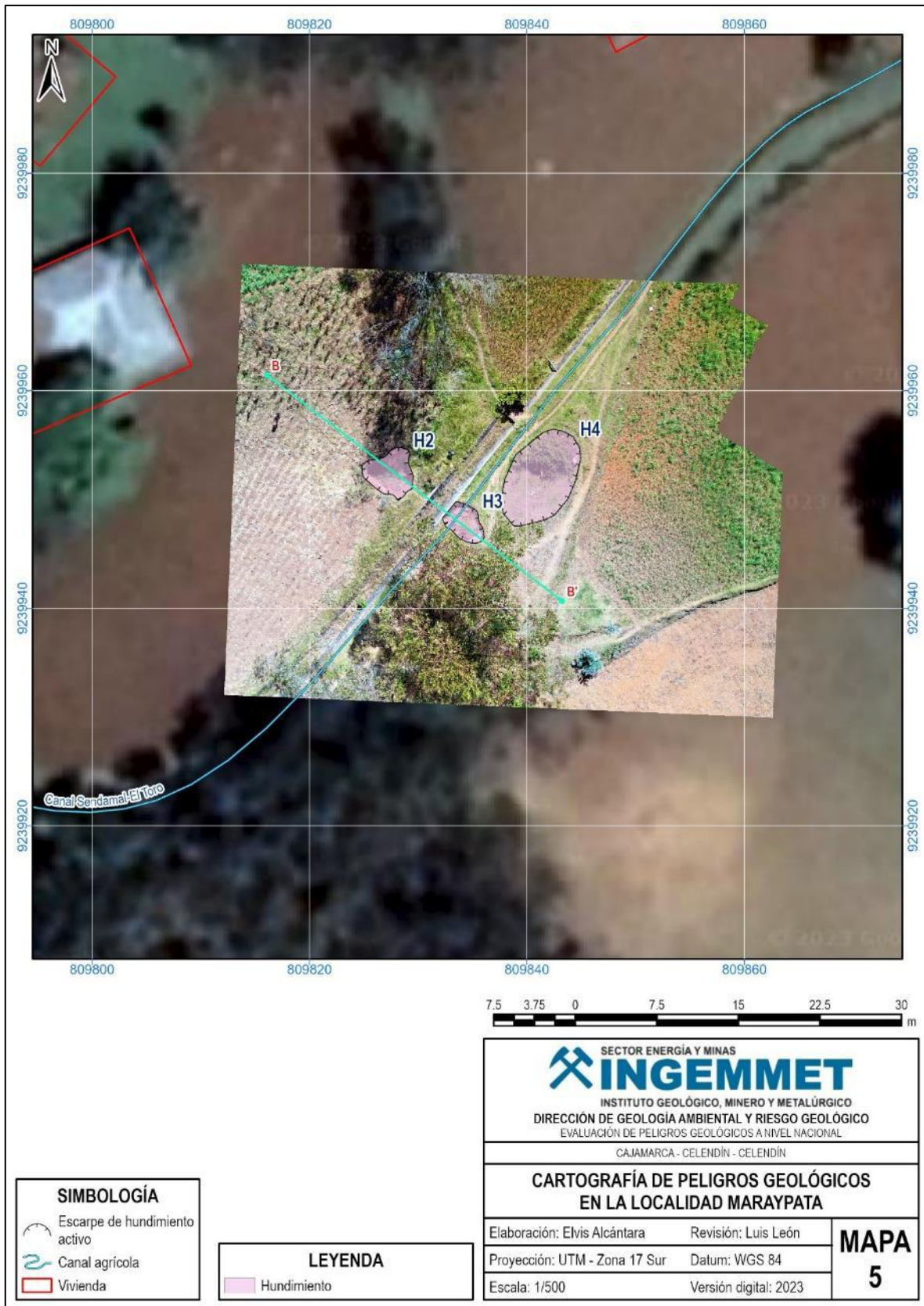
ANEXO 1. MAPAS











ANEXO 2. MEDIDAS CORRECTIVAS

Los hundimientos se presentan generalmente en zonas kársticas, los daños producidos suelen afectar el ámbito geotécnico: edificaciones, carreteras, etc.

Se propone las siguientes medidas de corrección (figura 18), previo estudio geotécnico realizado por un especialista:

Medidas directas:

- En cavidades: relleno de las mismas previo conocimiento de su volumen y profundidad. mediante pilotajes que apoyen siempre la punta del sustrato resistente y no kárstico.
- Excavaciones subterráneas: mediante inyecciones y tratamientos previos de consolidación del terreno.

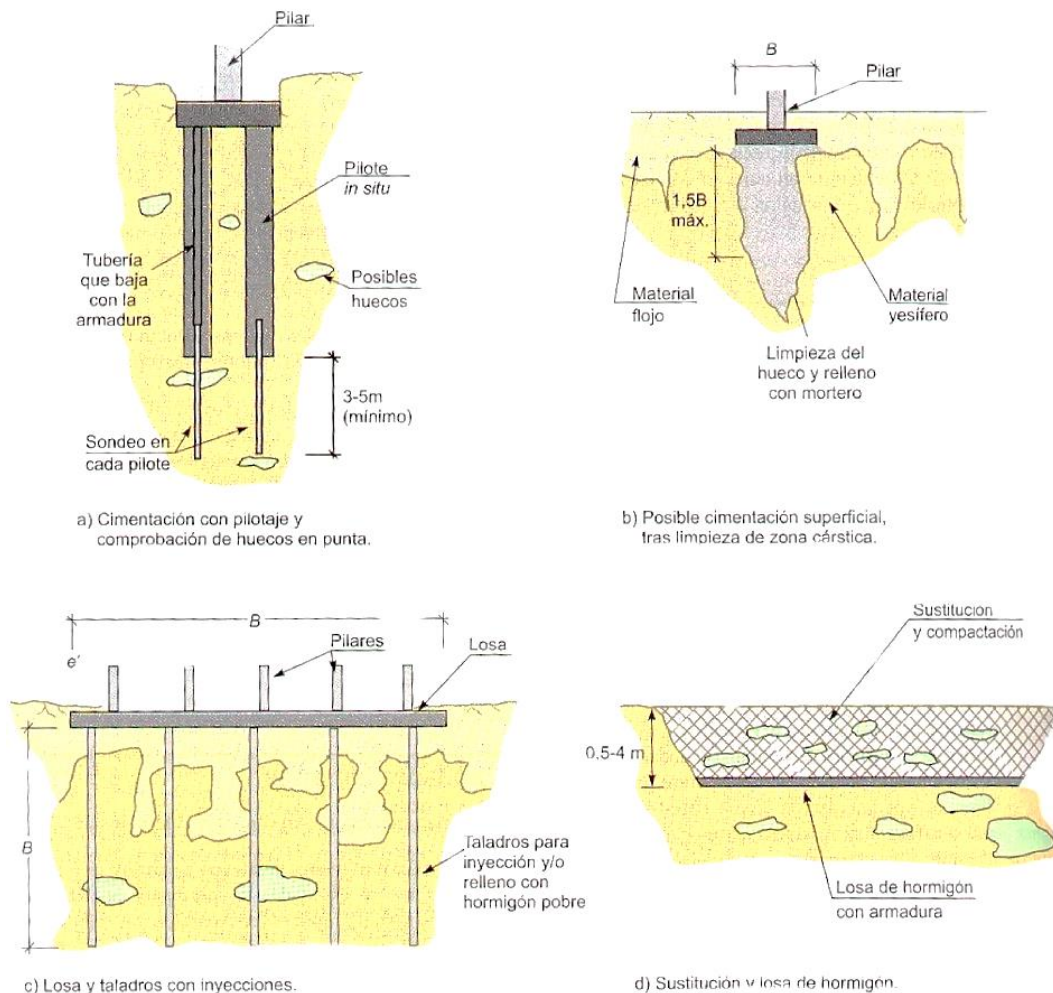


Figura 18. Posibles soluciones de cimentación en zonas kársticas.