

DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO

Informe Técnico N° A7422

EVALUACIÓN DE PELIGRO GEOLÓGICO POR HUNDIMIENTO EN EL CENTRO POBLADO TUGUSA

Departamento Cajamarca
Provincia Chota
Distrito Chiguirip



SETIEMBRE
2023

***EVALUACIÓN DE PELIGRO GEOLÓGICO POR HUNDIMIENTO EN EL CENTRO
POBLADO TUGUSA***

Departamento Cajamarca, provincia Chota, distrito de Chiguirip

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 hundimiento en el centro poblado Tugusa, distrito Chiguirip, provincia Chota, departamento Cajamarca*. Lima: INGEMMET, Informe Técnico A7422 , 30 p.

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.....	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	16
5.2. Hundimiento centro poblado Tugusa	18
5.3 Factores condicionantes.....	20
5.4 Factores desencadenantes	20
5.5. Daños.....	21
6. CONCLUSIONES	22
7. RECOMENDACIONES	23
BIBLIOGRAFÍA.....	24
ANEXO 1. MAPAS.....	26
ANEXO 2. MEDIDAS CORRECTIVAS	30

1. RESUMEN

El presente informe técnico es el resultado de la evaluación de peligro geológico por hundimiento en el centro poblado Tugusa, distrito Chiguirip, provincia Chota, 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.

En el sector evaluado se observa afloramientos de arcilla altamente plástica color marrón y verdoso, saturada, que cobertura a calizas mudstone descarbonatadas color crema amarillento, poco a medianamente fracturadas y muy meteorizadas del Grupo Puyllucana.

En el sector evaluado se identificó la subunidad de colina en roca sedimentaria (C-rs), con pendientes de moderada a fuerte (5° a 25°) y al noroeste se aprecia la subunidad de terraza aluvial (T-a), en un terreno inclinado de pendiente suave (1° a 5°).

Los factores que condicionan la ocurrencia hundimientos son: a) rocas conformado por calizas (solubles) de la Formación Puyllucana, poco a medianamente fracturadas y altamente meteorizadas. b) Terreno inclinado con pendiente suave (1° - 5°), favorece la filtración de agua de lluvia c) Falta de revestimiento y mantenimiento en los canales ubicados en ambas márgenes de la carretera, permite la infiltración del agua, se atribuye como factor detonante a las lluvias intensas y/o prolongadas registradas en la zona.

Se identificó la ocurrencia de un hundimiento, que abarca un área de 150 m² con profundidad visible de 7 m, que afectó la vía Tugusa - Chota en un tramo de 12m, lo cual interrumpió el tránsito vehicular de manera temporal; así mismo afectó tres viviendas, de las cuales una se encuentra inhabitable.

Por las condiciones geológicas, geomorfológicas y ante la ocurrencia de lluvias intensas, se considera al sector evaluado en el centro poblado de Tugusa de **Peligro Alto** por hundimiento.

Finalmente, en el informe se recomienda reubicar las viviendas afectadas; realizar estudios de prospección geofísica, para poder determinar la profundidad de las dolinas que puedan afectar las viviendas del centro poblado Tugusa, revestir canaletas y darles un 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) 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 el oficio N° D062-2023-GRCAJ-ODN, del Gobierno Regional de Cajamarca, es en el marco de nuestras competencias que se realiza una evaluación de peligro geológico por hundimiento en el centro poblado Tugusa.

La Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico del Ingemmet designó a los ingenieros Luis León Ordáz, Elvis Alcántara Quispe y Cristhian Chiroque, para realizar la evaluación geológica, geomorfológica y geodinámica del peligro geológico por hundimiento que afecta el centro poblado Tugusa, los trabajos de campo se realizaron el 17 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 Gobierno Regional 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 hundimiento que se presenta en el centro poblado Tugusa.
- 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 la provincia de Chota se identificaron peligros geológicos, como hundimientos, deslizamientos, derrumbes, 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 centro poblado Tugusa, se ubica a 27 km, al noreste de la ciudad de Chota, políticamente pertenece al distrito Chiguirip, provincia Chota y 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	754643	9288483	-6.431860°	-78.697798°
2	754717	9288147	-6.434894°	-78.697115°
3	754484	9288070	-6.435599°	-78.699218°
4	754404	9288475	-6.431942°	-78.699957°
COORDENADA CENTRAL DE LA ZONA EVALUADA O EVENTO PRINCIPAL				
C	754540	9288225	-6.434196°	-78.698718°

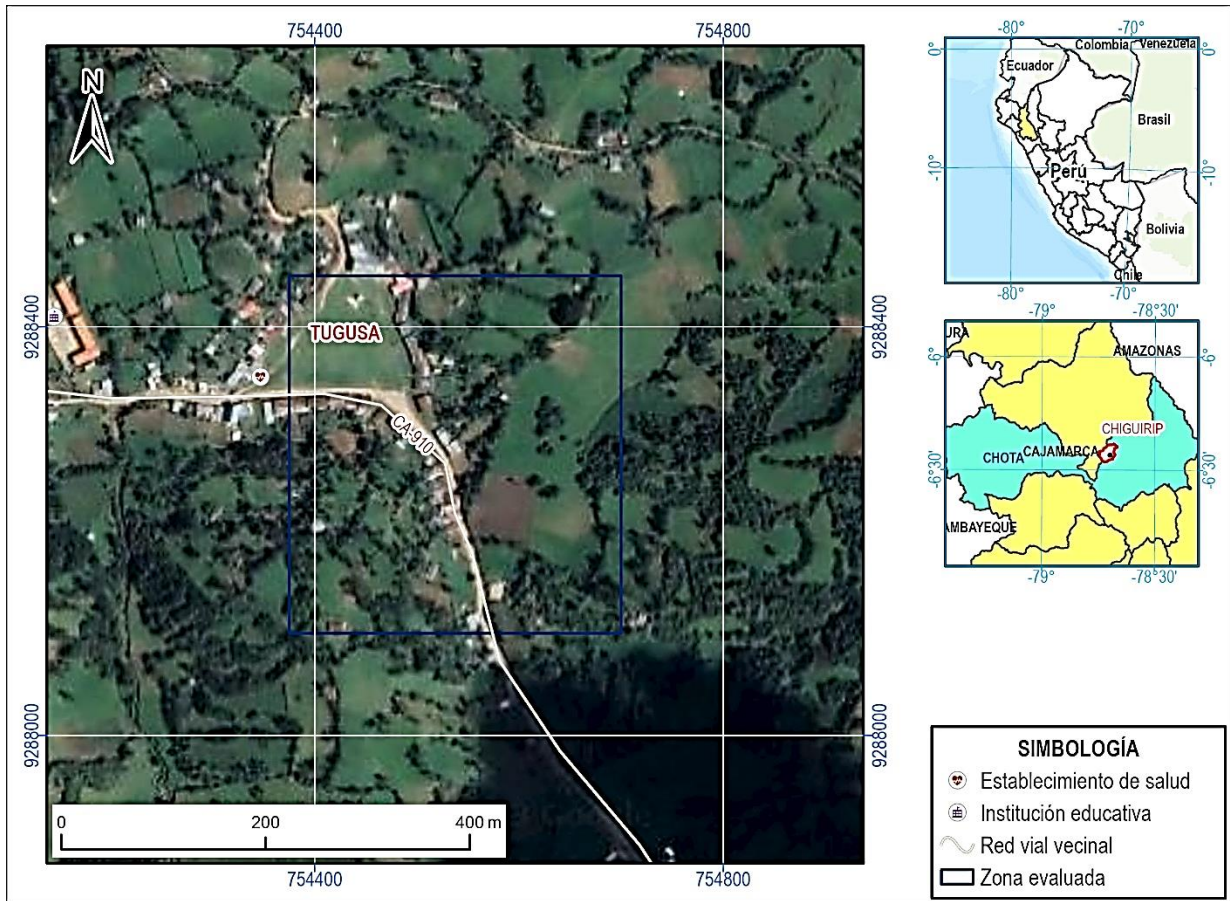


Figura 1. Ubicación área evaluada en el centro poblado Tugusa.

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 – Chota - Tugusa.	Asfaltada Sin asfaltar	170	4 horas

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 enero 2023, el sector evaluado percibió precipitaciones de hasta 29 mm/día, (**gráfico 1**) considerados por el Senamhi como Muy Lluvioso, (Senamhi, 2014).

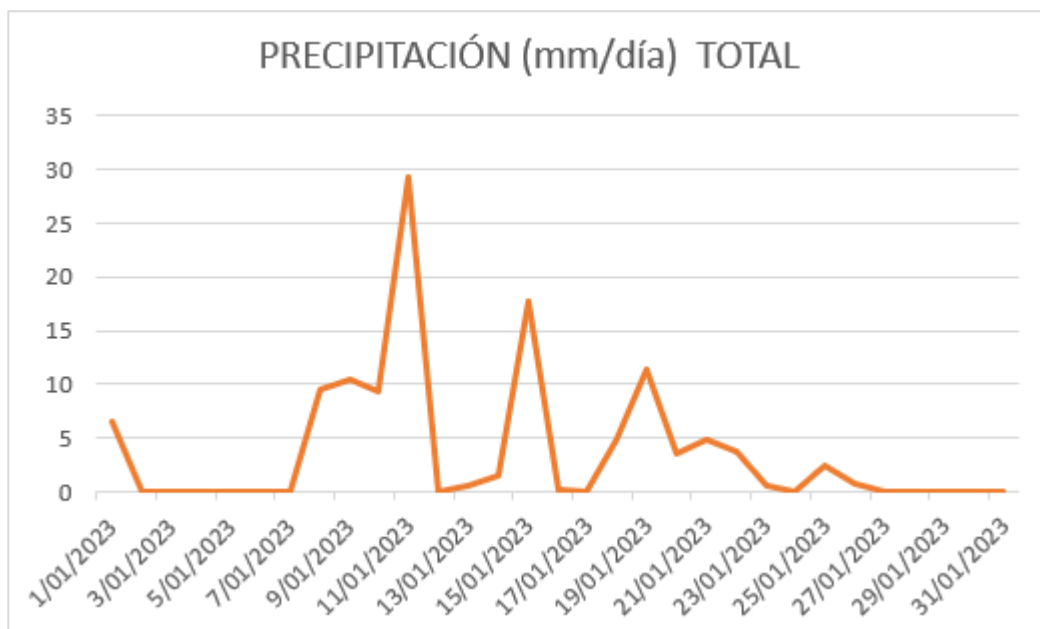


Gráfico 1. Precipitación diaria en el enero durante el año 2023, en la Estación Cutervo.
Fuente: Senamhi.

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 Cutervo, hoja 13 – f, 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, del Grupo Pullucana y un depósito aluvial.

3.1.1 Grupo Puyllucana (Ks-pu)

Predominan calizas arcillosas, color grisáceo por meteorización se torna de color crema o marrón claro; se presenta en capas medianas, nodulares o irregularmente estratificadas, intercaladas con capas de margas marrones y lutitas grisáceas o verdosas, así como algunas capas de limolitas y areniscas, (Wilson, J., 1984).

En la capa superficial del sector evaluado, se identificó, arcilla altamente plástica color marrón y verdoso, que se encontraba saturada. (figura 2), como base encontramos calizas mudstone descarboxatadas, de color crema amarillento (fotografía 1), poco a medianamente fracturadas y muy meteorizadas.

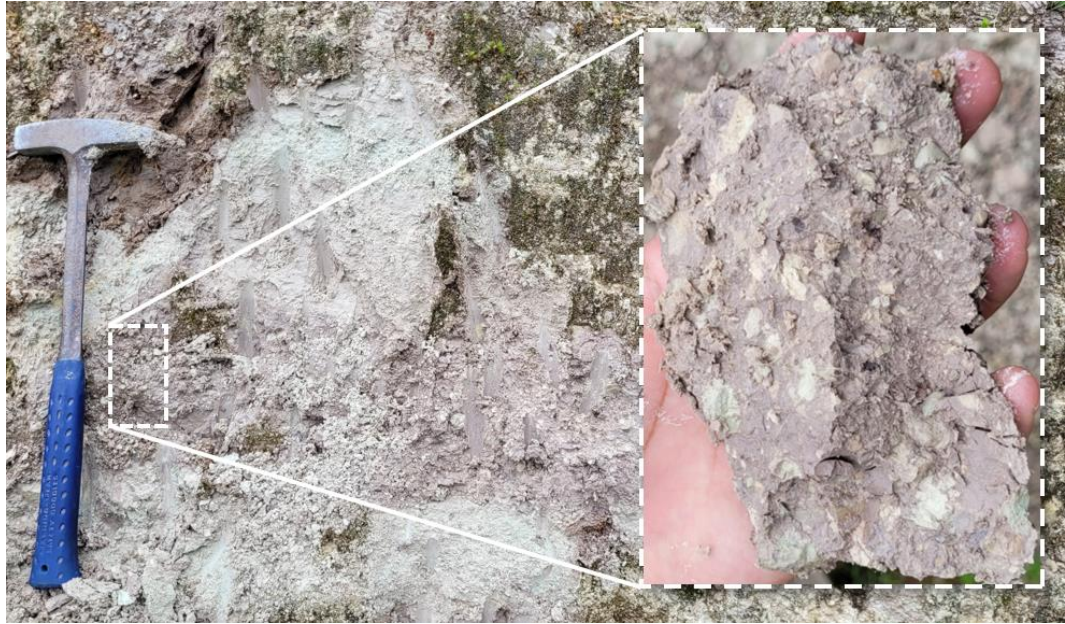


Figura 2. Se observa capa superficial compuesta por arcilla de color marrón y verdoso.



Fotografía 1. Calizas mudstone descarbonatadas, de color crema amarillento.

Depósito aluvial (Qh – al)

Lo conforman bloques y gravas en matriz arcillosa, son depósitos poco consolidados.

Esta unidad se encuentra al noroeste del sector evaluado, parte baja del centro poblado Tugusa.

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 cartografiado 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).

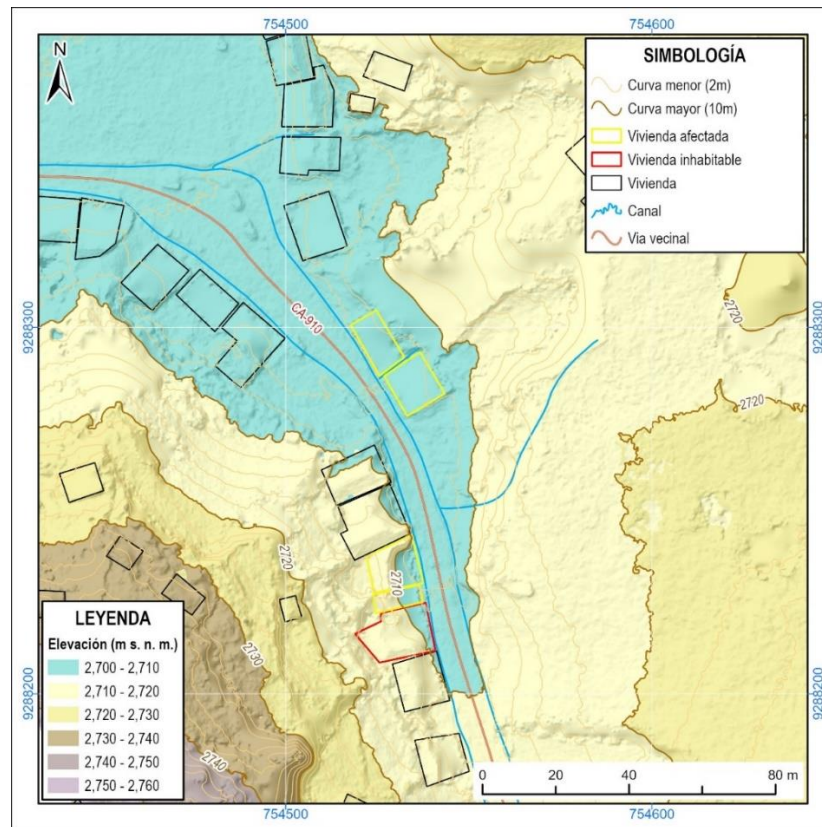


Figura 3. Modelo digital de elevaciones de la zona evaluada.

El hundimiento identificado se produjo sobre la carretera afirmada, que se ubica a una altura de 2705 m s.n.m.

4.2. Pendiente del terreno

En el sector evaluado presenta pendientes variables, desde terreno llano ($<1^\circ$) a terreno muy escarpado ($>45^\circ$), el hundimiento se origina en la carretera afirmada sobre un terreno inclinado con pendiente suave, hacia el este y oeste de la carretera la pendiente varia de moderada a fuerte (5° a 45°) (figura 4, mapa 2).



Figura 4. La ladera que colinda con la carretera, tiene una pendiente promedio de 23°

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).

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 promedio entre 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.

Subunidad de terraza aluvial (T-a)

Son remanentes de anteriores niveles de sedimentación, geodinámicamente, esta sub unidad está asociada a procesos de erosión fluvial, en el sector evaluado se encuentra en dirección noroeste, un terreno inclinado de pendiente suave (1° a 5°).

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).

Como antecedente podemos mencionar que, a 660 m al noreste del sector evaluado se identificó una dolina, que actúa como un desagüe natural de aguas canalizadas y de escorrentía de lluvia, (figura 5), lo que nos indica la presencia de un relieve kárstico en el sector evaluado.

El peligro geológico identificado se desencadenó el 19 de enero del 2023, a las 4:45 pm, corresponde a un hundimiento, ubicado en la carretera de ingreso al centro poblado, la misma que comunica con la ciudad de Chota (figura 6). El evento se desencadenó por las lluvias intensas que se registraron del 11 al 15 de enero del 2023.

El hundimiento es el resultado del colapso subterráneo de una cavidad, asociado a disolución de rocas carbonatadas, la carretera afectada fue construida con material de afirmado sobre depósitos cuaternarios, los cuales cubrieron calizas con procesos kársticos (dolinas).



Figura 5. Dolina ubicada a 660 m (líneas discontinuas color blanco), al noroeste del sector evaluado, el agua ingresa de manera continua.

Coordenadas UTM, WGS-84, 17S. **Norte:** 9288661 y **Este:** 754051.



Figura 6. Dolina ubicada a 660 m (líneas discontinuas color blanco), al noroeste del sector evaluado, el agua ingresa de manera continua.
Coordenadas UTM, WGS-84, 17S. **Norte:** 9288661 y **Este:** 754051.

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 procesos kársticos se presentan en substratos calcáreos, donde es posible encontrar formas topográficas peculiares, resultantes de la disolución superficial y subsuperficial de rocas calcáreas por las aguas de lluvias, las que al concentrarse en escorrentía son llevadas hacia cauces subterráneos (Thornbury, 1966).

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.

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 7).

El proceso de disolución de las calizas se produce cuando estas se encuentran conformadas solo por calcita y dolomita (CaCO_3), los cuales son solubles al agua natural con contenidos de ácido carbónico diluido (H_2CO_3) (figura 8). Este ácido carbónico resulta de la solución de CO_2 del aire y su reacción con agua.

Estas reacciones atacan las rocas calcáreas, dando como resultado rasgos morfológicos de procesos de disolución de calizas, que están representados por la presencia de drenajes subterráneos, la formación de huecos u oquedades y otras depresiones sobre la superficie del terreno; allí donde el agua penetra en la roca, agrandando las fracturas y fisuras preexistentes por disolución.

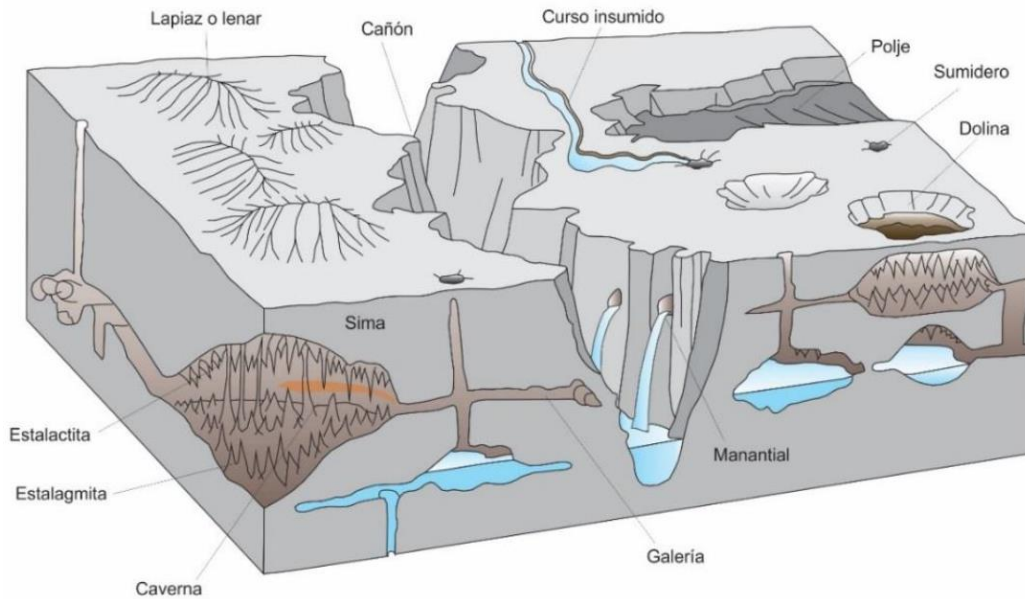


Figura 7: Esquema en la que se pueden observar las geoformas presentes en una zona de karst.

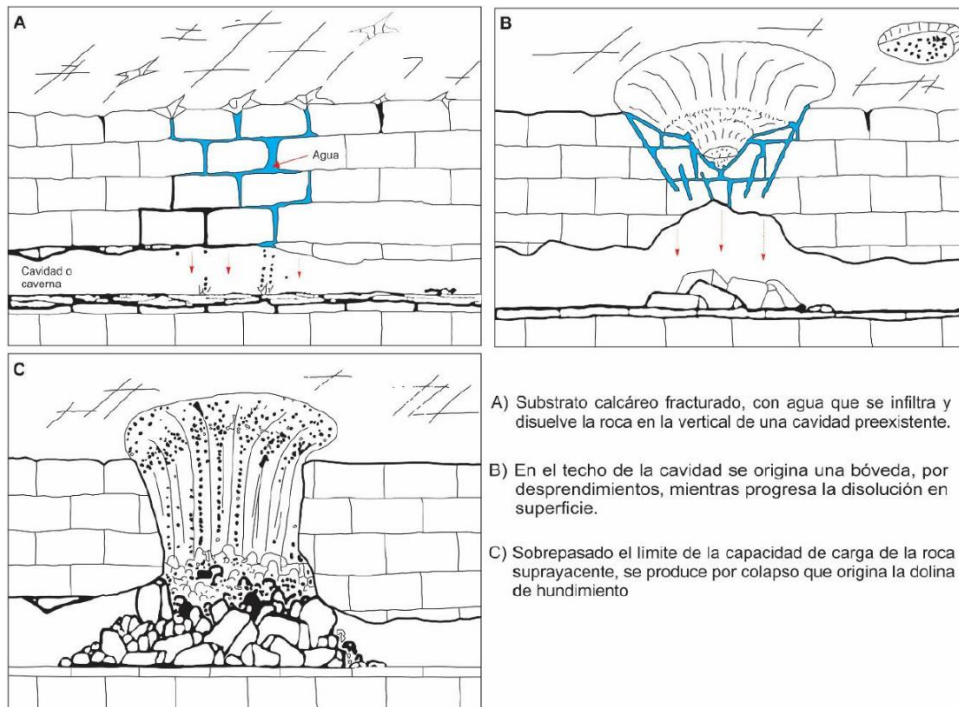


Figura 8: Esquema del proceso de formación de una dolina.

5.2. Hundimiento centro poblado Tugusa

Según los antecedentes descrito por personal de la Municipalidad Distrital de Chiguirip, el 19 de enero del 2023, aproximadamente a las 15 horas, se produjo el hundimiento en la carretera de ingreso al centro poblado Tugusa, con las siguientes dimensiones, de 7m de profundidad, 11 m de diámetro (figura 9 y 10), el evento tiene la forma de (cono o cilíndrico).

El hundimiento identificado en el centro poblado Tugusa, tiene como origen el proceso de disolución de rocas calcáreas (calizas) de la Formación Pulluicana; formando una dolina.

El sustrato rocoso donde se ubica el sector evaluado corresponde a rocas calcáreas, calizas de 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 acaecidas el día del suceso, provocaron que el peso del material de la superficie (relleno de afirmado de la carretera), superen la capacidad de carga del sustrato rocoso y se origine el hundimiento (dolina).

Puede ser también, que el agua de lluvia filtro fácilmente al subsuelo

El hundimiento presenta las siguientes características: u

- Forma: semicircular.
- Forma general, cónica
- Profundidad: 7 m.

- Área: 150 m².



Figura 9. Agrietamientos (líneas amarillas discontinuas), con longitudes de 1m a 5 m, ubicados en la parte superior del macizo rocoso.



Figura 10. Se observa presencia de agua (línea discontinua celeste), que ingresa por las fracturas (línea discontinua amarilla) al macizo rocoso.

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

El área evaluada está conformada por calizas de la Formación Pulluicana, la calidad de la roca (la cual se encuentra de poco a medianamente fracturada y muy meteorizada), se ve reducida por la presencia cavernas y galerías originados por la disolución de carbonatos.

Pendiente

La carretera se encuentra en un terreno ligeramente inclinado con pendiente de 1° a 5°, a menor pendiente mayor permanencia de agua de lluvia en el terreno, mayor filtración y saturación, acelerando el proceso de disolución de las calizas.

Factores antrópicos

Canaletas, sin revestimiento ni mantenimiento en ambos lados de la carretera, permite una acelerada filtración de agua lo que contribuye al proceso de disolución de carbonatos de las calizas de la Formación Puluicana (figura 11).



Figura 11. Canal de drenaje de escorrentía (líneas amarillas), sin revestimiento.

5.4 Factores desencadenantes

Los pobladores indican que el hundimiento ocurrió después de las precipitaciones muy intensas y prolongadas, que se presentaron los días 11 y 15 de enero del 2023. En este lapso de tiempo la mayor precipitación se registró el día 11, con 29mm/día.

5.5. Daños

El daño se registró en la carretera Tugusa a Chota, en un tramo de 12m, que interrumpió el tránsito vehicular de manera temporal; así mismo afectó una vivienda se encuentra inhabitable, como a otras dos más (figura 12).



Figura 12. Viviendas afectadas directamente por el hundimiento (líneas discontinuas amarillas) y perímetro del hundimiento (líneas discontinuas color rojo).

6. CONCLUSIONES

2. El 19 de enero del 2023, a las 4:45 pm, en el centro poblado Tugusa, se presentó un hundimiento, con una profundidad de 7 m y 150 m², de forma conoide, con coordenadas UTM, WGS 84, 17s: Este: 754540; Norte: 9288225, ubicado en la carretera que comunica Tugusa con la ciudad de Chota.
3. En el centro poblado Tugusa afloran calizas mudstone descarbonatadas, color crema amarillento las cuales se encuentran de poco a medianamente fracturadas, cubiertas por arcilla altamente plástica color marrón y verdoso, las cuales pertenecen a la Formación Puyllucana.
 - a. El centro poblado se encuentra sobre una subunidad de colina en roca sedimentaria (C -rs), las laderas presentan pendientes de moderada a fuerte (5° a 25°); al noroeste se aprecia la subunidad de terraza aluvial (T-a), en un terreno inclinado de pendiente suave (1° a 5°).
4. Los factores que condicionan los procesos de hundimientos son: a) rocas conformado por calizas (solubles) de la Formación Puyllucana, que se encuentran poco a medianamente fracturadas y altamente meteorizadas, b) Terreno inclinado con pendiente suave (1° a 5°), que favorece la filtración de agua de lluvia, c) Falta de revestimiento y mantenimiento de los canales ubicados en ambas márgenes de la carretera, esto permite la infiltración del agua; se atribuye como factor detonante las lluvias intensas y/o prolongadas registradas en la zona.
5. La ocurrencia de un hundimiento, afectó la carretera en un tramo de 12m, lo cual interrumpió el tránsito vehicular de manera temporal; así mismo una vivienda se encuentra inhabitable y dos afectadas.
6. Por las condiciones geológicas, geomorfológicas y ante la ocurrencia de lluvias intensas, se considera al sector evaluado en el centro poblado de Tugusa de **Peligro Alto** por hundimiento.

7. RECOMENDACIONES

1. Considerar la reubicación de las viviendas afectadas por la ocurrencia del hundimiento.
2. Determinar la forma que tiene el subsuelo, para evaluar la probabilidad de rellenado con material detrítico cohesivo e impermeable con la finalidad de aumentar la resistencia del subsuelo y evitar la infiltración de aguas, previo estudio geotectónico por un especialista.
3. En el centro poblado Tugusa se debe realizar con 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 (figura 12).
4. Evitar la saturación de los terrenos, revistiendo los canales de drenaje y canales conducción de agua para uso agrícola, evitar la actividad agrícola, especialmente en la que se realiza prácticas de riego por inundación y en la zona en donde se asienta las viviendas, construir un sistema de desagüe adecuado.
5. Implementar la construcción de sistemas de drenajes impermeabilizados que recolecten las aguas de lluvias evitando la infiltración de aguas al suelo (que incrementan los procesos de disolución kárstica).
6. Realizar estudios de evaluación de riesgos (EVAR), a fin de evaluar los elementos expuestos frente a hundimientos.


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

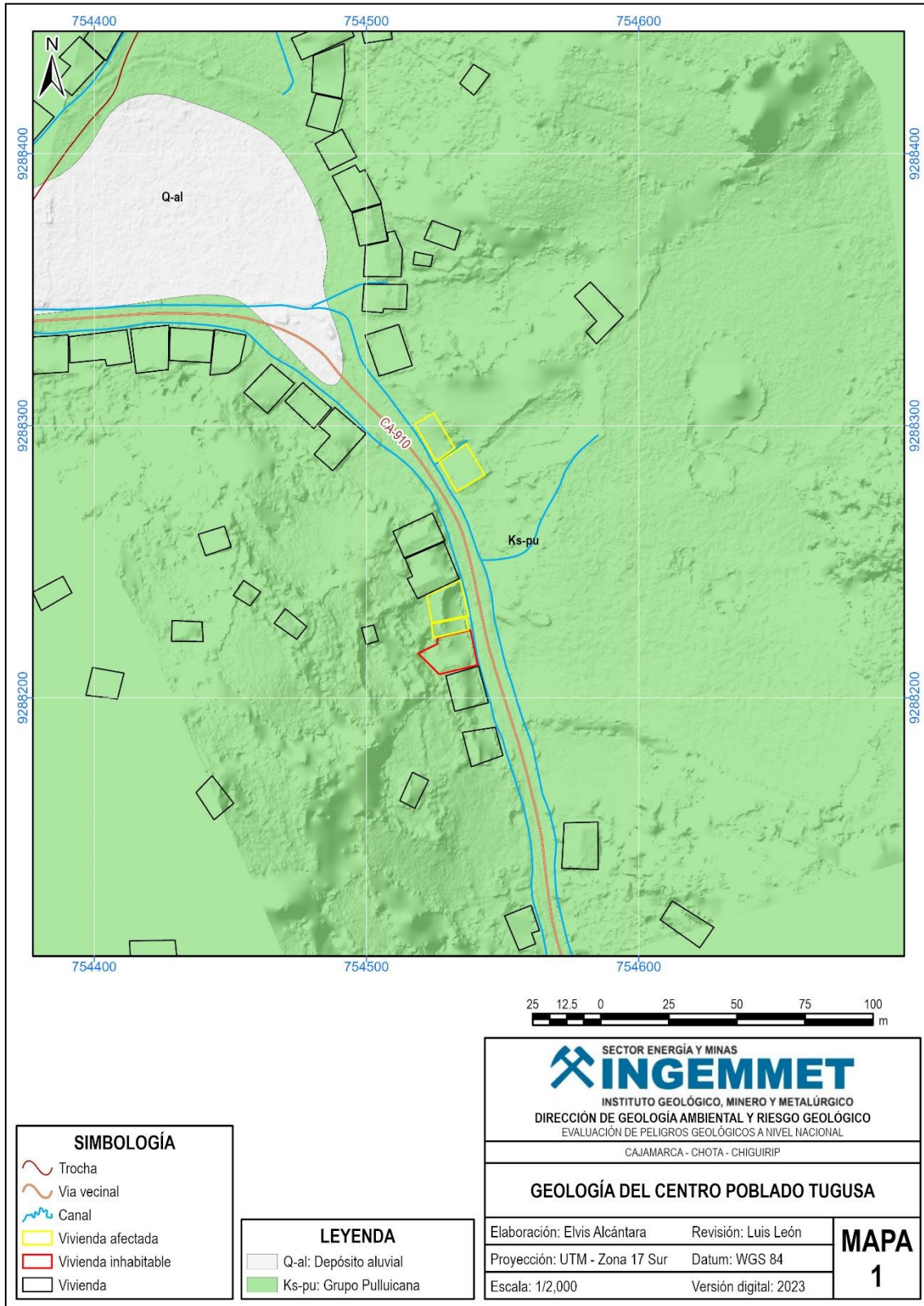

ING. JERSY MARIÑO SALAZAR
Director (e)
Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico
INGEMMET

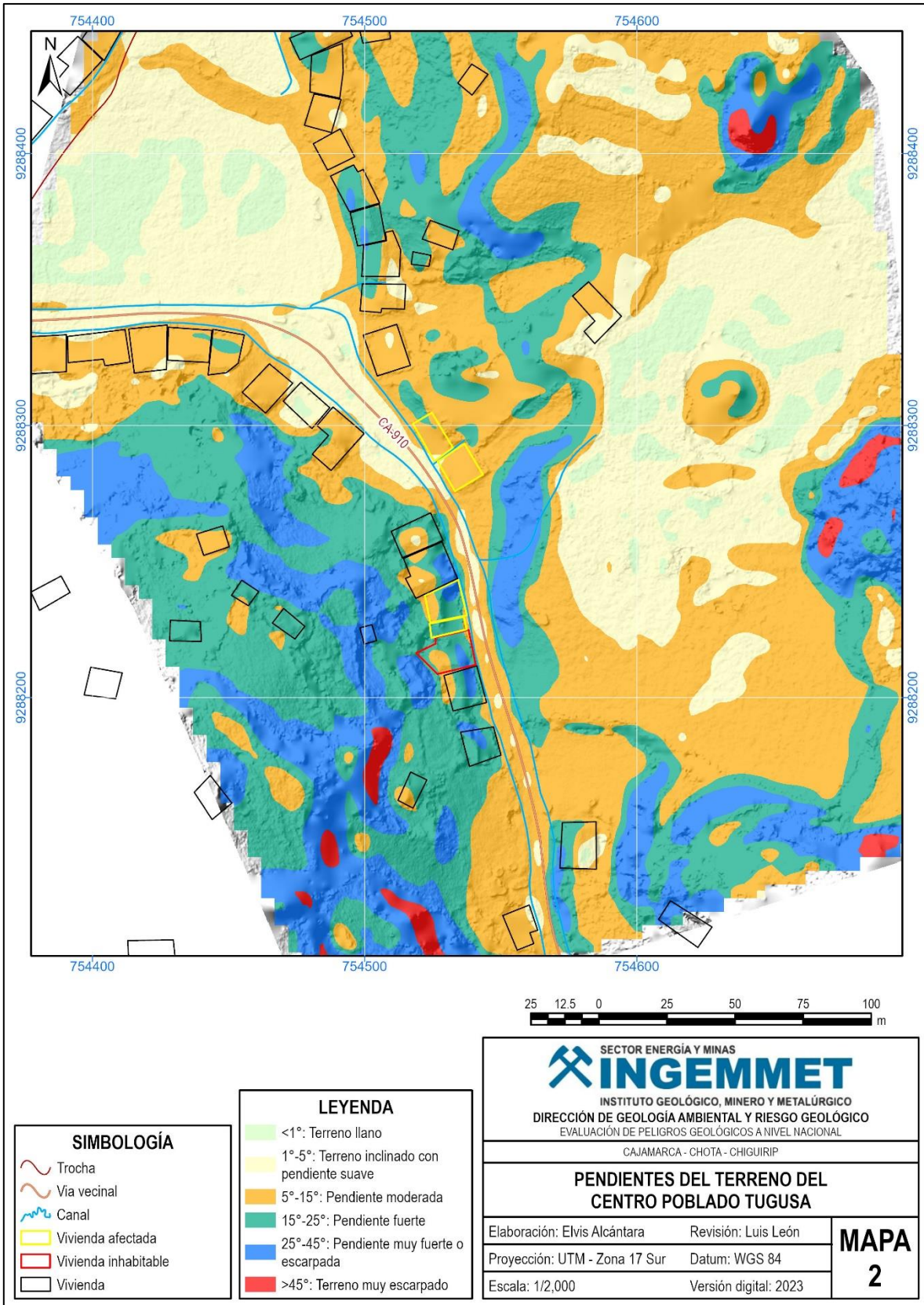
8. BIBLIOGRAFÍA

- 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.
- 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.
- 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. (2014). *Umbral y precipitaciones absolutas*.
- Senamhi. (2020). *Climas del Perú - Mapa de Clasificación Climática Nacional*. <https://www.senamhi.gob.pe/?p=mapa-climatico-del-peru>.
- Suárez, J. (1996) - Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales. Bucaramanga: Instituto de Investigación sobre Erosión y Deslizamientos, 282 p
- 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

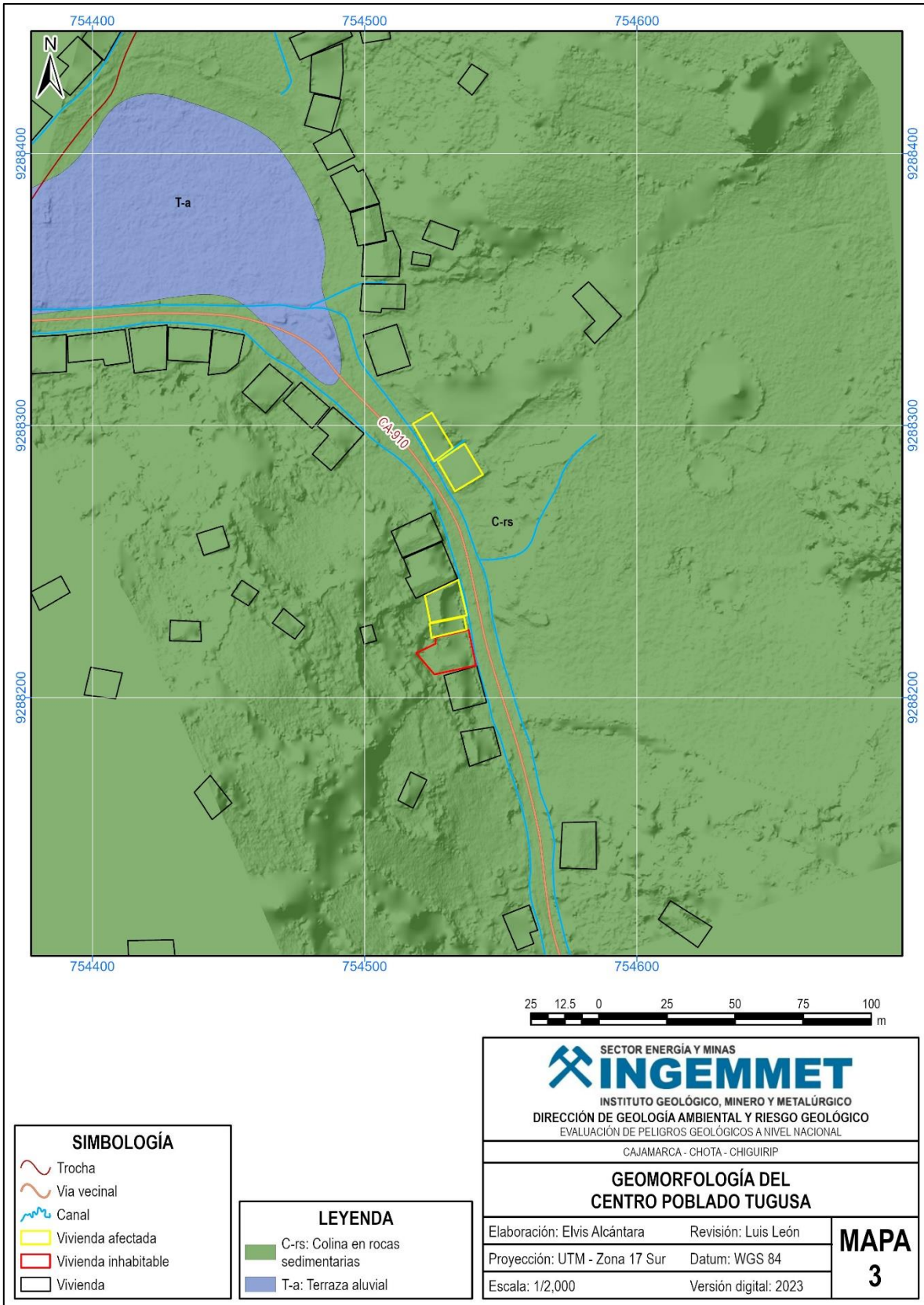




SIMBOLOGÍA	
	Trocha
	Via vecinal
	Canal
	Vivienda afectada
	Vivienda inhabitable
	Vivienda

LEYENDA	
	<1°: Terreno llano
	1°-5°: Terreno inclinado con pendiente suave
	5°-15°: Pendiente moderada
	15°-25°: Pendiente fuerte
	25°-45°: Pendiente muy fuerte o escarpada
	>45°: Terreno muy escarpado

SECTOR ENERGÍA Y MINAS INGEMMET INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS A NIVEL NACIONAL CAJAMARCA - CHOTA - CHIGUIRIP	
PENDIENTES DEL TERRENO DEL CENTRO POBLADO TUGUSA	
Elaboración: Elvis Alcántara	Revisión: Luis León
Proyección: UTM - Zona 17 Sur	Datum: WGS 84
Escala: 1/2,000	Versión digital: 2023
MAPA	
2	



SIMBOLOGÍA	
	Trocha
	Vía vecinal
	Canal
	Vivienda afectada
	Vivienda inhabitable
	Vivienda

LEYENDA	
	C-rs: Colina en rocas sedimentarias
	T-a: Terraza aluvial

SECTOR ENERGÍA Y MINAS INGEMMET INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS A NIVEL NACIONAL CAJAMARCA - CHOTA - CHIGUIRIP	
GEOMORFOLOGÍA DEL CENTRO POBLADO TUGUSA	
Elaboración: Elvis Alcántara	Revisión: Luis León
Proyección: UTM - Zona 17 Sur	Datum: WGS 84
Escala: 1/2,000	Versión digital: 2023
MAPA 3	



SIMBOLOGÍA	
	Escarpe de derrumbe activo
	Via vecinal
	Canal
	Vivienda afectada
	Vivienda inhabitable
	Vivienda

LEYENDA	
	Hundimiento activo

SECTOR ENERGÍA Y MINAS INGEMMET INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS A NIVEL NACIONAL CAJAMARCA - CHOTA - CHIGUIRIP		
CARTOGRAFÍA DE PELIGROS GEOLÓGICOS DEL CENTRO POBLADO TUGUSA		
Elaboración: Elvis Alcántara	Revisión: Luis León	MAPA 4
Proyección: UTM - Zona 17 Sur	Datum: WGS 84	
Escala: 1/1,000	Versión digital: 2023	

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 12), 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.

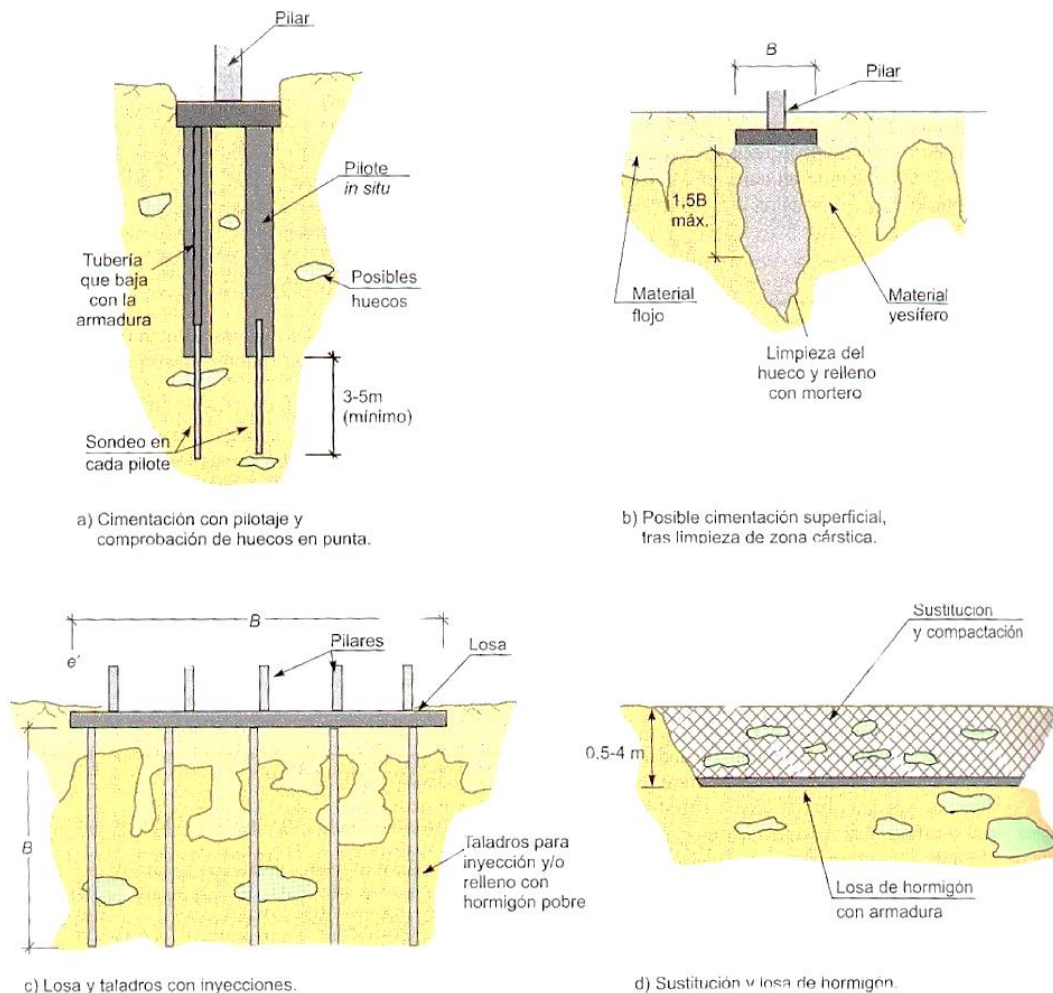


Figura 12. Posibles soluciones de cimentación en zonas kársticas.