

DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO

Informe Técnico N° A7223

EVALUACIÓN DEL DESLIZAMIENTO ROTACIONAL EN EL SECTOR LAGUNAS

Departamento Cajamarca
Provincia Chota
Distrito Chota



FEBRERO
2022

EVALUACIÓN DEL DESLIZAMIENTO ROTACIONAL EN EL SECTOR LAGUNAS

*Departamento Cajamarca
Provincia Chota
Distrito Chota*

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

Equipo de investigación:

*Luis Miguel León Ordáz
Anthony Wilson Zavaleta Paredes*

Referencia bibliográfica

Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico (2022). *Evaluación del deslizamiento rotacional en el sector Lagunas, distrito Chota, provincia Chota, departamento Cajamarca*. Lima: Ingemmet, Informe Técnico N° A7223, 45p.

ÍNDICE

ÍNDICE.....	2
RESUMEN.....	4
1. INTRODUCCIÓN.....	5
1.1 Objetivos del estudio.....	5
1.2 Antecedentes y trabajos anteriores.....	6
1.3 Aspectos generales.....	8
1.3.1 Ubicación.....	8
1.3.2 Accesibilidad.....	8
2. DEFINICIONES.....	10
3. ASPECTO GEOLÓGICO.....	12
2.1 Unidades litoestratigráficas.....	12
2.1.1 Formación Pulluicana.....	12
2.1.2 Formación Cajamarca.....	12
2.1.3 Formación Celendín.....	12
2.1.4 Formación Chota.....	13
4. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS.....	16
3.1 Modelo digital de elevaciones (MDE).....	16
3.2 Pendiente del terreno.....	17
3.3 Unidades Geomorfológicas.....	19
3.3.1 Geoformas de carácter tectónico degradacional y erosional.....	20
3.3.2 Geoformas de carácter depositacional y agradacional.....	20
5. PELIGROS GEOLÓGICOS.....	22
4.1 Deslizamiento rotacional sector Lagunas.....	23
4.1.1 Características visuales del evento.....	23
4.2 Factores condicionantes.....	28
4.2.1 Factor litológico.....	28
4.2.2 Pendiente del terreno.....	29
4.2.3 Factor antrópico.....	29
4.3 Factores desencadenantes.....	31
4.3.1 Precipitaciones pluviales.....	31
4.4 Daños y consecuencias.....	32
6. CONCLUSIONES.....	37

7. RECOMENDACIONES	38
8. BIBLIOGRAFÍA.....	39
9. ANEXOS.....	40

RESUMEN

El presente informe técnico es el resultado de la evaluación de peligros geológicos por movimientos en masa en el Sector Lagunas, distrito Chota, provincia Chota, departamento Cajamarca. Con este trabajo, el Instituto Geológico Minero y Metalúrgico – INGEMMET, cumple con una de sus funciones que consiste en brindar asistencia técnica de calidad e información actualizada, confiable, oportuna y accesible en geología en los tres niveles de gobierno (nacional, regional y local).

En el contexto litológico afloran conglomerados de clastos redondeados principalmente de cuarcitas, areniscas y escasos volcánicos, con un tamaño promedio de 10 cm en matriz areno-limosa correspondientes a la Formación Chota. La matriz areno-limosa, es permeable y facilita la infiltración de agua de escorrentía, lo que constituye condiciones y factores primordiales en la susceptibilidad a movimientos en masa (deslizamientos). Estas rocas no son competentes y son de fácil erosión. Hacia el sur y el este del sector evaluado encontramos una intercalación de lutitas, margas y calizas delgadas de color claro, amarillento o crema, muy fracturadas y moderadamente meteorizadas y bastante fosilíferas, de la Formación Celendín.

De igual modo se describen e identifican características de las unidades y subunidades geomorfológicas, que de acuerdo a su origen corresponden a las de origen tectónico – degradacional, conformado por colinas estructurales en roca sedimentaria, modeladas sobre calizas y margas, representativa en la margen derecha de la quebrada Potrera. Las laderas hacia la quebrada presentan promedio de 20° y hacia el norte es concordante a la estratificación;

Las geoformas de carácter depositacional y agradacional corresponde a la unidad de piedemonte, subunidad de vertiente coluvio deluvial de detritos, constituido por clastos redondeados heterogéneos principalmente de cuarcitas, areniscas y escasos clastos volcánicos, englobados en matriz arenosa-limosa-arcillosa, estas geoformas modelan laderas con pendientes menores a 12 °.

El sector Lagunas presenta **PELIGRO MUY ALTO**, debido a la presencia de un deslizamiento rotacional que desciende y avanza a lo largo de la pendiente con dirección N310°, el cual afectó la vía vecinal en un tramo de 500 m y originó el estrechamiento parcial de la quebrada Potrera. En zonas aledañas al escarpe principal se identificó grietas tensionales en terrenos de cultivo y escarpes antiguos de un evento pasado. La surgencia de agua y humedales, nos infieren el elevado nivel freático de la zona, esto contribuye a la inestabilidad del terreno.

Finalmente, se brindan algunas recomendaciones y alternativas de mitigación y prevención dentro del marco de la gestión del riesgo de desastres, a fin de que las autoridades competentes pongan en práctica, como es la progresiva reubicación de la población dentro de la zona afectada. Se sugiere un cambio de riesgo de gravedad a uno tecnificado y por ende en los tipos de cultivo.

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 (ACT. 11)”, contribuye de esta forma con entidades gubernamentales en los tres niveles de gobierno mediante el reconocimiento, caracterización y diagnóstico del peligro geológico (movimientos en masa) en zonas que tengan elementos vulnerables.

Atendiendo la solicitud del Gobierno Regional de Cajamarca, según Oficio N° D000193-2021-GRC-ODN, es en el marco de nuestras competencias que se realiza una evaluación de peligros geológicos por movimientos en masa, ocurridos y evidenciados principalmente en temporadas de lluvias (octubre – abril), cuyo impactos generaron la interrupción de tránsito vehicular en la vía (en un tramo de 500 m) vecinal que conduce a Santa Rosa Bajo, la destrucción de 03 viviendas, 7 viviendas inhabitables, y 4 viviendas afectadas; el estribo del puente Lagunas colapsado y áreas de cultivos de papa y maíz destruidas.

La Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico del Ingemmet designó a los ingenieros Luis Miguel León Ordáz y Anthony Wilson Zavaleta Paredes, para realizar la evaluación geológica, geomorfológica y geodinámica de los peligros geológicos que afectan el sector Lagunas, cuyos trabajos de campo se realizaron el día 24 de marzo de 2021.

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

Este informe se pone a consideración de la Municipalidad Distrital de Chota y Gobierno Regional de Cajamarca, en cuyo contenido se proporcionan resultados de la evaluación realizada y algunas recomendaciones para la mitigación y 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) Identificar, tipificar y caracterizar los peligros geológicos por movimientos en masa que se desarrollan en el sector Lagunas, los cuales pueden comprometer la física de las viviendas, la vida de las personas y sus medios de vida, así como obras de infraestructura de importancia para la zona.
- b) Determinar los factores condicionantes y desencadenantes que influyen en la ocurrencia de movimientos en masa.
- c) Emitir recomendaciones generales para la reducción o mitigación de los daños que puedan 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) Memoria descriptiva de la revisión y actualización del cuadrángulo de Celendín (Hoja 14f1) cuadrante – I. escala 1: 50, 000; esta memoria descriptiva presenta las unidades lito estratigráficas cartografiadas a escala 1: 50 000.
- b) Zavala y Rosado (2011), en el estudio “Riesgo Geológico en la Región Cajamarca”, indican que la frecuencia de peligros geológicos en la región es mediana a alta en comparación a otras áreas del país. Mencionan que las características climáticas, geológicas y sísmicas en la región conllevan a la recurrencia de procesos de geodinámica externa (movimientos en masa e inundaciones) y en menor proporción sismos. Teniendo para la región un total de 2176 ocurrencias de peligros geológicos y geohidrológicos, entre los que destacan los deslizamientos, seguidos de caídas de rocas, derrumbes, flujos y erosión de laderas; así mismo presentan el mapa de susceptibilidad a movimientos en masas donde el sector Lagunas, se encuentra en una zona de susceptibilidad media (figura 1).
- c) Zonificación Ecológica y Económica base para el ordenamiento territorial del departamento de Cajamarca, de 2011, describe las zonas de vulnerabilidad por geodinámica externa en la región; el cual fue utilizado para referenciar los eventos geodinámicas identificados, indicando una susceptibilidad alta a movimientos en masa, debido a reptación de suelos, deslizamientos, caída de rocas, colapsos, flujo de detritos, entre otros, con la finalidad de se ser empleado para la consideración de inversión estatal.

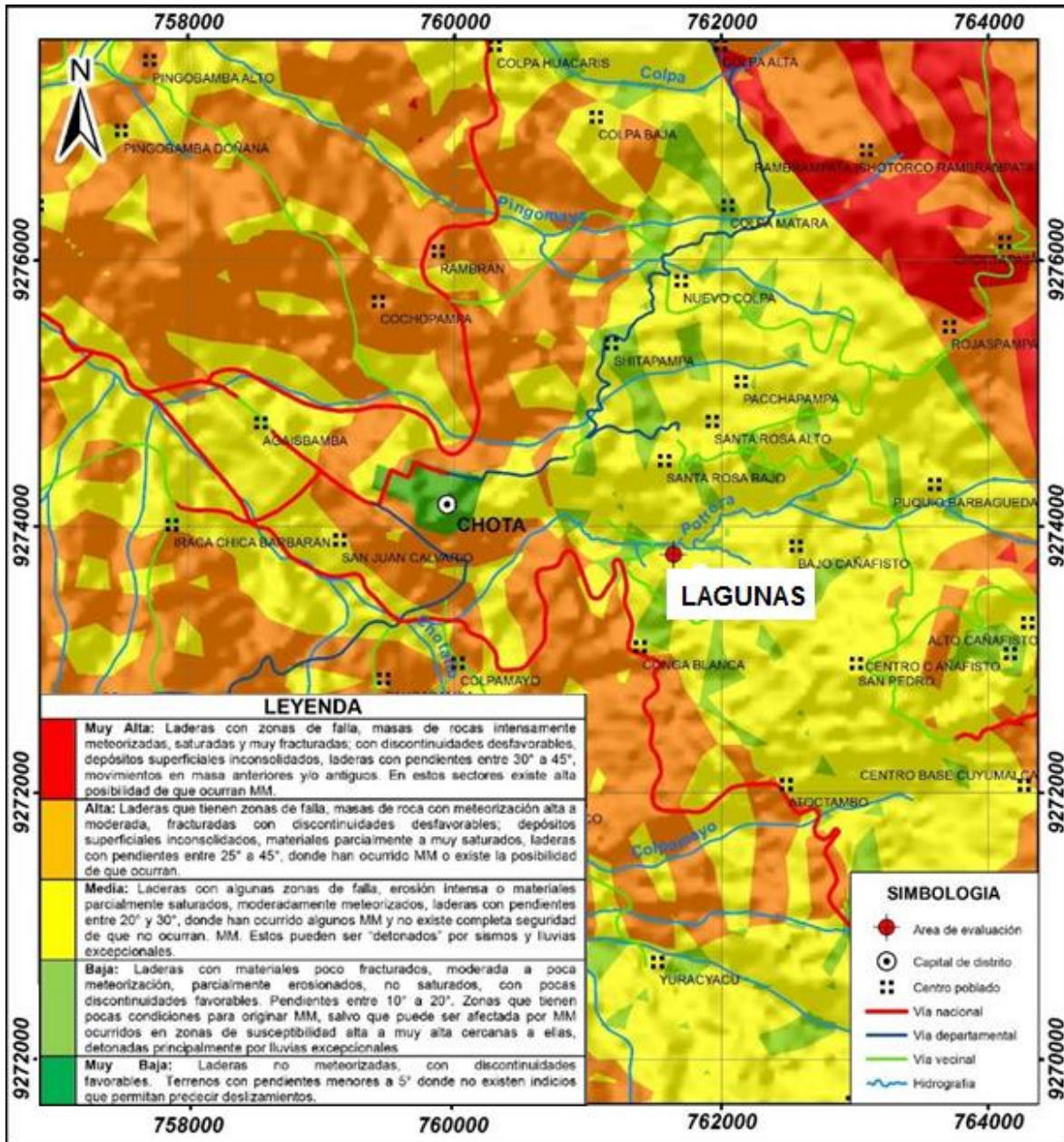


Figura 1. Susceptibilidad a movimientos en masa – Ingemmet, escala 1:250 000 (Lionel et al., 2010).

En la figura 1, la zona de evaluación se enmarca en un área de susceptibilidad media, caracterizado por laderas con zonas de fallas, erosión intensa y materiales parcialmente saturados, corresponde a laderas comprendidas en un rango de 20° a 30° de pendiente, sujeto a incidencia de ocurrencia por factores detonantes de sismicidad y lluvias excepcionales.

1.3 Aspectos generales

1.3.1 Ubicación

El sector Lagunas, en el distrito de Chota, provincia de Chota, Región de Cajamarca (Figura 2), se ubica en las siguientes coordenadas UTM (Datum: WGS 84 – Zona: 17s)

Cuadro 1. Coordenadas del área de estudio.

N°	UTM – WGS 84 - ZONA 17S		GEOGRÁFICAS	
	Este	Norte	Latitud	Longitud
1	761150	9274230	6°33'37.50"	78°38'18.24"
2	762270	9274230	6°33'37.33"	78°37'41.80"
3	762270	9273030	6°34'16.37"	78°37'41.62"
4	761150	9273030	6°34'16.54"	78°38'18.06"
COORDENADA CENTRAL DE LA ZONA EVALUADA O EVENTO PRINCIPAL				
C	761710	9273630	6°33'56.94"	78°37'59.93"

1.3.2 Accesibilidad

Se accede por vía terrestre, mediante la principal vía de conexión interprovincial de Cajamarca-Chota (Carretera 3N), por 35 Km, para luego mediante una trocha vecinal llegar a Santa Rosa Baja y Lagunas tal como se detalla en la siguiente ruta:

Cuadro 2. Rutas y accesos a la zona evaluada

Ruta	Tipo de vía	Distancia (km)	Tiempo estimado
Cajamarca - Chota	Asfaltada	35.00	1 h 10 min
Chota – Santa Rosa Bajo	Trocha carrozable	0.40	2 min

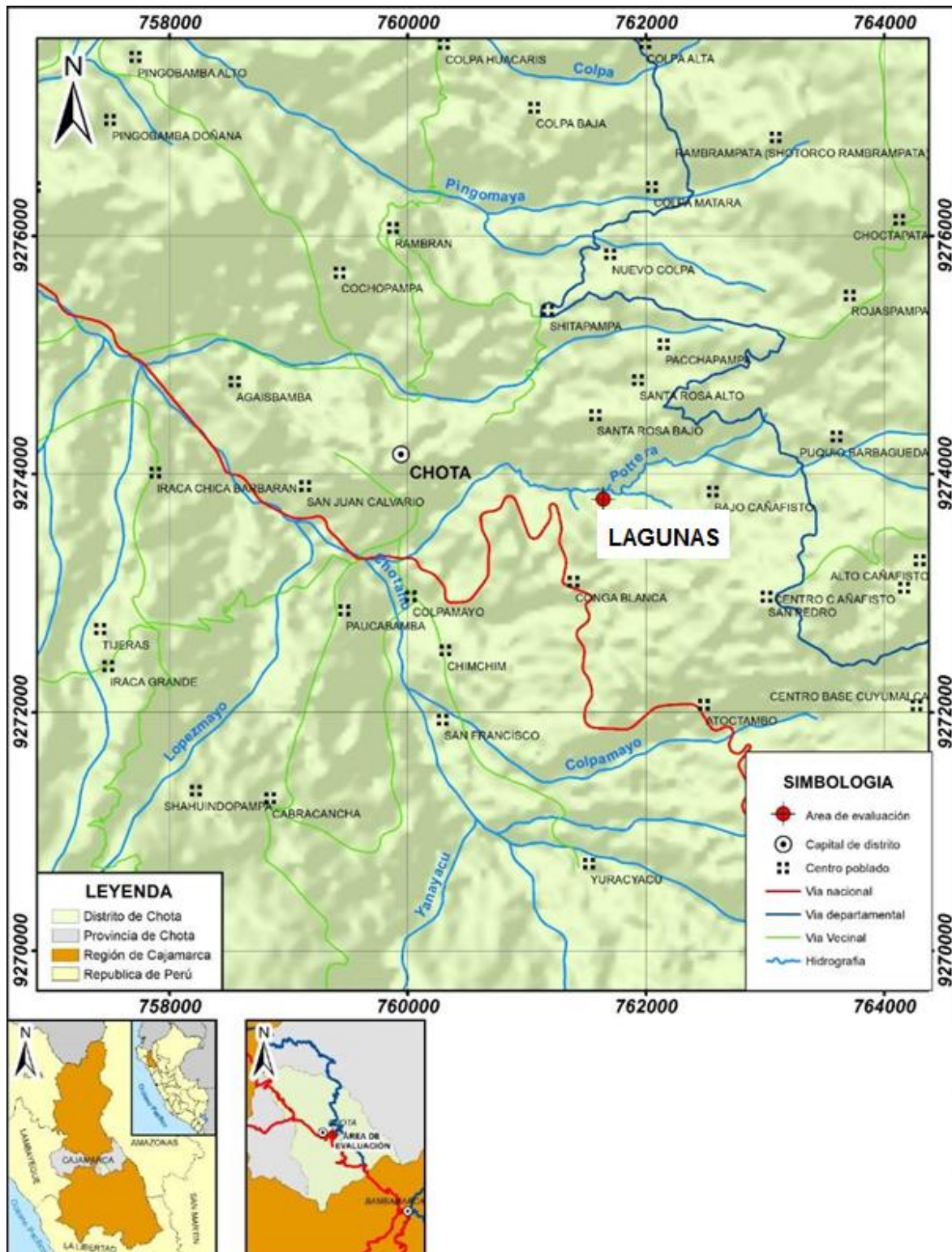


Figura 2. Mapa de ubicación del sector de LAGUNAS, distrito y provincia de Chota.

2. DEFINICIONES

A continuación se describe según los términos establecidos en el Proyecto Multinacional Andino - Movimientos en Masa GEMMA, del PMA: GCA:

AGRIETAMIENTO (cracking) Formación de grietas causada por esfuerzos de tensión o de compresión sobre masas de suelo o roca, o por desecación de materiales arcillosos.

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

DESLIZAMIENTO (slide) Son movimientos de masas de roca, residuos o tierra, hacia abajo de un talud” (Cruden, 1991), son uno de los procesos geológicos más destructivos que afectan a los humanos, causando miles de muertes y daños en las propiedades, por valor de decenas de billones de dólares cada año (Brabb y Harrod, 1989). Los deslizamientos producen cambios en la morfología del terreno, diversos daños ambientales, daños en las obras de infraestructura, destrucción de viviendas, puentes, bloqueo de ríos, etc.

ESCARPE (scarp) sin.: escarpa. Superficie vertical o semi vertical que se forma en macizos rocosos o de depósitos de suelo debido a procesos denudativos (erosión, movimientos en masa, socavación), o a la actividad tectónica. En el caso de deslizamientos se refiere a un rasgo morfométrico de ellos.

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

METEORIZACIÓN (weathering) 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.

CAIDAS. La caída es un tipo de movimiento en masa en el cual uno o varios bloques de suelo o roca se desprenden de una ladera, sin que a lo largo de esta superficie ocurra un desplazamiento cortante apreciable. Una vez desprendido el material, cae desplazándose principalmente por el aire, y puede efectuar golpes, rebotes y rodamiento (Varnes, 1978). Dependiendo del material desprendido, se habla de una caída de roca, o una caída de suelo. El movimiento es muy rápido a extremadamente rápido (Cruden & Varnes, 1996), es decir, con velocidades mayores a 5×10^1 .mm/s.

En función al mecanismo principal y la morfología de las zonas afectadas por el movimiento, así como del material involucrado, las caídas se subdividen en tres tipos principales: aludes, caída de rocas y derrumbes.

DERRUMBE: Son desprendimientos de masas de roca, suelo o ambas, a lo largo de superficies irregulares de arranque o desplome como una sola unidad, que involucra desde pocos metros hasta decenas y centenas de metros (Se presentan en laderas de montañas de fuerte pendiente y paredes verticales a subverticales en acantilados de valles encañonados. También se presentan a lo largo de taludes de corte realizados en laderas de montaña de moderada a fuerte pendiente, con afloramientos fracturados y alterados de diferentes tipos de rocas; así como en depósitos poco consolidados.

EROSIÓN DE LADERAS: Se considera dentro de esta clasificación a este tipo de eventos, porque se les considera predecesoras en muchos casos a la ocurrencia de grandes eventos de movimientos en masa. La erosión de los suelos es producto de la remoción del material superficial por acción del agua o viento. El proceso se presenta gracias a la presencia de agua en forma de precipitación pluvial (lluvias) y escorrentías (escurrimiento), que entra en contacto con el suelo, en el primer caso por el impacto y en el segundo caso por fuerzas tractivas que vencen la resistencia de las partículas (fricción o cohesión) del suelo generándose los procesos de erosión (Duque et ál, 2016).

Los procesos de erosión de laderas también pueden tener como desencadenante la escorrentía formada por el uso excesivo de agua de regadío.

La erosión hídrica causada por el agua de lluvia abarca los siguientes procesos:

SALTACIÓN PLUVIAL: El impacto de las gotas de lluvia en el suelo desprovisto de vegetación ocasiona el arranque y arrastre de suelo fino, el impacto compacta el suelo disminuyendo la permeabilidad e incrementa escorrentía. Escurrimiento superficial difuso: comprende la erosión laminar sobre laderas carentes de coberturas vegetales y afectadas por saltación pluvial, que estimulan el escurrimiento del agua arrastrando finos.

ESCURRIMIENTO SUPERFICIAL CONCENTRADO: se produce en dos formas, como surcos de erosión (canales bien definidos y pequeños), formados cuando el flujo se hace turbulento y la energía del agua es suficiente para labrar canales paralelos o anastomosados; y como cárcavas, que son canales o zanjas más profundos y de mayor dimensión, por las que discurre agua durante y poco después de haberse producido una lluvia.

3. ASPECTO GEOLÓGICO

El análisis geológico del área de estudio se elaboró teniendo como base el Boletín N° 39, serie A, Carta Geológica Nacional: "Geología de los cuadrángulos de Las Playas, La Tina, Las Lomas, Ayabaca, San Antonio, Morropón, Huancabamba, Olmos y Pomahuaca 13-d, 13-e, 13-f, 14-d, 14-e, 14-f, 14-g, 15-d, 15-e (1987) y la actualización del cuadrángulo de Celendín (Hoja 14G) cuadrante – IV a escala 1: 50, 000 (Mamani *et al.*, 2011).

3.1 Unidades litoestratigráficas

Las unidades litoestratigráficas aflorantes (figura 6) del Cretácico superior, comprenden secuencias de calizas, intercalados de conglomerados polimícticos sedimentarios, y flujos piroclásticos correspondientes al Cenozoico, descritos a continuación:

3.1.1 Formación Pulluicana

Compuesta por calizas nodulares gris parduscas y oscuras de 0.2 a 0.5 m, así como margas y escasos niveles de lutita, esta formación puede alcanzar un espesor de 500 m.

3.1.2 Formación Cajamarca

Comprende calizas gris oscuras o azuladas y macizas, con delgados lechos de lutitas y margas de los mismos colores, debido a sus propiedades geomecánicas conforman largos sinclinales. Esta formación se caracteriza por su homogeneidad litológica y por la ocurrencia de bancos gruesos y duros. El espesor de la formación oscila entre los 600 a 700m.

3.1.3 Formación Celendín

Definida por Reyes L. (1980) como: "Consiste en una intercalación de lutitas, margas y calizas delgadas de color claro, amarillento o crema, muy fracturadas y moderadamente meteorizadas; generalmente es bastante fosilífera."

Esta formación suprayace concordantemente a la Formación Cajamarca y específicamente en el sector evaluado infrayace a depósitos continentales de la Formación Chota con discordancia angular (figura 3).

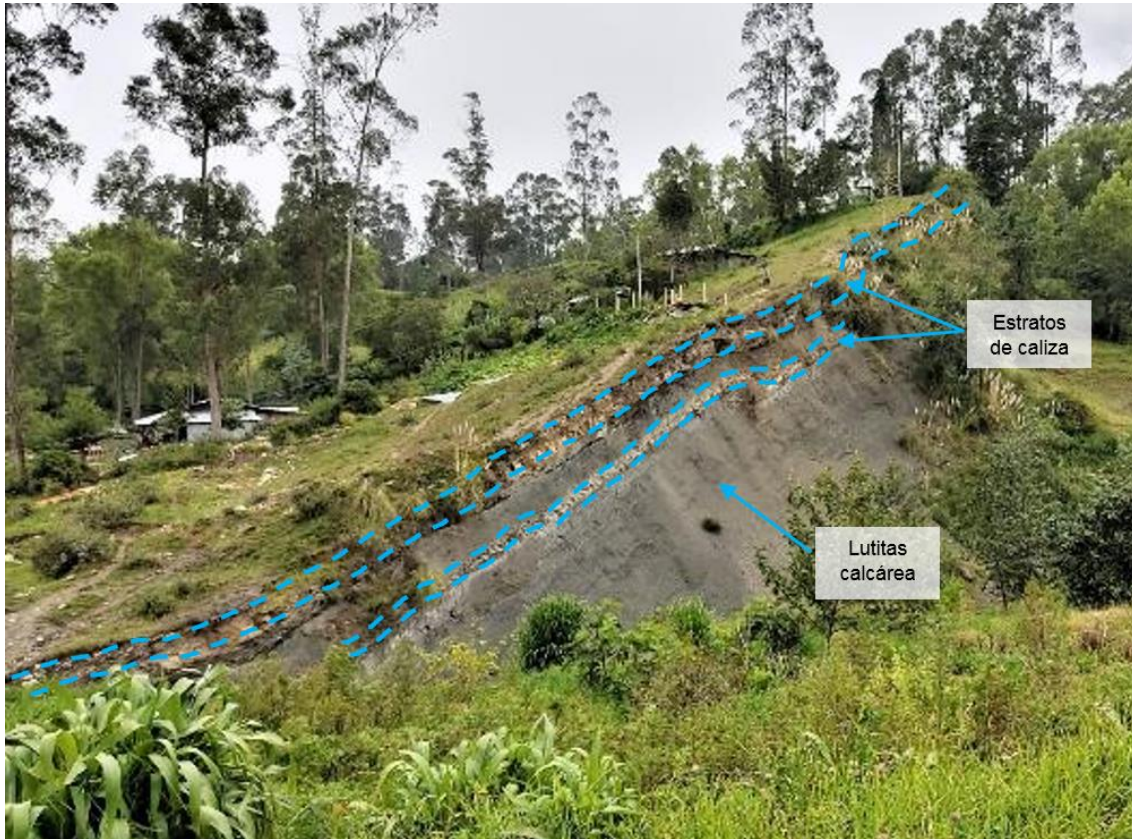


Figura 3. Afloramiento de la Formación Celendín, se aprecian los delgados estratos de caliza en contacto con la intercalación de lutitas calcáreas (Coordenadas UTM 761505 E – 9273877 N)

3.1.4 Formación Chota

Definida por Reyes L. (1980) como: “conglomerado calcáreo gris parduzco en el sector occidental del área y areniscas rojizas intercaladas con bancos de arenas tobáceas de color claro, verdosos y violáceos, en la parte oriental.”

Jaimes *et al.*, la definen en tres miembros, en el cual describen que el Miembro inferior corresponde a conglomerados de clastos redondeados envueltos en una matriz areno-limosa. El Miembro medio corresponde a una secuencia arenisca polimíctica con tonalidades gris verdosa a pardo, el miembro superior es definido como flujos piroclásticos redondeados de color gris blanquecinos, con conglomerados y niveles de tobas riolíticas.

En consecuencia, se determinó que en el sector evaluado aflora en el área de estudio el miembro inferior, se encuentra concordante a la Formación Celendín la cual la infrayace, litológicamente está compuesto por clastos redondeados con dimensiones de 5 cm a 20 cm de diámetro soportados por una matriz arenosa, intercalados con estratos areno-limosos, de color gris a pardo en superficie fresca (figuras 4 y 5).



Figura 4. Afloramiento de la Formación Chota en vía vecinal a Santa Rosa Bajo
Coordenadas UTM 761505 E – 9273877 N



Figura 5. Clastos redondeados de arenisca y cuarcita en matriz areno-limosa característico del
Miembro inferior de la Formación Chota.
Coordenadas UTM 761505 E – 9273877 N

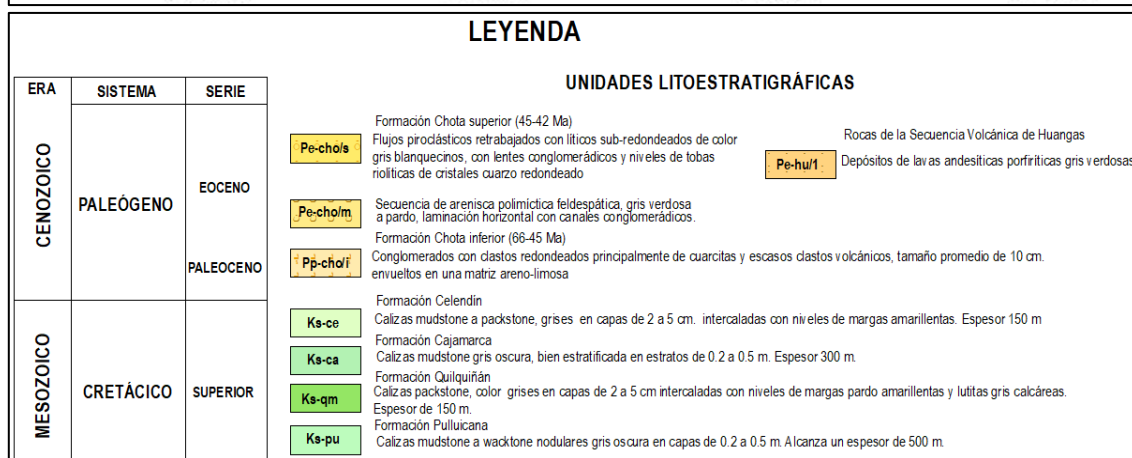
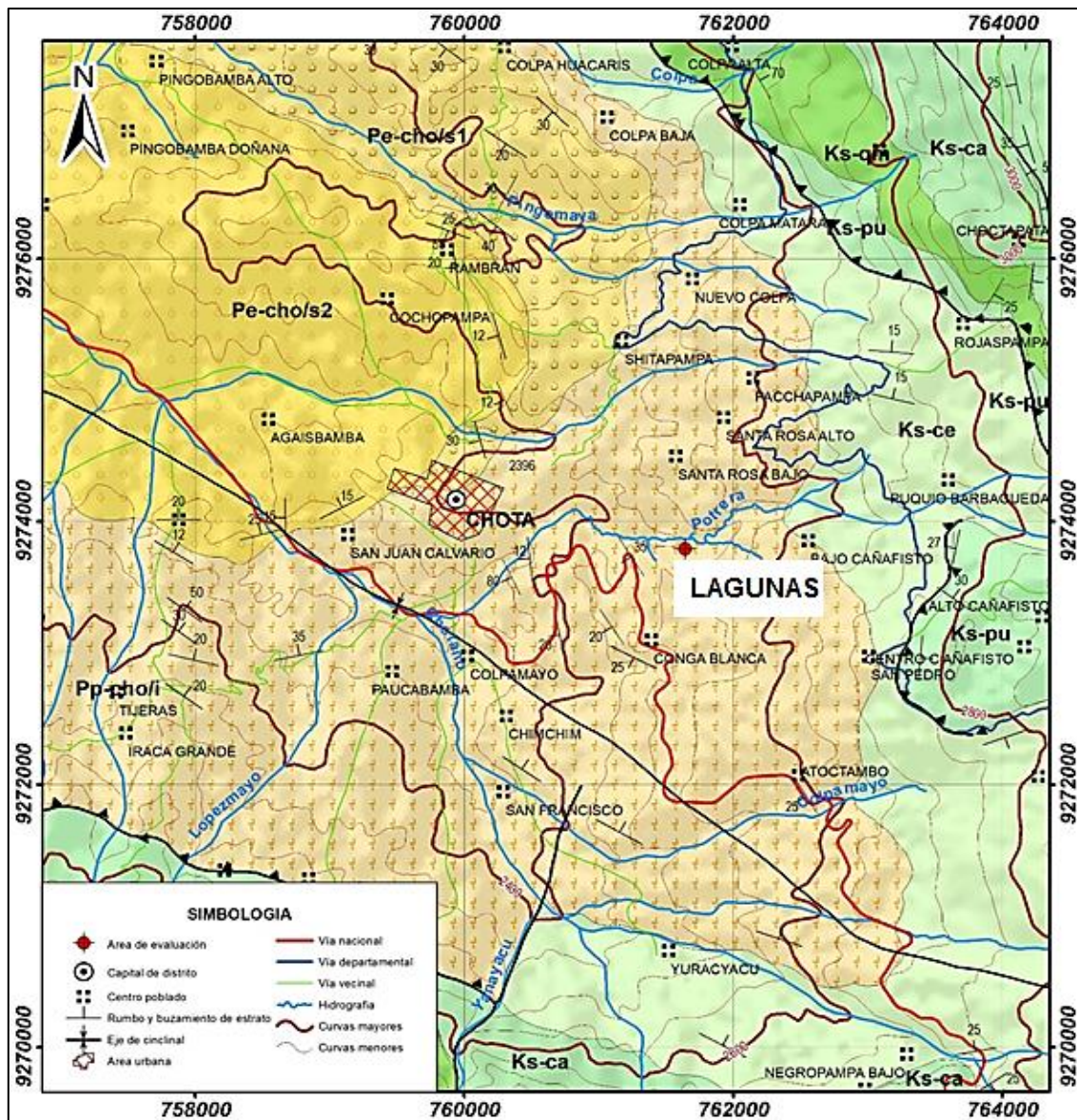


Figura 6. Mapa Geológico de la zona evaluada

Fuente: Mapa geológico del cuadrángulo de Chota - hoja 14 - f Cuadrante - I

4. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS

Las variables y parámetros geomorfológicos de pendientes permiten validar y actualizar la información geomorfológica, con el presente estudio y trabajos de campo se ha realizado el levantamiento fotogramétrico mediante dron, obteniéndose el modelo digital del terreno con una resolución 30 cm por pixel para el modelo digital de elevaciones y 5 cm por pixel para la ortofoto, información que fue complementada con el análisis de imágenes satelitales, análisis morfométrico del relieve y cartografiado in situ (figura 7).

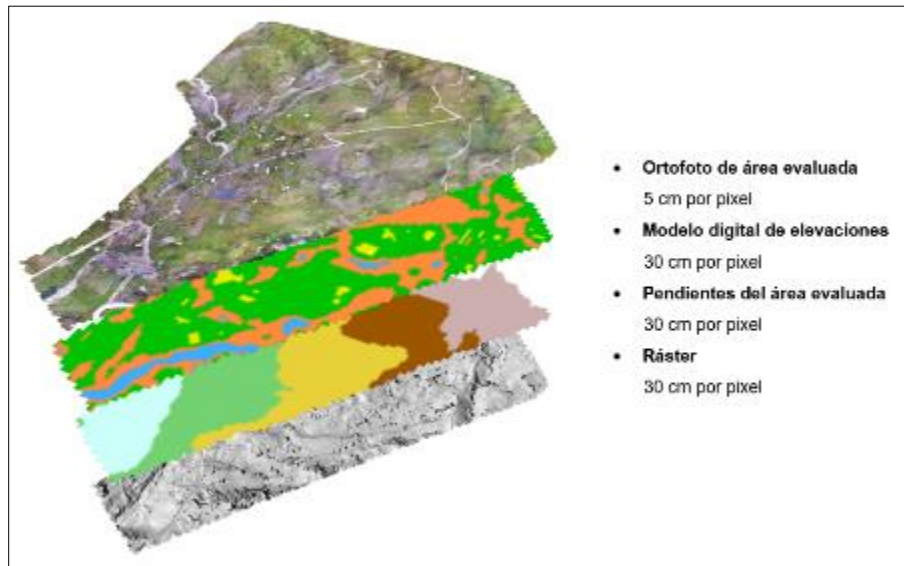


Figura 7. Detalle de resolución de superficies procesadas

4.1 Modelo digital de elevaciones (MDE)

El terreno del sector de Lagunas, comprende elevaciones desde 2423.68 hasta los 2633.94 m s.n.m., donde se clasificó en seis niveles altitudinal, con la finalidad de visualizar la extensión del área respecto a la diferencia de alturas, donde los niveles más extensos sean de menor pendientes y los de menor espesor serán aquellos que presenten mayor variación de alturas, teniendo para ello, que la mayor área en extensión comprende alturas entre 2458.73 a 2493.77 m.s.n.m.(zona de mayor humedad) , donde se ubica una laguna y lagunas estacionales, humedades, cuyas áreas son destinadas para cultivo.

La diferencia de alturas se incrementa a partir de los 2528.81 m s.n.m, a partir del cual inician terrenos de pendiente fuerte, con valores de 15 a 25°. (Figura 8)

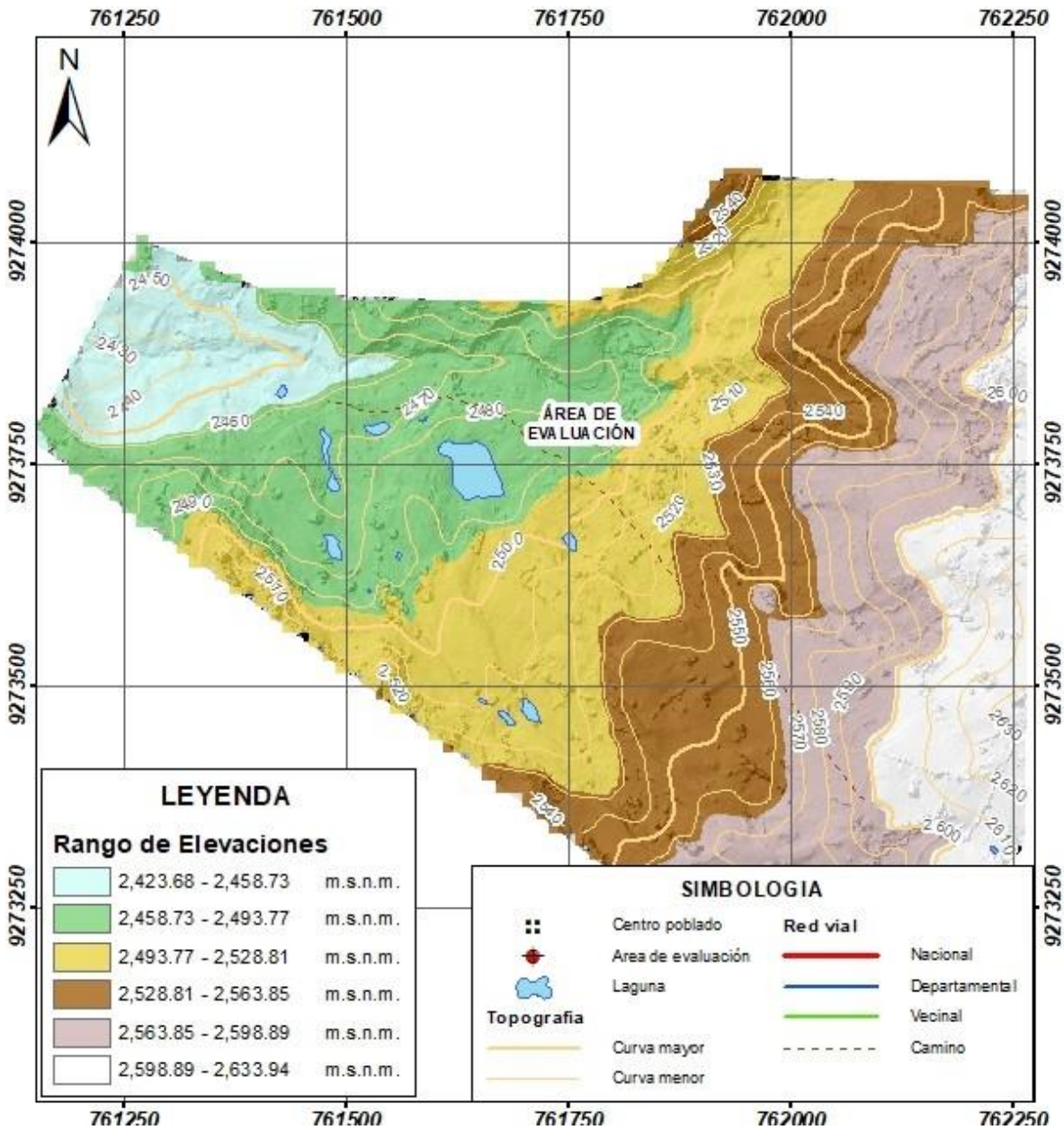


Figura 8. Elevaciones del terreno (Elaboración propia)

4.2 Pendiente del terreno

Las pendientes son variables, limitadas por pendientes suaves hasta muy escarpadas (Figuras 9 y 10).

Mostrándose que el evento geológico, se desarrolla en pendientes moderadas con rango de 5° a 15°; la cual además se encuentra saturada con surgencia de agua natural y artificial de riesgo por inundación.

Hacia el este de Lagunas, las pendientes varían entre 25° a 45° clasificadas como pendiente escarpada, observadas en ambas márgenes de una quebrada intermitente, que es afluente de la quebrada Potrera.

Los cambios de pendientes bruscos describen los saltos en el escarpe del deslizamiento y a su vez los delimita.

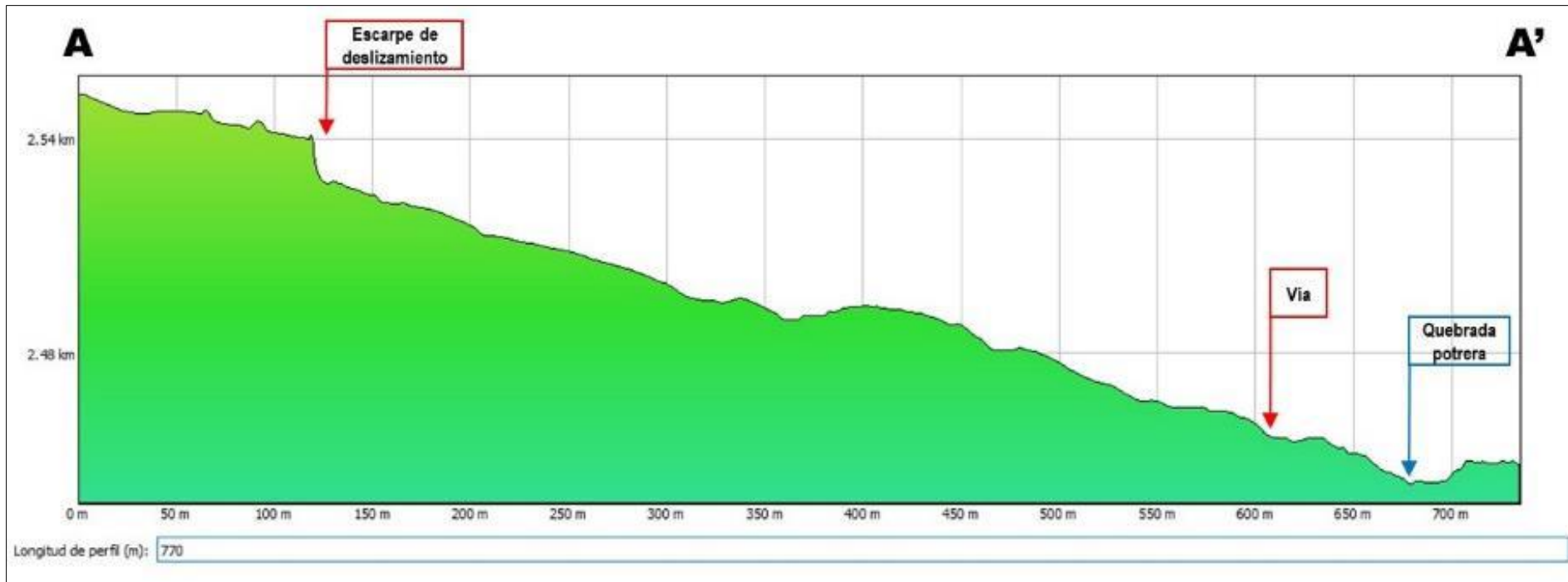


Figura 9. Perfil longitudinal que abarca el escarpe del deslizamiento hasta la zona de acumulación.

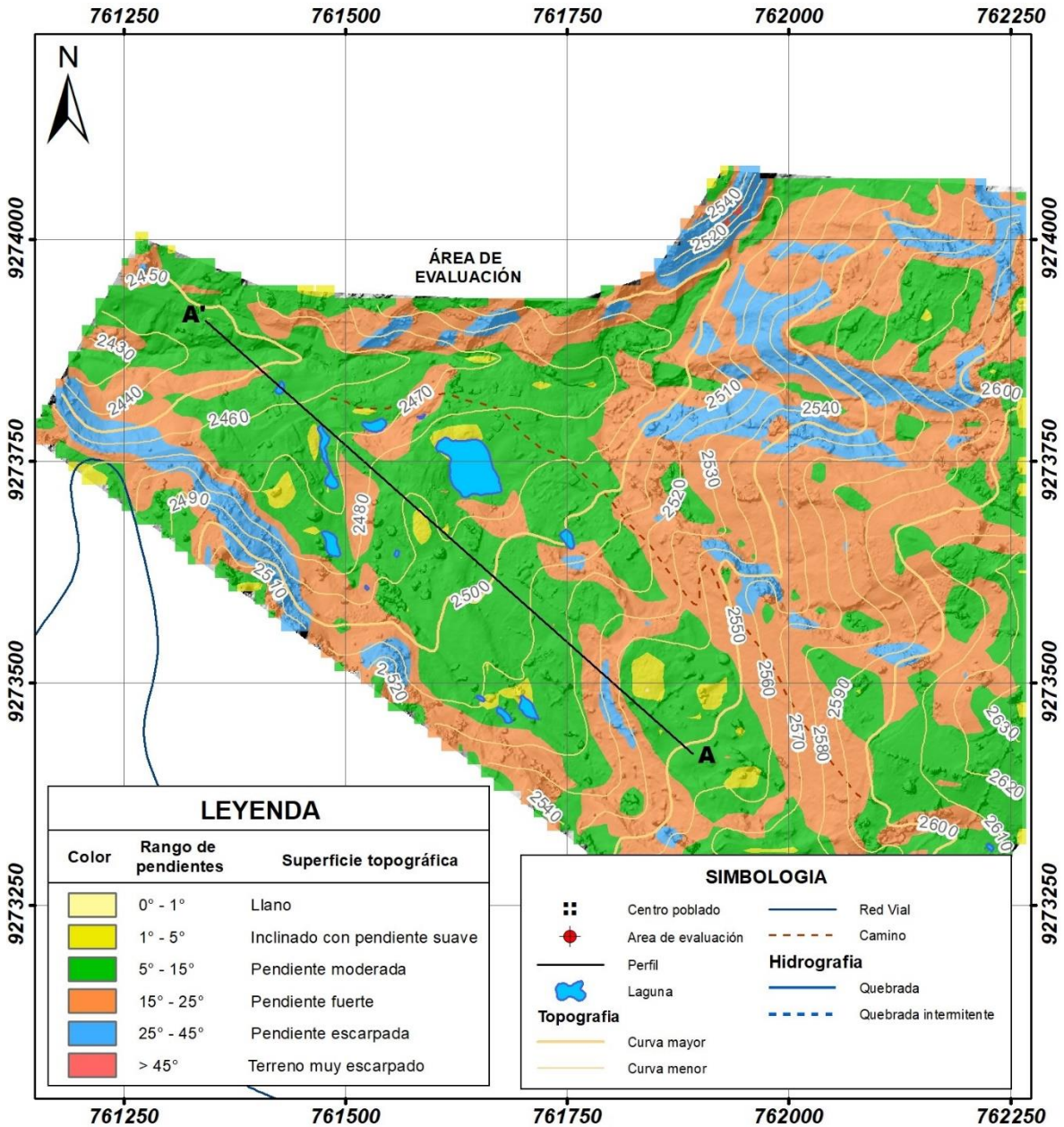


Figura 10. Pendiente del terreno (Elaboración propia).

4.3 Unidades Geomorfológicas

En este capítulo se señalan las unidades y subunidades geomorfológicas del sector Lagunas a escalas 1:7500, se consideraron criterios de control como: la homogeneidad litológica y caracterización conceptual en base a aspectos del relieve en relación a la erosión, denudación y sedimentación (Vílchez *et al.*, 2019), así también se ha empleado los trabajos de Villota (2005), verificados, adaptados y actualizados con el levantamiento fotogramétrico y observaciones de campo hechas en esta evaluación

El sector de Lagunas, presenta las siguientes geofomas:

4.3.1 Geformas de carácter tectónico degradacional y erosional

Están representadas por las formas de terreno resultados de la acumulación de materiales provenientes de los procesos denudativos y erosionales que afectan otras geoformas preexistentes:

Unidad de colina

La unidad de colina corresponde a geoformas no mayores a 300 metros respecto al piso de origen, con pendientes divergentes en múltiples direcciones y con pendientes mayores a 16°.

a) Subunidad de colina estructural en roca sedimentaria (RC-rs)

Conformada por rocas calcárea, intercaladas de lutitas, la ubicación se encuentra en la zona norte y noreste de la zona evaluada, esta geoforma está relacionada a afloramientos de la Formación Celendín (fotografía 1).

Las colinas son irregulares semicirculares, debido a la litología corresponde a pendientes fuertes con rango de 15° a 25°.



Fotografía 1. Subunidad de colina en roca sedimentaria
Coordenadas UTM 761593 E – 9273834 N

4.3.2 Geformas de carácter tectónico depositacional y agradacional

Subunidad vertiente

Vertiente coluvio-deluvial (V-cd)

“Formados por acumulación intercalada de materiales de origen coluvial y deluvial (material con poco transporte), estos se encuentran interestratificados y no es posible diferenciarlos” (Vílchez *et al.*, 2019), la material in situ está constituido por clastos redondeados, subredondeados y angulosos de calizas fosilíferas y margas pardo amarillentas, los cuales

están distribuidos de manera heterogénea, la pendiente promedio de la unidad está comprendida entre los 5° a 15° (figura 11).

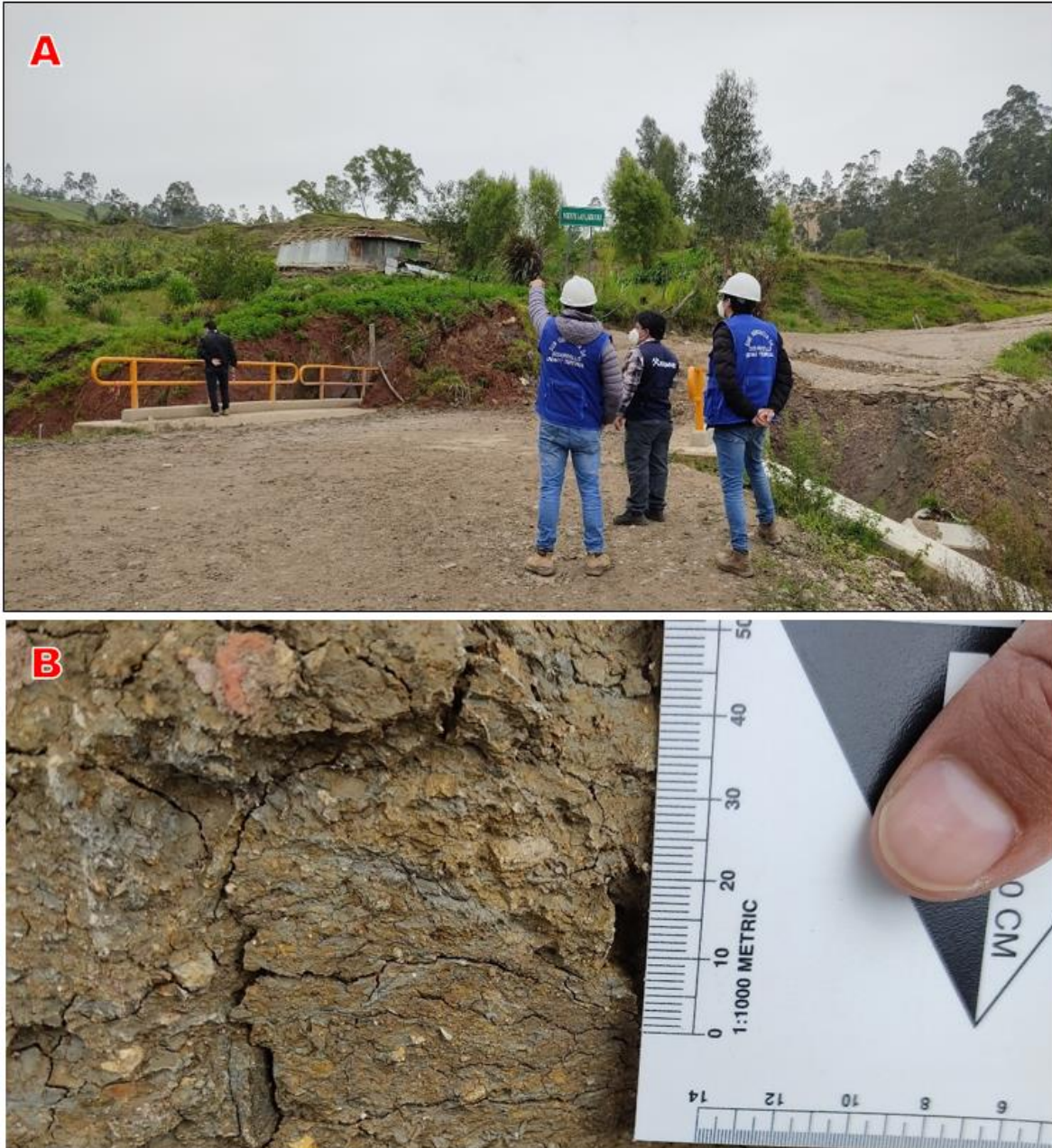


Figura 11. Vertiente coluvio – deluvial, A) Zona de acumulación del deslizamiento que constituye la parte final la vertiente, B) Muestra de grieta tensional, se identificó intercalación de arcillas y pequeños fragmentos líticos de arenisca.

Coordenadas UTM 761554 E – 9273809 N

Geformas particulares – Cauce del río (Río)

Conformado por la quebrada Potrera, que discurre con dirección este a oeste, cuyo cauce original se ha visto reducido por el deslizamiento (figura 12), que afectó un tramo de 125 m

sobre el puente “Las Lagunas”, para posteriormente formarse un embalse, su desembalse provocó inundación en áreas de cultivo.



Figura 12. Cauce del río (Río)- Quebrada Potrera
 Coordenadas UTM 761793 E – 9273915 N

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

Los peligros geológicos identificados, corresponden a movimiento en masa, tipo deslizamiento rotacional antiguo en proceso de reactivación.

5.1 Deslizamiento rotacional sector Lagunas

Se identificó un deslizamiento con dirección N310, que se dispone en forma casi perpendicular a la dirección de la quebrada Potrera (rumbo este – oeste), esto provocó embalsamiento de la quebrada y estrechamiento del cauce.

El escarpe principal presenta un salto de 12 m, tiene una longitud de 153 m, con grietas tensionales con aperturas de hasta 50 cm y extensión de 20 m

En nivel freático superficial es indicador de que el suelo se encuentra saturado.

El deslizamiento produjo la caída de árboles (eucaliptos), agrietamiento y colapso de viviendas, también afectó áreas de cultivo e interrumpió la carretera Chota – Santa Rosa Bajo, en un tramo de 250 m.

A continuación, se detalla las características del deslizamiento.

5.1.1 Características visuales del evento

A continuación, se presenta las dimensiones y características visuales identificadas en este evento de deslizamiento (figuras 13, 14, 15, 16 y 17)

- Escarpe principal: 153 m.
- Altura máxima de escarpe principal: 12 m
- Área total: 16.10 hectáreas.
- La zona de acumulación alcanza una longitud de 420.25 m en contacto con la quebrada Potrera.
- Forma de la superficie de rotura: Circular.
- Dirección de desplazamiento: N310.
- El material deslizado está constituido por bloques de roca y suelo areno arcilloso y saturado

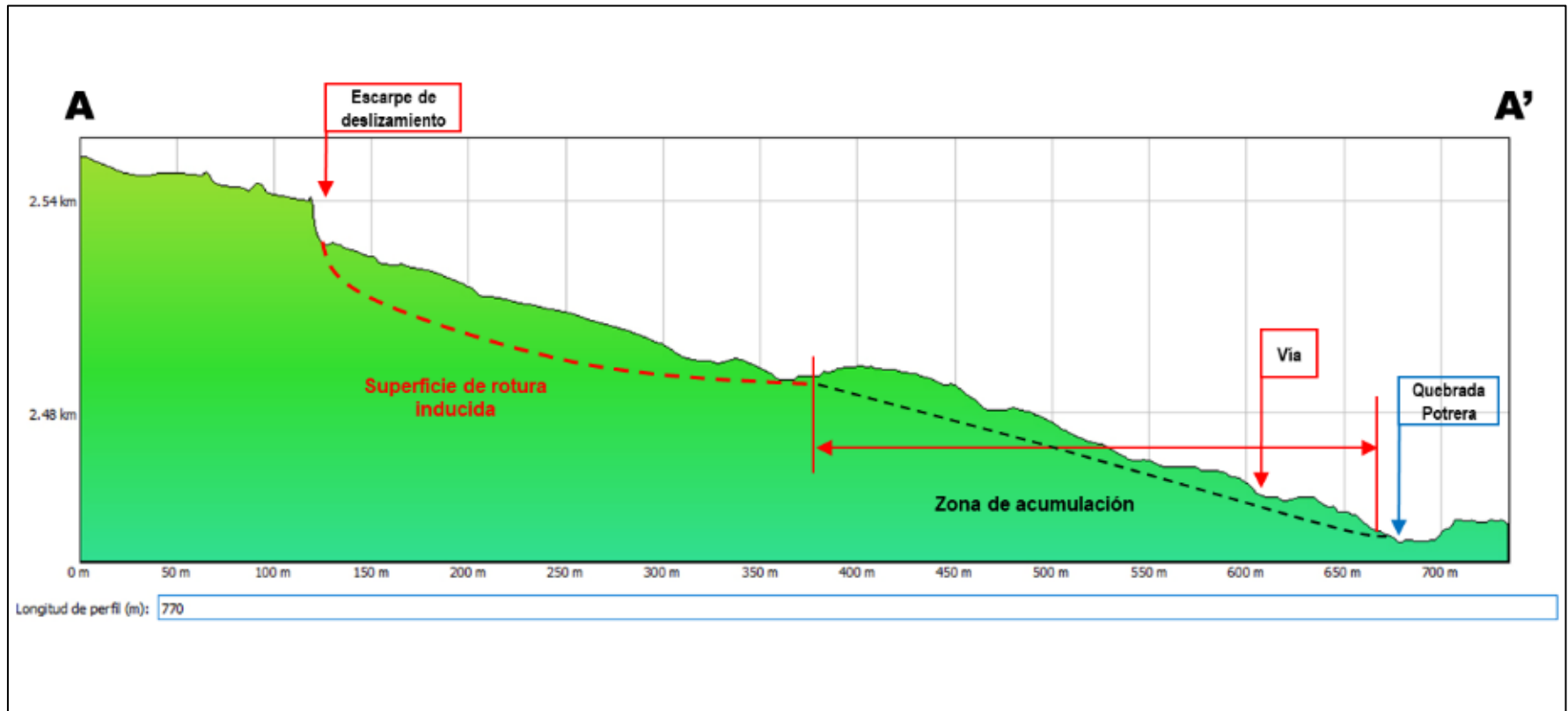


Figura 13. El perfil A-A' comprende la longitud total del deslizamiento desde el escarpe principal hasta la zona de acumulación.



Figura 14. El perfil B-B' es transversal a la dirección del deslizamiento, topográficamente se determina una depresión en el área afectada.

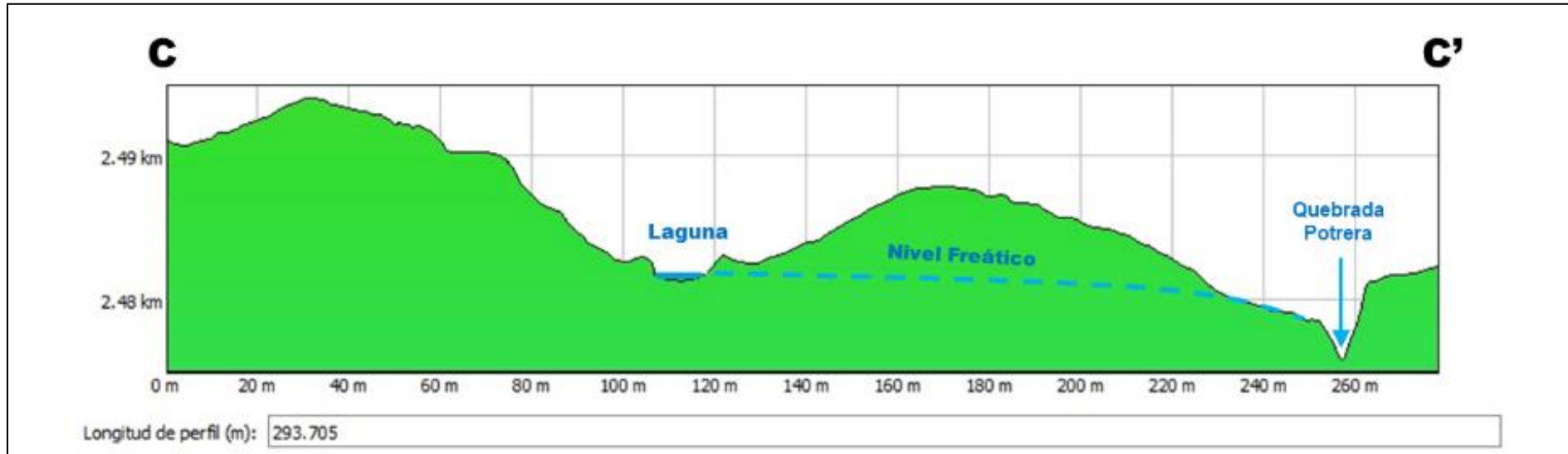


Figura 15. El perfil C-C' es transversal al deslizamiento, en el cual se ha representado la laguna y la relación de altura respecto a la quebrada y la surgencia de agua, infiriendo que el nivel freático es superficial, mostrándose el suelo totalmente saturado.

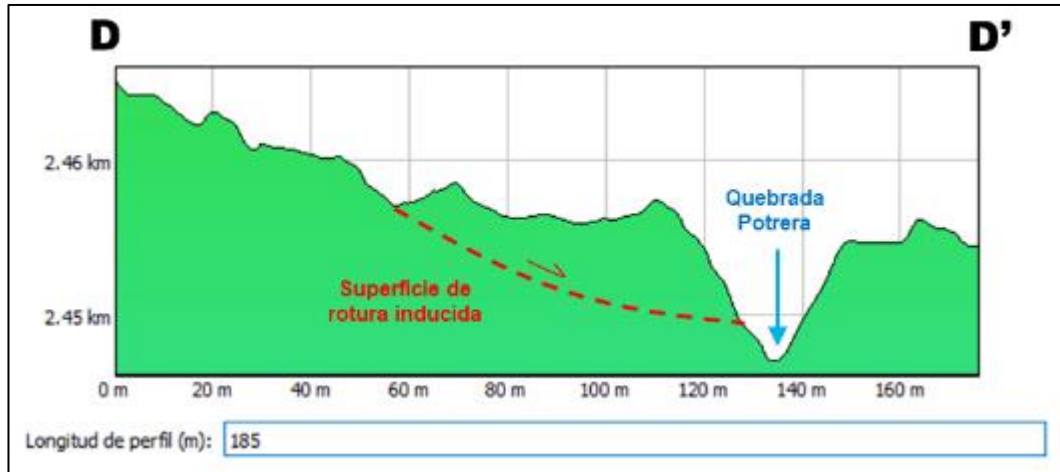


Figura 15. En el perfil D-D' representa la zona de acumulación de material deslizado, que va reduciendo el cauce de la quebrada Potrera del flanco izquierdo.

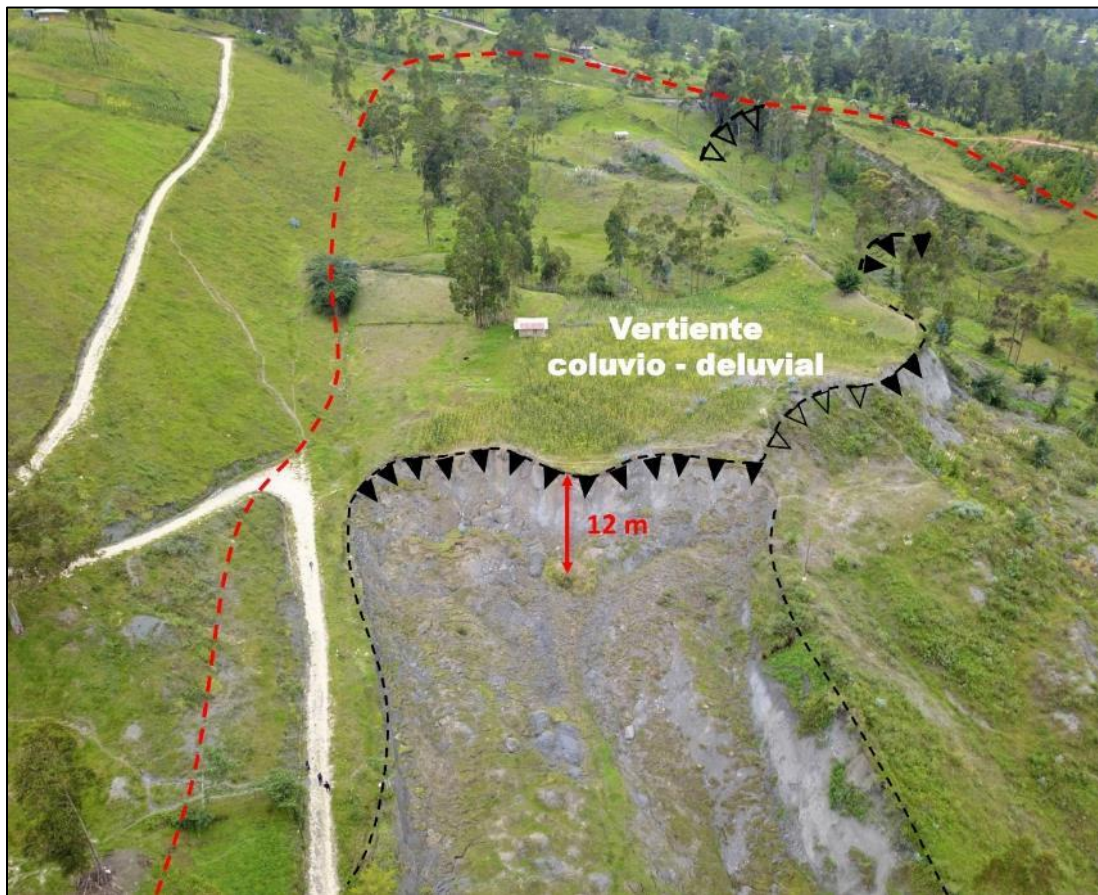


Figura 17. El escarpe principal alcanza de 12 metros, y su longitud supera 153.71 metros
 Coordenadas UTM 761860 E – 9273584 N

5.2 Factores condicionantes

5.2.1 Factor litológico

La Formación Chota da origen a la vertiente coluvio – deluvial, constituida por clastos redondeados a subredondeados de cuarcitas, areniscas en una matriz areno - limosa, distribuido de manera heterométrica y completamente saturados, sobre la cual se origina el deslizamiento.

Las formaciones Chota y Celendín, presentan estratos de rumbo N165 y buzamiento 25 SO (Coordenadas UTM 795378 E – 9279512 N) a favor de la pendiente; de esta manera la estratificación es un factor para la generación del deslizamiento (figura 18).



Figura 18. En la figura se puede ver que el buzamiento de la estratificación es favorable a la pendiente del terreno, y por ende a la dirección del desplazamiento del deslizamiento.
Coordenadas UTM 761623 E – 9273783 N

5.2.2 Pendiente del terreno

El sector Lagunas se localiza en terreno en un rango de pendiente promedio entre 5° a 15° (figura 19), clasificada como moderada, de baja propensión a procesos denudativos, ya que la mayoría de los materiales de suelos no supera el ángulo de fricción interna de los materiales (Tabla 6.7 Basic friction angles ϕ for different rock – Barton & Choubey, 1977).

Las mayores pendientes de hasta 25°, se configuran en la zona de escarpe de deslizamiento y zona de acumulación de materiales. Hacia el este se ha determinado pendientes escarpadas, pero no presentan inestabilidad ya que está constituida por estratos calcáreos.



Figura 19. Pendientes del terreno tras el deslizamiento, el rango de pendientes comprendido es de 5° a 15°.

Coordenadas UTM 791929 E – 9274041 N

5.2.3 Factor antrópico

La intervención antrópica de retiro de especies nativas para habilitación de terrenos de cultivo, y el uso de regadío por inundación, favoreció la infiltración de agua en los terrenos (fotografías 2, 3 y figura 20), esto contribuyó con la desestabilización.

Se identificaron catorce viviendas en el cuerpo del deslizamiento. El colapso del sistema de alcantarillado contribuyó con la inestabilidad, así como también la falta de drenaje.

El corte en la base del talud para la apertura de una carretera (Chota – Santa Rosa Bajo), y el tránsito de maquinaria pesada, contribuyó con la inestabilidad del terreno.



Fotografía 2. Cultivo de maíz sobre el escarpe del deslizamiento
Coordenadas UTM 761856 E – 9273514 N



Fotografía 3. Cultivo de maíz que ha sido afectado por el deslizamiento.
Coordenadas UTM 761769 E – 9273784 N



Figura 19. Área de cultivo sobre el deslizamiento (línea amarilla).
 Coordenadas UTM 761769 E – 9273784 N

5.3 Factores desencadenantes

5.3.1 Precipitaciones pluviales

Las precipitaciones del mes de diciembre y marzo son las que poseen mayor incidencia en la infiltración de agua, la cual aprovecha los diaclasamientos preexistentes y la permeabilidad del suelo.

En el gráfico 1, se presentan los datos de precipitación en mm para los meses comprendidos entre octubre de 2020 a marzo de 2021, teniendo como mes y semana crítica, la última semana de febrero y marzo, coincidentemente esta condición es causa y consecuencia de la ocurrencia del deslizamiento del 15 de marzo de 2021.

Cabe indicar, que existen precipitaciones que superan las precipitaciones de marzo la diferencia es que fueron lluvias de corta duración, asumiendo que los periodos de cese drenan el terreno natural y disminuye la saturación del suelo, mientras que en periodos prolongados de lluvias conlleva a una mayor infiltración de agua y mantiene un nivel freático alto, trayendo consigo la disminución del ángulo de fricción y la cohesión de las partículas de los suelos.

Cuadro 3. Ubicación de estación meteorológica "CHOTA"

Estación meteorológica: CHOTA					
Departamento:	Cajamarca	Provincia:	Chota	Distrito:	Chota
Latitud:	6°32'49.66"	Longitud:	78°38'5.07"	Altitud:	3468 msnm.
Tipo:	CO-Meteorológica	Código:	106034		

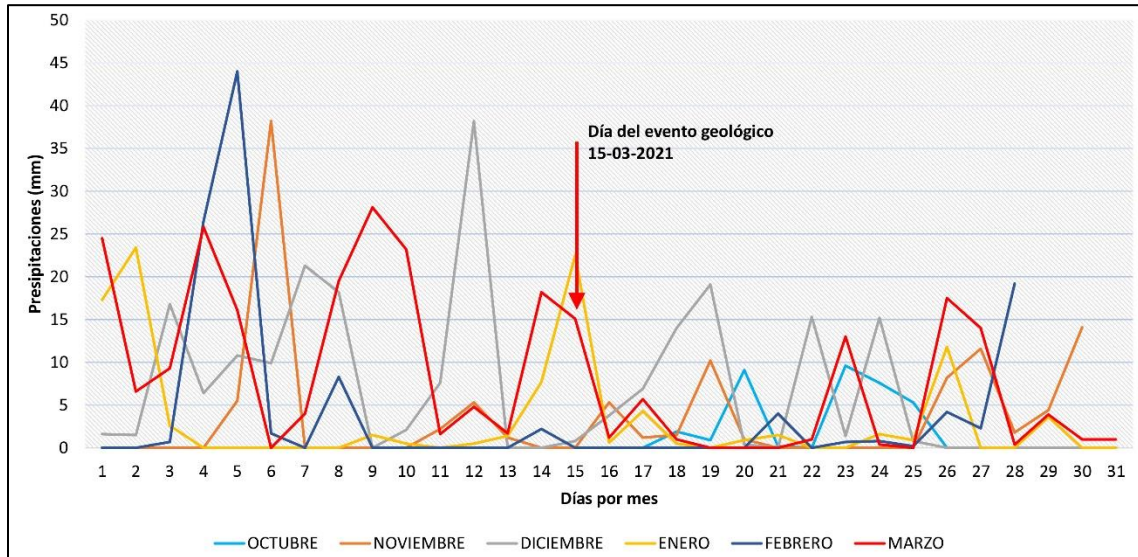


Gráfico 1. Precipitaciones periodo octubre de 2020 – marzo de 2021

Fuente: Estación meteorológica: Chota, Enlace:

<https://www.google.com/search?q=senamhi+estaciones+automaticas&oq=senam&aqs=chrome.0.69i59j69i57j69i59l2j69i65j69i60.1692j0j7&sourceid=chrome&ie=UTF-8>

5.4 Daños y consecuencias

En la zona de evaluación se han producido los siguientes daños:

- Destrucción de tres (03) viviendas (figura 20 y 21).
- Siete (07) viviendas inhabitables.
- Cuatro (04) viviendas afectadas, presentan agrietamientos en paredes y losas (figura 22).
- Remoción de 16.10 ha de terrenos destinados para agricultura.
- Afectación de 500 m de tramo de la carretera Chota – Santa Rosa Bajo. (figura 23).
- Afectación severa en muros de contención y estribo izquierdo del puente Las Lagunas (figura 24).
- Nuevas surgencias de agua en el cuerpo del deslizamiento (figura 25).
- Embalsamiento de quebrada Potrera (fotografía 26).



Figura 16. Destrucción de vivienda de material noble, con hundimiento diferencial, la vivienda se encuentra dentro del deslizamiento. Coordenadas UTM 761572 E – 9273805 N



Figura 17. Vivienda destruida, se encuentra en el cuerpo del deslizamiento. Coordenadas UTM 761424 E – 9273805 N



Figura 22. Vivienda afectada por agrietamientos en elementos estructurales de la vivienda (columnas y vigas), así como en muros y pisos. Coordenadas UTM 761766 E – 9273735 N



Figura 23. Carretera Chota – Santa Rosa Bajo, completamente destruida, presenta agrietamientos, hundimiento y basculamientos, producto del empuje y acumulación de material desplazado. Coordenadas UTM 761470 E – 9273812 N



Figura 24. Puente "Las Lagunas" A) y B) en el margen izquierdo de la quebrada se aprecia el colapso del muro de contención por el empuje del deslizamiento. C y D) margen izquierda parte baja del puente, se observa el colapso del muro de contención y el volteo de los gaviones. Coordenadas UTM 761487 E – 9273855 N



Figura 25. Surgencia de agua producidas tras el deslizamiento. Coordenadas UTM 761454 E – 9273816 N



Figura 26. Embalsamiento de quebrada Potrera, el material desplazado proviene margen izquierdo.
Coordenadas UTM 761595 E – 9273870 N

6. CONCLUSIONES

- a) Las unidades litoestratigráficas que afloran en el sector Lagunas, son La Formación Chota, compuesta por conglomerados de clastos redondeados de cuarcita y areniscas en una matriz areno – limosa; también tenemos la Formación Celendín, compuesta por caliza margosa intercalada con limolita calcárea; ambas unidades de encuentran medianamente fracturados y altamente meteorizados, poseen un comportamiento muy susceptible a la generación de movimientos en masa tipo deslizamientos.
- b) Geomorfológicamente en el sector Lagunas se presentan dos sub unidades, la primera corresponde a colina-estructural en roca sedimentaria, que aflora en la margen derecha de la quebrada Potrera, con pendiente de 20° en dirección al cauce de la quebrada; hacia el norte es concordante a la estratificación. La sub unidad de vertiente coluvio-deluvial de detritos, las laderas presentan pendiente promedio de 12°; se observa procesos de deslizamientos, estos últimos relativamente lentos, debido a las pendientes suaves a moderadas.
- c) En el sector Lagunas se identificó un deslizamiento, detonado por lluvias prolongadas del 28 de febrero al 15 de marzo, originando la interrupción de la carretera Chota – Santa Rosa Bajo, destrucción de viviendas y terrenos de cultivo.
- d) Los factores condicionantes para la ocurrencia del deslizamiento son la litología, la pendiente y la actividad antrópica en el sector evaluado; el factor desencadenante las lluvias prolongadas, que sobresturaron el suelo (no consolidado) ocasionando la pérdida de cohesión desencadenando el deslizamiento.
- e) El deslizamiento ocurre sobre la vertiente coluvio - deluvial, presenta un escarpe una longitud de 153 m con salto vertical de 12 m, área afectada 16. hectáreas
- f) Por las características del evento, los daños ocasionados y las condiciones de inestabilidad del terreno en Lagunas, se determina que el sector posee **PELIGRO MUY ALTO** por deslizamiento, cuyos procesos podrían reactivarse por lluvias intensas y sismos

7. RECOMENDACIONES

- a) Efectuar la evacuación progresiva y en prioridad de la población afectada.
- b) Por ningún motivo se deben construir edificaciones en la zona afectada por deslizamiento, son inestables.
- c) Colectar el agua de los manantiales y aguas pluviales con canales, implementar un sistema de drenaje superficial que impida la infiltración del agua en los terrenos. Pare ello, se debe dar prioridad en desaguar los manantiales y surgencia de agua.
- d) Sensibilizar y concientizar a la población en temas de riesgos geológico, a través de talleres o charlas
- e) El tramo de la carretera Chota – Santa Rosa Bajo afectado por el deslizamiento, debe plantearse un nuevo trazo, porque el sector es inestable.



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



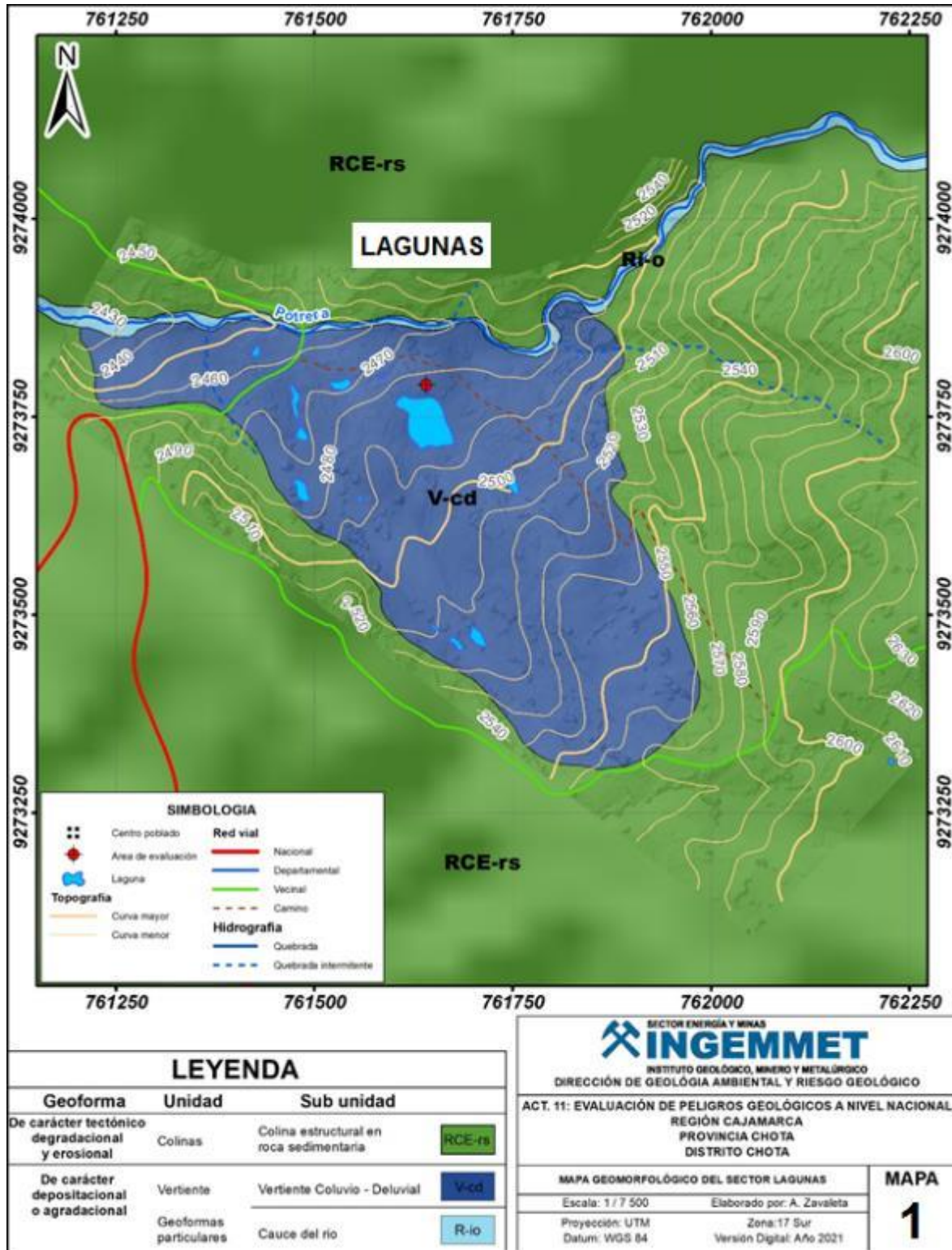
LUIS MIGUEL LEON ORDAZ
Ingeniero Geólogo
Reg. CIP. N° 215610

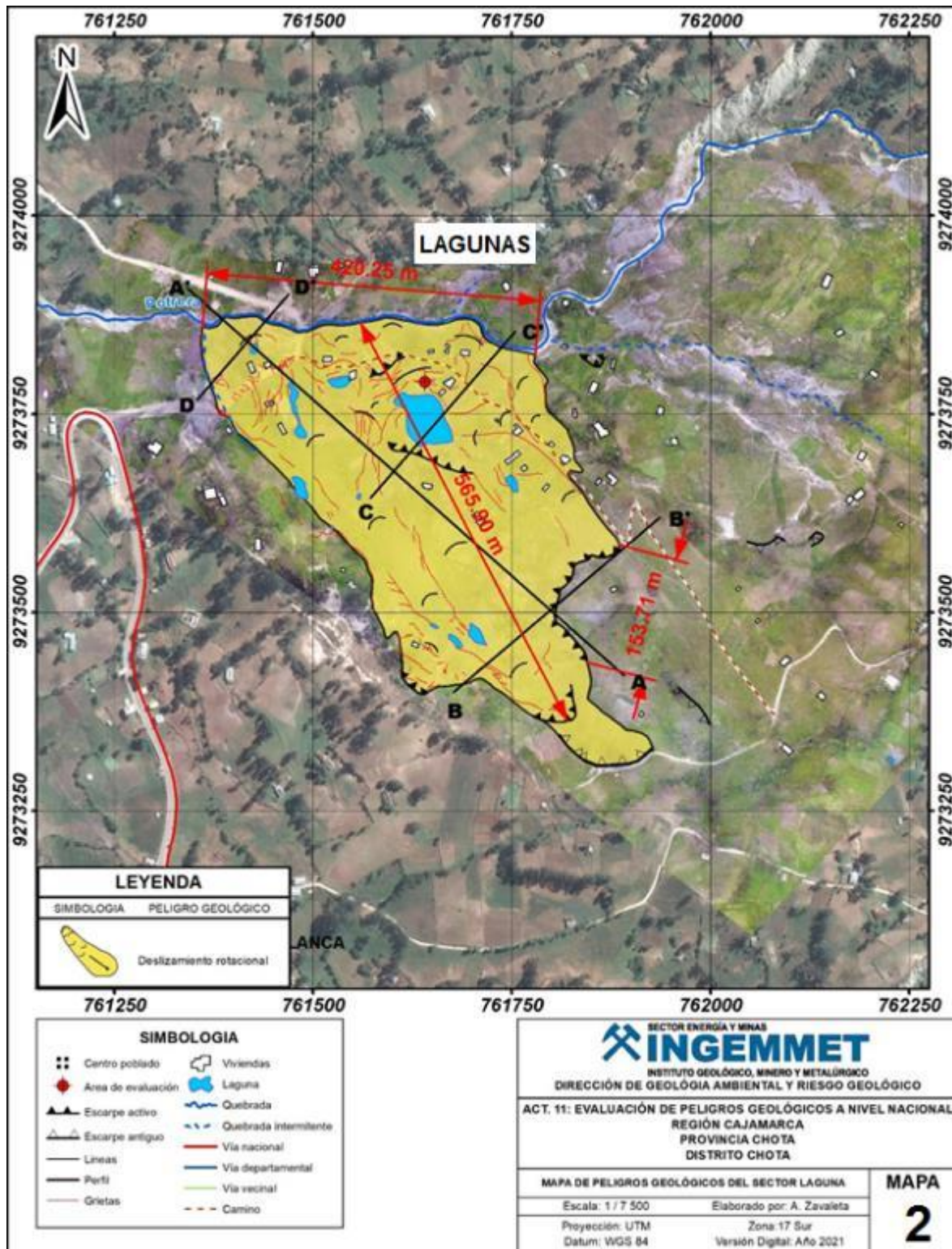
8. BIBLIOGRAFÍA

- 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.
- González, L. I. (2004). Ingeniería Geológica. Madrid: Isabel Capella.
- Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas. (2007). Movimientos en Masa en la Región Andina: Una guía para la evaluación de amenazas. Servicio Nacional de Geología y Minería, Publicación Geológica Multinacional, No. 4, 432 p., 1 CD-ROM.
- Suarez, J. (1998). Deslizamientos y Estabilidad de Taludes en zonas Tropicales. Instituto de Investigaciones sobre Erosión y Deslizamientos. Colombia. 541 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, Pág. 9–33.
- 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.

9. ANEXOS

Anexo 1. Mapas





Anexo 2. MEDIDAS DE PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN

A. CORRECCIÓN POR DRENAJE

Unas de las técnicas más efectivas para la estabilización de laderas y taludes es el control de las aguas superficiales y subterráneas (cuadro 3). Su objetivo es controlar el agua y sus efectos, disminuyendo las fuerzas que producen el movimiento y/o aumentando las fuerzas resistentes. El drenaje y el subdrenaje generalmente son poco costosos y muy efectivos como medidas de prevención de los movimientos.

Cuadro 3. Métodos de drenaje y subdrenaje

Método	Ventajas	Desventajas
Canales superficiales para el control de escorrentía	Se recomienda construirlos como obra complementaria en la mayoría de los casos. Generalmente, las zanjas se construyen arriba de la corona del talud	Se deben construir estructuras para la entrega de las aguas y la disipación de energía.
Subdrenes de zanja	Muy efectivos para estabilizar deslizamientos poco profundos, en suelos saturados subsuperficialmente.	Poco efectivos para estabilizar los deslizamientos profundos o los deslizamientos con nivel freático profundo
Subdrenes horizontales de penetración	Muy efectivos para interceptar y controlar las aguas subterráneas relativamente profundas.	Se requieren equipos especiales de perforación y su costo puede ser alto.
Galerías o túneles de subdrenaje	Efectivos para estabilizar los deslizamientos profundos en las formaciones con permeabilidad significativa y aguas subterráneas.	Muy costosos y complejos de construir
Pozos profundos de subdrenaje	Útiles en los deslizamientos profundos con aguas subterráneas. Efectivos para las excavaciones no permanentes.	Su uso es limitado debido a la necesidad de operación y mantenimiento permanente.

Fuente: Suárez, 1996.

Los sistemas más comunes para el control del agua son:

- Zanjas de coronación o canales colectores drenaje superficial).
- Subdrenes de zanja o subdrenes interceptores.
- Subdrenes horizontales o de penetración

Drenaje superficial: El objetivo principal del drenaje superficial es mejorar la estabilidad del talud reduciendo la infiltración y evitando la erosión. El sistema de recolección de aguas superficiales debe captar la escorrentía, tanto del talud como de la cuenca de drenaje arriba del talud y llevar el agua a un sitio seguro, lejos del talud que se va a proteger.

Tipos de obra de drenaje superficial

- a. **Canales para redireccionar el agua de escorrentía:** Se debe impedir que el agua de escorrentía se dirija hacia la zona inestable.
- b. **Zanjas de corona.** Las zanjas en la corona o en la parte alta de un talud, son utilizadas para interceptar y conducir adecuadamente las aguas lluvias y evitar su paso por el talud. La zanja de la corona no debe construirse muy cerca del borde superior del talud para evitar que se convierta en activadora de un deslizamiento en cortes recientes; o en una nueva superficie de falla (movimiento regresivo) en deslizamientos activos; o se produzca la falla de la corona del talud o escarpe.
- c. **Diques en la corona del talud.** Son diques en relleno, colocados arriba de la corona, con el objeto de desviar hacia los lados las aguas de escorrentía.
- d. **Drenes Franceses.** Son zanjas rellenas de material granular grueso que tienen por objetivo captar y conducir las aguas de escorrentía.
- e. **Trinchos o Cortacorrientes.** Consisten en diques a través del talud para desviar lateralmente, las aguas de escorrentía.
- f. **Torrenteras.** Son estructuras que recogen las aguas de los canales, diques o cortacorrientes y las conducen hacia abajo del talud. Generalmente, incluyen elementos para disipar la energía del flujo del agua.
- g. **Sellado de grietas con arcilla o mortero.** El objeto es impedir la infiltración de agua hacia el deslizamiento.
- h. **Canales colectores en Espina de Pescado.** Para disminuir la infiltración de agua en las áreas grandes arriba del talud, se construyen canales colectores en Espina de Pescado, los cuales conducen las aguas colectadas fuera de las áreas vulnerables del talud, entregándolas generalmente a los canales en gradería o torrenteras. Estos canales deben impermeabilizarse adecuadamente para evitar la nuevamente la infiltración del agua

No se recomienda en problemas de taludes, la utilización de conducciones en tubería por la alta susceptibilidad a agrietarse o a taponarse, con lo cual se generan problemas de infiltración masiva concentrada.

Subdrenaje: Las técnicas de drenaje subterráneo o subdrenaje son uno de los métodos más efectivos para la estabilización de los deslizamientos. El drenaje subterráneo tiene por objeto disminuir las presiones de poros o impedir que éstas aumenten (figuras 27 y 28). A menor presión de poros la resistencia del suelo es mayor. El diseño de los sistemas de subdrenaje es complejo debido a que la mayoría de los taludes no son homogéneos desde el punto de vista del drenaje subterráneo y es muy difícil aplicar principios sencillos en el diseño de obras de subdrenaje. El movimiento de las aguas en los taludes por lo general, es irregular y complejo.

Elementos para tener en cuenta en el análisis de los sistemas de subdrenaje:

- Falta de continuidad de los mantos o sectores permeables.
- Cantidad de agua recolectada.
- Poco efecto del subdrenaje en el factor de seguridad.

- Poco efecto del subdrenaje cuando el nivel freático se encuentra muy cercano a la superficie de falla.
- Asentamientos en las áreas circunvecinas como efecto del subdrenaje.
- La rata de flujo para el diseño del sistema debe calcularse teniendo en cuenta la permeabilidad del suelo o la roca que se va a drenar.

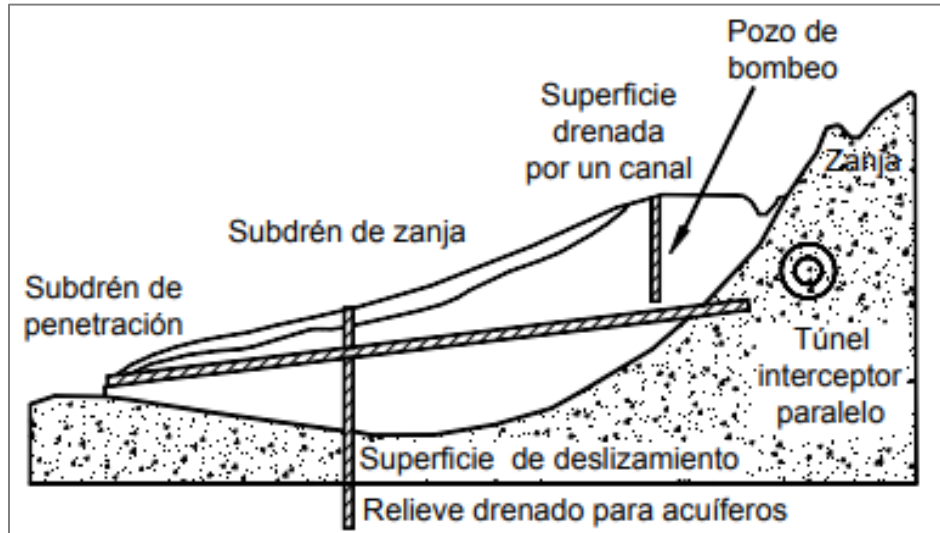


Figura 18. Sistemas de subdrenaje (Suárez, 1998).

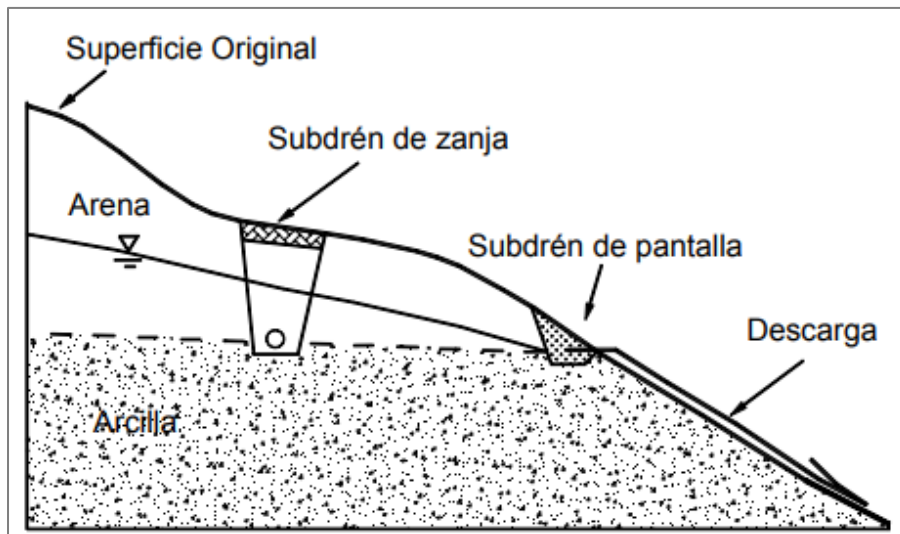


Figura 28. Esquema de un subdrenaje interceptor y un dren en el afloramiento (Suárez, 1998).