



# FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería Geológica

“CARACTERIZACIÓN GEOMORFOLÓGICA Y ZONAS CON RIESGO POR MOVIMIENTOS DE MASA EN EL DISTRITO DE LLACANORA, CAJAMARCA-2020”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero Geólogo

Autor:

Claudio Sebastian Canto Silva

Asesor:

Mg. Ing. Miguel Ricardo Portilla Castañeda

Cajamarca - Perú

2021

## **DEDICATORIA**

La presente tesis está dedicada en primer lugar a Dios, pues me dio la vida y la oportunidad de estudiar la carrera que me apasiona. En segundo lugar, a mis padres, quienes siempre estuvieron en las buenas y en las malas apoyándome en todos los problemas y dándome buenos consejos para seguir adelante. También a todos mis maestros, que constantemente nos brindan sus conocimientos para ser mejores profesionales. Por último, a mis amigos y familiares que siempre estuvieron incentivándome a nunca rendirme.

## **AGRADECIMIENTO**

En primera instancia agradecer a Dios, por otorgarme claridad en todos mis pensamientos, por darme unos padres maravillosos que siempre están cuando los necesito. Agradezco a mi querida madre porque es una de las personas más importantes en mi vida, y sin ella nunca habría podido realizar esta tesis, a mi amado padre que siempre estuvo dispuesto a ayudarme y guiarme en todas etapas de mi formación profesional. También le doy un agradecimiento muy especial a mi asesor, el ingeniero Miguel Ricardo Portilla Castañeda, pues me ayudó en todo el desarrollo del presente trabajo, brindándome sugerencias, asesorías y consejos, para poder alcanzar la meta planteada, lo considero como uno de los mejores profesionales y un buen amigo; y también agradezco al ingeniero Daniel Alejandro Alva Huamán por también brindarme sus conocimientos. A todos les estere muy agradecido por darme las pautas para ser un buen profesional.

## Tabla de contenidos

	<b>Pág.</b>
<b>DEDICATORIA</b> .....	<b>2</b>
<b>AGRADECIMIENTO</b> .....	<b>3</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b> .....	<b>6</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	<b>7</b>
<b>ÍNDICE DE ECUACIONES</b> .....	<b>10</b>
<b>RESUMEN</b> .....	<b>11</b>
<b>CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>12</b>
1.1. Realidad Problemática .....	12
1.2. Formulación del problema .....	17
1.3. Objetivos.....	17
1.3.1. Objetivo general.....	17
1.3.2. Objetivos específicos .....	17
1.4. Hipótesis .....	17
1.4.1. Hipótesis general.....	17
<b>CAPÍTULO II. METODOLOGÍA</b> .....	<b>18</b>
2.1. Tipo de investigación.....	18
2.2. Participantes (Población y muestra).....	18
2.3. Técnicas, materiales e instrumentos de recolección .....	18
2.3.1. Técnicas .....	18
2.3.2. Materiales para el trabajo en campo.....	19
2.3.3. Materiales para el trabajo en gabinete.....	19
2.3.4. Instrumentos para esta investigación.....	19
2.4. Procedimientos de recolección y análisis de datos.....	20
2.4.1. Etapa 1: Trabajo de gabinete I (Pre Campo).....	20
2.4.2. Etapa 2: Trabajo de campo.....	20
2.4.3. Etapa 3: Trabajo de gabinete II (Post Campo) .....	21
2.5. Generalidades.....	23
2.5.1. Ubicación Política .....	23
2.5.2. Ubicación Geográfica .....	24
2.5.3. Accesibilidad.....	24

2.5.4.	Clima.....	25
2.5.5.	Vegetación .....	27
2.6.	Geología Local.....	28
2.6.1.	Grupo Goyllarisquizga .....	28
2.6.2.	Depósitos Cuaternarios .....	30
<b>CAPÍTULO III. RESULTADOS .....</b>		<b>32</b>
3.1.	Contexto Geomorfológico.....	32
3.1.1.	Unidades geomorfológicas por proceso morfoestructural.....	32
3.2.2	Unidades geomorfológicas por proceso denudacional .....	34
3.2.3	Unidades geomorfológicas por proceso fluvial.....	40
3.3	Movimientos de masa .....	47
3.4	Estimación de costos para el cambio de topografía .....	64
<b>CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES .....</b>		<b>68</b>
4.1	Discusión .....	68
4.2	Conclusiones .....	73
<b>REFERENCIAS.....</b>		<b>76</b>
<b>ANEXOS.....</b>		<b>79</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Coordenadas UTM de la zona de estudio .....	24
<b>Tabla 2.</b> Rutas de acceso al área de estudio .....	25
<b>Tabla 3.</b> Tipo de ambiente, cantidad de unidades y el área que ocupan en hectáreas .....	56
<b>Tabla 4.</b> Cantidad de unidades, código, área y porcentaje del ambiente morfoestructural .....	56
<b>Tabla 5.</b> Cantidad de unidades, código, área y porcentaje del ambiente denudacional .....	56
<b>Tabla 6.</b> Cantidad de unidades, código, área y porcentaje del ambiente fluvial .....	57
<b>Tabla 7.</b> Inventario de las unidades geomorfológicas del área de estudio .....	61
<b>Tabla 8.</b> Inventario de movimientos de masa en el área de estudio .....	63
<b>Tabla 9.</b> Estimación de costos para el personal .....	65
<b>Tabla 10.</b> Estimación de cotos para maquinaria .....	65
<b>Tabla 11.</b> Resumen de los datos de costos y beneficios .....	66
<b>Tabla 12.</b> Valores finales para el calculo del B/C .....	67

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Ubicación de la zona de estudio. Fuente: propia.....	23
Figura 2: Accesibilidad al área de estudio. Fuente: Google Earth Pro. Elaboración: Propia .....	25
Figura 3: Temperatura máxima en el distrito de Llacanora. Fuente: Senamhi. Elaboración: Propia. ....	26
Figura 4: Temperatura mínima en el distrito de Llacanora. Fuente: Senamhi. Elaboración: Propia .....	26
Figura 5: Precipitación promedio mensual en el distrito de Llacanora. Fuente: Senamhi. Elaboración: Propia .....	27
Figura 6: Se observa la vegetación de la zona: predominando los eucaliptos, capulí y ciprés. Fuente: Propia	27
Figura 7: Se observa la vegetación de la zona: amplios bosques de eucaliptos y alisos, se notan algunos espacios de pastos. Fuente: Propia .....	28
Figura 8: Se observa la formación Santa en el distrito de Llacanora, encontramos la intercalación de lutitas grisáceas y areniscas N 9204772 E 783301. Fuente: propia.....	29
Figura 9: Se observa la formación Carhuaz N 9204568 E 782162 en una parte del cerro Iscoconga, en la parte superior encontramos areniscas con lutitas de color gris oscuro. Fuente: propia.....	29
Figura 10: Se observa la formación Farrat en el afloramiento de roca, en el distrito de Llacanora N 9204960 E 784405, la cual presenta grandes escarpes y areniscas cuarzosas de grano grueso. Fuente: propia .....	30
Figura 11: Se observan los depósitos aluviales en una matriz de arcilla, donde los clastos son un poco más angulosos con un tamaño entre los 5 cm – 25 cm, N 9204231 E 784337. Fuente: propia .....	31
Figura 12: Se observan depósitos fluviales localizados en las orillas del rio, Cajamarquino, los clastos son más redondeados con un tamaño entre los 2 cm – 15 cm, N 9204239 E 783865. Fuente: propia .....	31
Figura 13: Montaña muy escarpada N 9204877 E 784335 Cota 2790, ubicada en la formación Farrat, con una pendiente superior a los 45°, es conocido como el cerro Callacpuma. Fuente: propia .....	33
Figura 14: Montaña escarpada N 9204118 E 783636 Cota 2718, conocida como cerro Iscoconga con una pendiente de 36° en la formación Carhuaz. Fuente: propia.....	33
Figura 15: Montaña muy abrupta N 9203531 E 784828 Cota 2756 con una pendiente aproximada de 30°. Fuente: propia.....	34
Figura 16: (A) Colina muy abrupta, N 9203995 E 783930 Cota 2705 con una pendiente de 34°; (B) Colina muy abrupta N 9204426 E 783641 Cota 2700 con una pendiente de 40°. En ambos casos las cimas son un poco redondeadas. Fuente: propia.....	35
Figura 17: (A) Colina muy inclinada, N 9203472 E 782038 Cota 2669 con una pendiente de 13°; (B) Colina muy abrupta N 9204340 E 784373 Cota 2628 con una pendiente de 28°. Fuente: propia .....	35
Figura 18: (A) Colina abrupta N 9203686 E 784704 Cota 2684 con una pendiente de 20°; (B) Colina muy abrupta N 9204203 E 784167 Cota 2640 con una pendiente de 23°. Fuente: propia .....	36
Figura 19: Superficie de aplanamiento, N 9203450 E 782048 Cota 2667 utilizado para cultivos. Fuente: propia .....	37
Figura 20: Superficie de aplanamiento N 9203243 E 782701 Cota 2656 ocupando una gran extensión de terreno. Fuente: propia.....	37

Figura 21: (A) Loma, N 9203184 E 782038 Cota 2649 con una pendiente de 9°, (B) Loma N 9204524 E 782817 Cota 2684 con una pendiente de 11°. Fuente: propia .....	38
Figura 22: (A) Loma N 9204585 E 784320 Cota 2659 con una pendiente de 15°; (B) Loma N 9203455 E 784883 Cota 2768. Fuente propia .....	38
Figura 23: Se observa el pie de monte en el distrito de Llacanora N 9204289 E 783787 Cota 2634. Fuente: propia .....	39
Figura 24: (A) Planicie N 9203901 E 784507 Cota 2634 con pendiente de 5°; (B) planicie N 9204058 E 784736 Cota 2655 con pendiente de 8°. Fuente: propia .....	40
Figura 25: Terraza aluvial simétrica con un solo nivel, cercano al río Cajamarquino N 9204699 E 783487 Cota 2626. Fuente: propia.....	41
Figura 26: Se aprecian dos niveles de terrazas al margen izquierdo del río Cajamarquino N 9204089 E 783916 Cota 2612. Fuente: propia.....	41
Figura 27: Terrazas aluviales simétricas adyacentes al río Cajamarquino N 9203406 E 784178 Cota 2611. Fuente: propia.....	42
Figura 28: (A) Caída de agua, conocida como catarata hembra N 9204772 E 784471 Cota 2656, (B) Caída de agua conocida como catarata macho N 9204936 E 784540 Cota 2695. Fuente: propia .....	43
Figura 29: Caída de agua N 9204931 E 784530 Cota 2679. Fuente: propia.....	43
Figura 30: (A) Río Cajamarquino N 9203593 E 784033 Cota 2600; (B) Quebrada Shaullo N 9204133 E 784347 Cota 2616. Ambas con un nivel de agua bajo debido a que en estos meses no hay muchas precipitaciones Fuente: propia.....	45
Figura 31: Unión de río Cajamarquino con la quebrada Shaullo cercana a centro poblado de Llacanora N 9203928 E 784378 Cota 2600. Fuente: propia .....	45
Figura 32: Laguna en el distrito de Llacanora influenciada por la quebrada Shaullo N 9204845 E 784500 Cota 2665. Fuente: propia.....	46
Figura 33: (A) Llanura de inundación N 9204653 E 784332 Cota 2640 (B) Llanura de inundación N 9204904 E 784490 Cota 2654. (A) y (B) están adyacentes a la quebrada Shaullo. Fuente: propia .....	47
Figura 34: Caídas de rocas N 9204754 E 782065 Cota 2684. Fuente: propia .....	48
Figura 35: Caídas de rocas N 9204841 E 784445 Cota 2668. Fuente: propia .....	48
Figura 36: Caídas de rocas N 9204024 E 784938 Cota 2673. Fuente: propia .....	49
Figura 37: Deslizamiento rotacional N 9204708 E 782861 Cota 2639. Fuente: propia .....	50
Figura 38: Deslizamiento rotacional de gran tamaño N 9204794 E 783258 Cota 2643. Fuente: propia .....	50
Figura 39: Deslizamiento traslacional N 9203408 E 784483 Cota 2608. Fuente: propia.....	51
Figura 40: (A) Solifluxión N 9204384 E 783812 Cota 2616, (B) Solifluxión N 9204741 E 784482 Cota 2666. Fuente: propia.....	52
Figura 41: Solifluxión N 9204608 E 783589 Cota: 2619. Fuente: propia.....	53
Figura 42: (A) Deslizamiento de rocas N 9204711 E 784424 Cota 2642 (B) Deslizamiento de rocas N 9204929 E 784477 Cota 2676. Fuente: propia .....	53
Figura 43: Deslizamiento de rocas cerca de la carretera N 9203574 E 783989 Cota 2600. Fuente: Propia ...	54

Figura 44: (A) Deslizamiento de detritos N 9204599 E 783867 Cota 2631 (B) Deslizamiento de detritos N 9204195 E 783958 Cota 2622. Ambos deslizamientos fueron encontrados en el corte de carretera CA-1494. Fuente: propia.....	55
Figura 45: Cantidad de movimientos de masa según el tipo. Fuente: propia.....	58
Figura 46: Cantidad de movimientos de masa según el subtipo. Fuente: propia.....	59
Figura 47: Anexo N°1: Permiso para hacer el estudio geológico en el distrito de Llacanora. Fuente: propia	79
Figura 48: Anexo N°2 Principales geometrías de los movimientos de masa. Fuente: Varnes 1958.....	80
Figura 49: Anexo N°3 Formato para el recojo de datos de movimientos de masa. Fuente: IDEAM. Elaboración: propia .....	81
Figura 50: Anexo N°4 Formato para el recojo de información de unidades geomorfológicas. Fuente: IDEAM. Elaboración: propia .....	82
Figura 51: Anexo N°5 Mapa de ubicación de la zona de estudio. Fuente: propia.....	83
Figura 52: Anexo N°6 Mapa satelital de la zona de estudio. Fuente: propia .....	84
Figura 53: Anexo N°7 Mapa topográfico de la zona de estudio. Fuente: propia .....	85
Figura 54: Anexo N°8 Mapa geológico de la zona de estudio. Fuente: propia .....	86
Figura 55: Anexo N°9 Mapa de pendientes de la zona de estudio. Fuente: propia .....	87
Figura 56: Anexo N°10 Mapa de suelos de la zona de estudio. Fuente: propia .....	88
Figura 57: Anexo N°11 Mapa de cobertura vegetal de la zona de estudio. Fuente: propia .....	89
Figura 58: Anexo N°12 Mapa de erosividad de la zona de estudio. Fuente: propia .....	90
Figura 59: Anexo N°13 Mapa geomorfológico de la zona de estudio. Fuente: propia .....	91
Figura 60: Anexo N°14 Mapa susceptibilidad a movimientos masa. Fuente: propia .....	92

## ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1: Índice modificado de Fournier .....	22
Ecuación 2: Factor de erosividad de la lluvia .....	22
Ecuación 3: Formula para calcular el valor actual de costos .....	66
Ecuación 4: Formula para calcular la frecuencia de recuperación de capital .....	66
Ecuación 5: Formula para calcular el costo anual equivalente .....	67
Ecuación 6: Formula para calcular el análisis B/C .....	67

## RESUMEN

La presente tesis tiene como objetivo identificar las zonas con riesgo por movimientos de masa al realizar una caracterización geomorfológica en el distrito de Llacanora, Cajamarca-2020. Para el desarrollo de actividades se tomaron en cuenta la etapa 1 (trabajo de gabinete I-precampo), etapa 2 (trabajo de campo) y etapa 3 (trabajo de gabinete II-postcampo), el tipo de investigación según el propósito es básico, el alcance es correlacional y el enfoque es cuantitativo. Para la toma de datos de las unidades geomorfológicas y de movimientos de masa se utilizaron diferentes fichas de campo en las cuales se consideran la inclinación y longitud de las pendientes, la litología, la cubierta del suelo, el tipo y subtipo de movimiento de masa. Identificándose un total de 61 unidades geomorfológicas, clasificadas en ambiente morfoestructural, denudacional y fluvial también se identificaron 20 movimientos de masa, del tipo caída, deslizamiento y reptación, las zonas con susceptibilidad fueron catalogadas empezando con un grado muy alto (6), alto (5), moderado (9), y bajo (9), teniendo un total de 29 zonas con riesgo por movimientos de masa en el distrito de Llacanora. Con los datos obtenidos en campo y con el uso de los diversos softwares aplicando herramientas de geoprocésamiento se elaboraron los diversos mapas temáticos.

**Palabras clave:** caracterización geomorfológica, movimientos de masa, zonas susceptibles, ambientes geomorfológicos

## CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

### 1.1. Realidad Problemática

Según Mergili, Marchant, y Moreiras (2015), los movimientos de masa si bien es cierto no causan un gran número de víctimas letales, estas si producen serios daños económicos. Esta problemática sucede tanto en establecimientos rurales como urbanos donde un gran número de personas son de manera directa afectadas. Además, Rodríguez, Tapía, y Albornoz (2014), nos mencionan que los movimientos de masa causan la incomunicación de localidades por el hecho de que generan cortes en las carreteras lo que se traduce en la incomunicación de la población y por lo tanto pérdidas económicas.

La erosividad causada por la lluvia es una agresividad sobre el suelo, representa la energía con que las gotas de las precipitaciones rompen los agregados superficiales de manera paulatina o brusca. Provocando la remoción de las capas que conforman los diversos suelos empobreciéndolos, volviéndolos inadecuados para las actividades humanas, mencionar que también se evidencia una disminución en la producción de servicios y bienes. (GEASIG, 2019, pp.2-3)

En la última década en América Latina y el Caribe se han registrado aproximadamente 853 movimientos de masa los cuales han causado un gran número muertes. Se puede mencionar que estos acontecimientos en el año 2017 en Guatemala causaron 350 muertes, y en Colombia en el año 2018, hubo 349 muertos y afectó a unas 45 000 personas, lo que evidencia lo destructivo y problemático que son estos movimientos de masa en la región. (ONU, 2020)

En Perú los movimientos de masa son un problema muy común para las comunidades de la sierra, además afectan en gran medida a la infraestructura en el país. Estos

acontecimientos tienen su mayor impacto en las construcciones viales. Las zonas en donde se producen estos movimientos son en los altos valles amazónicos y los valles interandinos, entre otros. (GFDRR, 2012, p.210)

Forero y Duarte (2019), en su investigación: “Caracterización e identificación de la geomorfología (ambientes y unidades geomorfológicas) en la plancha 121 - Cerrito, Colombia, aplicado a movimientos en masa, escala 1:100.000.”. Para este trabajo se utilizó la Propuesta Metodológica Sistemática para la Generación de Mapas Geomorfológicos Analíticos Aplicados a la Zonificación de Amenaza, Escala 1:100.000. Lograron identificar cuatro ambientes geomorfológicos en la región y su relación con los movimientos de masa. Se encontraron sectores representativos ante el origen de movimientos de masa.

Ayala, Dal Pozzo, y Sánchez (2015), en su investigación: “Zonificación de la susceptibilidad a la ocurrencia de movimientos de masa. Microcuencas agua Blanca y La Laja. Andes venezolanos.”, se aplicó una metodología heurística basado en la combinación de factores para zonificar las áreas a la ocurrencia de movimientos de masa. Como conclusiones los factores en los lugares que se dan movimientos de masa permiten inferir en otras áreas donde dichas combinaciones se repitan, aunque no hayan ocurrido, dando como resultado la zonificación de áreas.

Guerrero (2019), en su estudio: “Estudio geomorfológico y edafológico en el desarrollo de *Persea americana* (Lauraceae), *Asparagus officinalis* (Asparagaceae) y *Saccharum officinarum* (Poaceae) en la provincia de Trujillo, Perú.”. Se utilizaron imágenes satelitales e información que se recolectó en campo para la identificación y descripción de las unidades. Se concluyó que las unidades geomorfológicas representan las formas del relieve que ayudan a definir los diversos procesos que ha sufrido el territorio de la provincia de Trujillo.

Sosa (2016), en su tesis: “Análisis de susceptibilidad a los peligros geológicos por movimientos en masa-Poblados de Pampamarca y Acobamba, Región Huánuco”. La metodología fue dividida en tres partes: etapa de Preparación, etapa de Campo y la etapa de Procesamiento de datos. Como conclusión el mapa de susceptibilidad a los movimientos en masa de los poblados de Pampamarca y Acobamba presenta el 15.06% susceptibilidad muy alta, 21.73% alta susceptibilidad, 4.22% moderada susceptibilidad, 25.88% baja susceptibilidad y el 33.11% muy baja susceptibilidad.

Vergara (2017), en su tesis: “Caracterización de las unidades geomorfológicas en el distrito de Jesús, Cajamarca”. Aplica es el Método del Análisis Geomorfológico, este consiste en abarcar aspectos morfodinámicos, morfogenético y morfométricos. Se concluyó que se identificaron 13 sub unidades agrupadas en 8 unidades geomorfológicas.

Ayay (2018), en su tesis: “Geomorfología del caserío Hierba Buena y entorno, centro Poblado Porcón Alto-Cajamarca”. Se emplearon las metodologías observativa y descriptiva. Como conclusión se identificaron 82 unidades geomorfológicas, agrupados en 26 grupos.

Los datos de las formas del relieve y la ocupación de la tierra son de relevancia, para cualquier proyecto de planificación ambiental u ordenamiento territorial se necesitan tener estos datos presentes ya que la negligencia o desconocimiento puede generar problemas serios. (Furrier y Moncada, 2015, p.192)

Los movimientos de masa son un término geológico que abarca varios movimientos ladera abajo de muchas partículas finas y de rocas por el efecto de la gravedad. Se puede decir que una de las clases más frecuentes son los deslizamientos, sin embargo, existen muchos otros como lo son las avalanchas, caídas de rocas, reptación, flujos de detritos entre otros. (McEwen & Chuang, 2011, párrafo 1)

Según Rojas y Paredes (2015), los factores que inciden en los movimientos de masa son: el tipo de roca o suelo, las estructuras geológicas, sismos, clima, la acción del agua (que aumenta la efectividad de la gravedad), por lo que después de una precipitación el terreno se vuelve inestable, otro de los factores es la topografía (pendiente o talud), actividades que realiza el hombre (construcción de obras, desplazamiento de vehículos pesados, etc).

Los indicadores geomorfológicos son: la morfografía la cual consiste en la descripción cualitativa del relieve, la configuración geométrica de las geoformas; otro indicador es la morfometría se encarga de analizar el relieve mediante la expresión cuantitativa de determinados aspectos o de procesos que actúan sobre él; la morfocronología explica la sucesión temporal de los acontecimientos que produjeron el relieve vigente y por último la morfogénesis es la concepción del relieve como el resultado de la interacción entre procesos exógenos y endógenos. (Worschitz, 2016, pp. 1,3,4 y 7)

El ambiente morfoestructural se relaciona con zonas conocidas como bloques tectónicos de rocas sedimentarias plegadas y macizos ígneos-metamórficos sin geoformas marcadas de otros ambientes, la litología y la estructura de deformación originan pendientes en función de los sistemas de fallas y diaclasas. El ambiente denudacional se relaciona con procesos exógenos como gravitatorios, erosivos e hídricos o una combinación de los tres factores, en condiciones secas las formas erosivas producen fenómenos de erosión en forma laminar, surcos y cárcavas, en condiciones húmedas facilitan la meteorización del subsuelo. El ambiente fluvial se caracteriza por la acción de las corrientes de agua y el transporte de sedimentos, los causantes son principalmente los ríos, estos trasladan el agua a lo largo de un sistema fluvial ocasionando procesos de erosión y acumulación en función del caudal, pendiente y carga de sedimentos. (Robertson, Jaramillo, y Castiblanco, 2013)

La morfodinámica, como parte de la geomorfología, nos ayuda a identificar todo lo relacionado con procesos activos que no solo modifican el paisaje, sino que también ayuda a catalogar sus propiedades mecánicas y las posibles consecuencias de estas. Las características de los suelos de la región juegan un papel sumamente importante dentro de la evolución de toda la geomorfología, brindando una idea de cómo será la generación de nuevas capas de suelo y las condiciones de formación que se sustentan en las propiedades mecánicas del suelo. (Forero y Duarte, 2019, p.43)

Según Morgan (1997). La erosión consiste en una pérdida continua de los diversos materiales que integran los suelos, las partículas son arrastradas después de haber sido disgregadas de las diversas superficies. Todos los paisajes están relacionados a procesos erosivos en mayor o menor magnitud, estos procesos son generalmente lentos y constantes a lo largo de los años, podemos mencionar que la degradación de los suelos suele ser irreversible y progresiva, pues por una parte las masas de suelo perdidas suelen ser irrecuperables y por el otro lado, el tiempo para que se forme nuevo suelo es extremadamente extenso.

En función de lo expuesto se puede decir que la caracterización geomorfológica, así como la de identificar los movimientos de masa son de gran importancia en todo proyecto que tenga conexión con la utilización del terreno. Con relación a la problemática se puede decir que los movimientos de masa ocasionan pérdidas de vida como también económicas, si hablamos de la caracterización geomorfológica implica un problema si no se hace un estudio correcto del área. En el distrito de Llacanora los estudios geomorfológicos son escasos, por ende, los pobladores de la zona no saben los lugares en los que se pueden dar movimientos de masa, por ello la justificación de esta investigación es poder brindar información actualizada de la geomorfología y de los movimientos de masa en el distrito de Llacanora, además de localizar las zonas en

donde puedan ocurrir estos acontecimientos y que la población tome más conciencia de los sectores en donde hacen sus actividades, y poder evitar pérdidas tanto de vida como económicas.

## **1.2. Formulación del problema**

¿Dónde se ubican las zonas con riesgos por movimientos de masa al realizar una caracterización geomorfológica en el distrito de Llacanora, Cajamarca-2020?

## **1.3. Objetivos**

### **1.3.1. Objetivo general**

Identificar las zonas con riesgo por movimientos de masa al realizar una caracterización geomorfológica en el distrito de Llacanora, Cajamarca-2020

### **1.3.2. Objetivos específicos**

Describir las unidades geomorfológicas en el distrito de Llacanora, Cajamarca-2020

Realizar un inventario de los movimientos de masa en el distrito de Llacanora, Cajamarca-2020

Elaborar el plano geomorfológico, de pendientes, el geológico, suelos, erosividad, cobertura vegetal, topográfico y de susceptibilidad de la zona de estudio, Cajamarca-2020

Calcular el índice de erosividad de la lluvia en el distrito de Llacanora, Cajamarca-2020

Estimar los costos para corrección de topografía en las zonas con riesgo por movimientos de masa en el distrito de Llacanora, Cajamarca-2020

## **1.4. Hipótesis**

### **1.4.1. Hipótesis general**

Al realizar la caracterización geomorfológica se podrán ubicar las zonas con riesgo por movimiento de masa en el distrito de Llacanora.

## CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

### 2.1. Tipo de investigación

La investigación para este trabajo es según el propósito es básico debido a que se buscará ampliar el conocimiento de las unidades geomorfológicas y de los movimientos de masa, el alcance es correlacional porque se hace una descripción de la relación de las dos variables de estudio, teniendo un enfoque cuantitativo ya que en este estudio se usaran datos para poder aprobar o descartar la hipótesis, haciendo una recolección y análisis de los parámetros de la zona de estudio, el diseño es no experimental pues el estudio se realiza sin tener un control o una modificación de las variables; y de corte transversal puesto que se observaran todos los sucesos de una manera directa en un momento determinado para luego ser analizados. (Oblitas, 2018)

También se hace mención a las variables:

**Variable independiente:** Caracterización geomorfológica

**Variable dependiente:** Zonas con riesgo por movimiento de masa

### 2.2. Participantes (Población y muestra)

La población son todas las unidades geomorfológicas y todas las posibles zonas con riesgo por movimiento de masa en el distrito de Llacanora.

La muestra son las unidades geomorfológicas y las posibles zonas con riesgo por movimiento de masa en el sector delimitado por las coordenadas: (9205046,781981); (9205046,785218); (9203170.785218); y (9203170,781981).

### 2.3. Técnicas, materiales e instrumentos de recolección

#### 2.3.1. Técnicas

Las técnicas de esta investigación son la observación directa en campo y el análisis documental; la primera técnica se relaciona con la recolección de datos, la cual consiste en hacer un registro de las unidades geomorfológicas y de los

movimientos de masa ocurridos en el área de estudio mediante el uso de fichas de campo, GPS, mapa topográfico, cuaderno de campo y brújula; la segunda técnica se basa en la indagación de información en libros, artículos científicos, boletines entre otros medios de información.

### **2.3.2. Materiales para el trabajo en campo**

Mapas de ubicación, topográficos, geológicos, cámara fotográfica y un celular con buena densidad de pixeles para tener imágenes de alta definición, brújula tipo Brunton, colores, escalímetro, GPS, lupa, picota, flexómetro (50 m), cuaderno de campo para la toma de algunos datos importantes y algunas tablas con datos de relevancia.

### **2.3.3. Materiales para el trabajo en gabinete**

Laptop Sony Core i3, software Microsoft Word 2019 para la redacción del informe, software Microsoft Excel 2019 porque ayuda a la confección de algunas tablas que en este caso son las fichas de campo, software ArcGIS 10,5 y QGIS 3.12 con el fin de elaborar los diversos mapas, Google Earth Pro para la obtención de imágenes satelitales, Geocatmin el cual proporciona distintos tipos de información geológica que se necesite de manera satelital, Adobe Acrobat Reader DC este programa nos sirve para la lectura de los pdf que se necesiten.

### **2.3.4. Instrumentos para esta investigación**

Se utilizaron dos fichas muy importantes para este estudio: La primera es una ficha para anotar todas las unidades geomorfológicas de la zona de estudio, en la cual son consideradas datos de las coordenadas, ambiente geomorfológico, la inclinación y longitud de las pendientes, las condiciones de roca y evidencias de erosión hídrica. La segunda ficha es con el fin de apuntar los movimientos de

masa en el área delimitada, donde se describen los materiales geológicos, la humedad, la deformación del terreno, las causas y efectos del movimiento encontrado.

## **2.4. Procedimientos de recolección y análisis de datos**

Para esta investigación se consideraron tres etapas todas ellas muy importantes para el desarrollo de esta indagación

### **2.4.1. Etapa 1: Trabajo de gabinete I (Pre Campo)**

En esta parte lo que se hizo fue hacer una búsqueda muy intensa y extensa de la información relacionada con el tema en distintas bases de datos como Scielo, Google Académico, Dialnet y Redalyc, también se incluyó la realidad problemática, los antecedentes a nivel internacional, nacional y local para poder ver la importancia de la caracterización geomorfológica y los movimientos de masa, definiciones de las variables, la búsqueda de las principales bases teóricas, así como el planteamiento de la pregunta de investigación, de los objetivos tanto general como específicos, de la justificación y de la hipótesis.

### **2.4.2. Etapa 2: Trabajo de campo**

Esta fase es crucial en la investigación debido a que se hará todo el compendio de las unidades geomorfológicas y de los movimientos de masa en el distrito de Llacanora, primero se hizo la presentación del trabajo de investigación a la Municipalidad Distrital de Llacanora con el fin de obtener el documento de autorización (Ver Anexo N°1), para realizar los estudios respectivos y no tener inconvenientes con los pobladores del área. Después se empieza con un reconocimiento de la zona delimitada, luego haciendo un reconocimiento de las formaciones geológicas, estructuras y contactos geológicos, así como la

identificación de los movimientos de masa (se analiza el tipo, subtipo del movimiento, el material entre otros datos) y de las unidades geomorfológicas (la inclinación de la pendiente, longitud, el ambiente al que pertenecen, etc.), para lo mencionado se utilizaron fichas de campo (Ver anexo N°3 y anexo N°4), cada una según lo que se necesite. Se tomaron las fotografías correspondientes para cada unidad geomorfológica y movimiento de masa, se tomaron los puntos geográficos haciendo uso del GPS, en la libreta de campo se anotaron las coordenadas y nombres de los tipos de suelo y de las formaciones presentes en la zona, se hizo la caracterización geomorfológica.

#### **2.4.3. Etapa 3: Trabajo de gabinete II (Post Campo)**

Con toda la información obtenida en la etapa 1 y etapa 2 se procedió primero a analizar los datos obtenidos en la etapa 2, luego hacer la elaboración de todos mapas con la ayuda de distintos softwares como el ArcGIS y QGIS, además se elaboraran diversas tablas y gráficos que permitirán sintetizar mejor la información obtenida en las salidas de campo como la cantidad de unidades geomorfológicas, la cantidad de ambientes geomorfológicos, los rangos de pendientes, el número de movimientos de masa de acuerdo al tipo, entre otros, después se interpretaron los resultados obtenidos para poder hacer la identificación de las zonas con riesgo por movimientos de masa, luego se hizo un análisis económico donde se evaluara los costos de adecuación de los terrenos o el mantenimiento de las laderas más inclinadas con el propósito de dar alguna solución, por último se hizo la redacción del informe final.

Mencionar también que en esta etapa se hizo un profundo análisis de la erosividad causada por la lluvia en la zona de estudio, la cual se detalla a continuación:

## Erosividad

La erosividad se basa en función de dos cosas muy importantes, una es la intensidad de la precipitación (cantidad de duración) y la otra es la energía cinética (velocidad de caída de gotas). En este trabajo para calcular el índice de erosividad de la lluvia se ha usado una ecuación que relaciona el valor del factor R (valor anual promedio del índice de erosividad de las lluvias) y del IMF, los cuales se basan en datos pluviométricos de estaciones meteorológicas. El índice modificado de Fournier (IMF) considera los datos de las precipitaciones de todos los meses, cuya ecuación es:

$$\text{IMF} = \sum_{i=1}^{12} \frac{P_i^2}{P_t}$$

*Ecuación 1:* Índice modificado de Fournier

Donde:  $P_i$ , es la precipitación de cada mes ( $mm$ ) y  $P_t$ , es la precipitación media anual ( $mm$ ). El objetivo del IMF es caracterizar la agresividad de la precipitación. Posteriormente se buscó la relación de R con el IMF, la cual nos da la siguiente expresión:

$$R = 0.264 * \text{IMF}^{1.065}$$

*Ecuación 2:* Factor de erosividad de la lluvia

En la presente investigación se han considerado los datos pluviométricos de los doce meses del año de las siguientes estaciones meteorológicas: La Victoria, Weberbauer, Namora, Jesús, La Encañada y Aylambo, por el hecho de que son las más cercanas al distrito de Llacanora. En dicho distrito el valor máximo de erosividad de la lluvia que se alcanza es de unos 453 ( $Mj.mm/ha.h$ ) teniendo un valor intermedio de 367 ( $Mj.mm/ha.h$ ) aproximadamente, y un valor mínimo de 277 ( $Mj.mm/ha.h$ ). En base a este factor, se espera que el mayor

nivel de erosión se da en las áreas con mayor índice de erosividad de las lluvias, es decir en la parte noreste y central inferior del distrito. En la zona delimitada, los niveles de erosividad no son muy altos en su mayoría, exceptuando la parte inferior derecha, donde se produce un leve aumento de erosividad. (Ver el anexo N°12)

## 2.5. Generalidades

### 2.5.1. Ubicación Política

El lugar de investigación se encuentra ubicado, al sureste de la ciudad de Cajamarca, a unos 12 Km de la misma, en el departamento y provincia de Cajamarca, distrito de Llacanora, abarca a los centros poblados de: Tunascucho, Siguispampa, Pacchacocho, Chin Chin, Santa Apolonia, Santa Rosa, El Cucho, Llacanora, La Lucma, Vista Alegre, Hierba Santa, El Cementerio, El Comun, El Higo, La Gloria, Hierba Buena y Machaypongo.

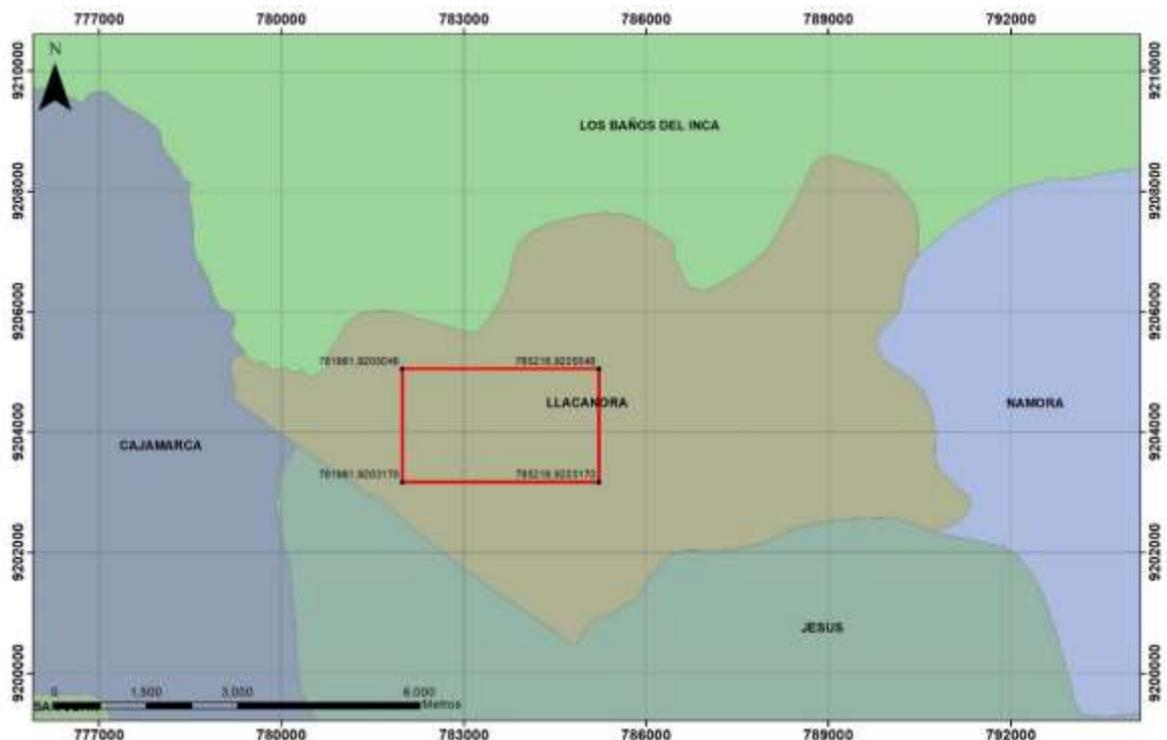


Figura 1: Ubicación de la zona de estudio. Fuente: propia

### 2.5.2. Ubicación Geográfica

La zona de estudio se encuentra en el cuadrángulo 15-g4, cuenta con una extensión total de 6.07 Km<sup>2</sup>, a una altitud entre los 2600 y 2900 m.s.n.m, además pertenece a la zona 17S, delimitada por las siguientes coordenadas geográficas en el sistema: UTM Datum WGS84 (Ver Anexo N°5).

**Tabla 1**

*Coordenadas UTM de la zona de estudio*

Vértice	Norte	Este
1	9205046	781981
2	9205046	785218
3	9203170	785218
4	9203170	781981

Nota: Las coordenadas están en la zona 17S. Fuente: propia

### 2.5.3. Accesibilidad

Para poder llegar a la zona de estudio, se pueden utilizar dos rutas principales, ambas cuentan con carretera asfaltada y las dos parten desde la ciudad de Cajamarca, por lo que llegar no es muy complicado.

La primera ruta parte desde la Plaza de Armas (Cajamarca), siguiendo hasta el Ovalo Musical (Cajamarca), luego se avanza por la Avenida Atahualpa hasta llegar al Ovalo de entrada (Baños del Inca), después se sigue la carretera 8B hasta la intersección con la calle Inca Roca (Baños del Inca), finalmente se debe continuar por la carretera CA-1494 hasta llegar al centro poblado de Llacanora.

La segunda ruta inicia desde la Plaza de Armas (Cajamarca), siguiendo hasta el Ovalo Musical (Cajamarca), a continuación, se debe ir por la carretera 3N, pasando por la Plaza Pecuaria Iscocongá, seguidamente se dirige por la izquierda hasta encontrar una intersección, en ese punto se debe tomar la ruta José Gálvez, esta nos llevara directo al centro poblado de Llacanora.

**Tabla 2**

*Rutas de acceso al área de estudio*

Rutas	Tramos	Estado de la carretera	Distancia (Km)	Tiempo (min)
1	Cajamarca-Baños del Inca- Llacanora	Asfaltada	13.3	28
2	Cajamarca-Llacanora	Asfaltada	14	25

Nota: El tiempo en minutos es sí se viaja en automóvil. Fuente: propia



Figura 2: Accesibilidad al área de estudio. Fuente: Google Earth Pro. Elaboración: Propia

#### 2.5.4. Clima

La zona de estudio presenta un clima templado, seco y soleado durante el día y en la noche es frío. La temperatura varía entre los 11 °C y los 17°C, siendo los meses desde enero hasta mayo los más calurosos con temperaturas entre 19 °C y 21 °C, por otro lado, las temperaturas más bajas están en los meses de junio, julio, agosto y setiembre con temperaturas entre 0.6 °C y 2 °C.

Los meses de mayor precipitación son: febrero (3.53 mm/mes), octubre (2.8 mm/mes) y diciembre (3.78 mm/mes), lo que nos indica que son los meses más lluviosos, los meses con menor precipitación son: agosto (0.1 mm/mes) y setiembre (0.23 mm/mes), esto nos señala que estos meses son los más secos.

La precipitación acumulada en las épocas húmedas puede llegar hasta los 117.2 mm/mes, mientras que en las temporadas secas la precipitación mensual acumulada llega a los 12.1 mm/mes. Los vientos son más intensos en los meses de julio y agosto.

Para poder hacer estos análisis se han utilizado los datos de la estación La Victoria.

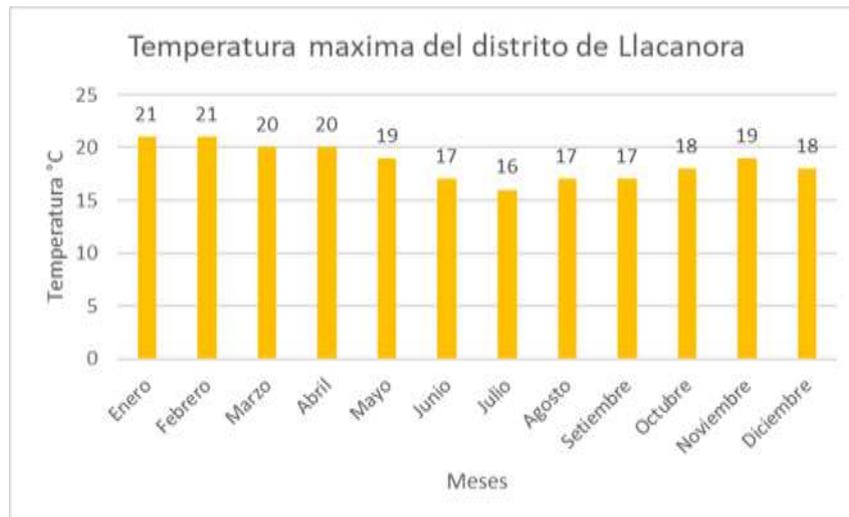


Figura 3: Temperatura máxima en el distrito de Llacanora. Fuente: Senamhi. Elaboración: Propia.

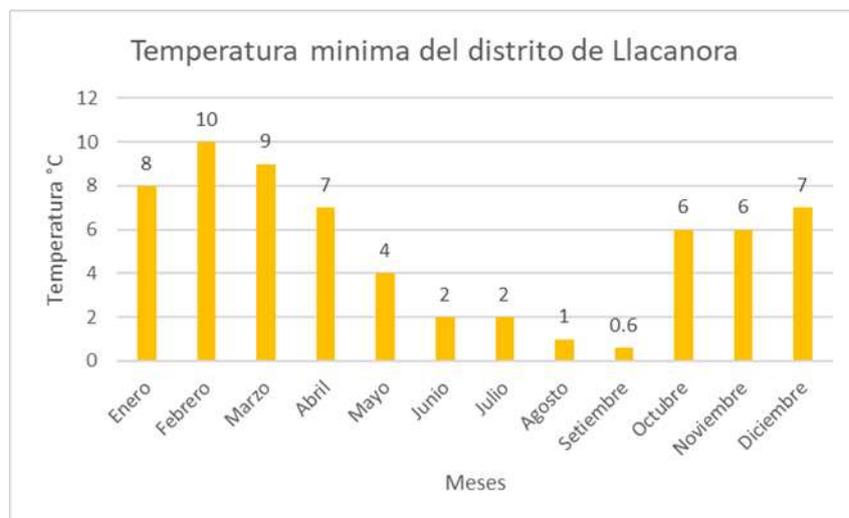


Figura 4: Temperatura mínima en el distrito de Llacanora. Fuente: Senamhi. Elaboración: Propia

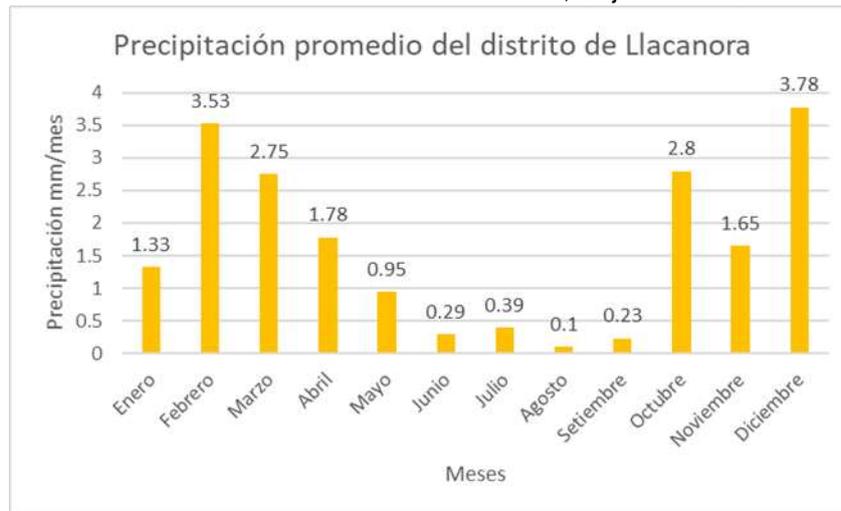


Figura 5: Precipitación promedio mensual en el distrito de Llacanora. Fuente: Senamhi. Elaboración: Propia

### 2.5.5. Vegetación

El distrito de Llacanora se caracteriza por tener eucaliptos (*Eucalyptus globulus*), este se encuentra presente en el 92.8 % de los caseríos ya sea en las pendientes o en los valles, el pino (*Pinus sp*) y el ciprés (*Cupresus sp*) abarcan el 57.1 % y el 41.1 % de caseríos, respectivamente, el aliso (*Alnus jorulensis*) está presente en el caserío de Huayrapongo Grande y la capital del distrito, el sauce (*Salix humboldtiana*) se localiza en los caseríos cercanos a la zona del valle, el capulí (*Prunus capulí*) el cual se utiliza con fines medicinales está presente en el 51 % de caseríos.



Figura 6: Se observa la vegetación de la zona: predominando los eucaliptos, capulí y ciprés. Fuente: Propia



*Figura 7:* Se observa la vegetación de la zona: amplios bosques de eucaliptos y alisos, se notan algunos espacios de pastos. Fuente: Propia

## **2.6. Geología Local**

Para la geología de la zona de estudio, se utilizó información de diversos boletines del Ingemmet, informes técnicos del Gobierno Regional de Cajamarca y algunos datos de imágenes satelitales obtenidas del Geocatmin. Para luego hacer la observación en campo e identificar las formaciones.

### **2.6.1. Grupo Goyllarisquizga**

#### **Formación Santa (Ki-sa)**

Esta formación se caracteriza por tener una intercalación de lutitas y calizas margosas, y areniscas gris oscuras, con un grosor aproximado entre los 100 m y 150 m, sus afloramientos topográficamente constituyen depresiones los cuales están cubiertos por suelo, debido a esto solo se puede observar en su gran mayoría en cortes de carretera o en quebradas. Suprayace a la formación Chimú e infrayace a la formación Carhuaz, en ambos casos con discordancia paralela. La edad de esta formación puede ser del Valanginiano superior. (Cruzado, 2011, p.19)



*Figura 8:* Se observa la formación Santa en el distrito de Llacanora, encontramos la intercalación de lutitas grisáceas y areniscas N 9204772 E 783301. Fuente: propia

### **Formación Carhuaz (Ki-ca)**

Consiste en una alternancia de areniscas con lutitas grises. En la parte superior incluye bancos de cuarcitas blancas que se intercalan con lutitas y areniscas. Las areniscas tienen colores violetas, verdosos y rojizos que se son de gran utilidad para distinguirlas en campo. Esta formación yace con discordancia sobre la formación Santa e infrayace concordamente a la formación Farrat, teniendo un grosor aproximado de 500 m. La edad posiblemente sea del Valanginiano superior Hauteriviano y Barremiano. (Cruzado, 2011, p.20)



*Figura 9:* Se observa la formación Carhuaz N 9204568 E 782162 en una parte del cerro Isoconga, en la parte superior encontramos areniscas con lutitas de color gris oscuro. Fuente: propia

### **Formación Farrat (Ki-fa)**

Litológicamente consta de areniscas blancas y areniscas cuarzosas de grano medio a grueso, teniendo un grosor aproximando de 500 m. Esta formación suprayace con concordancia a la formación Carhuaz e infrayace de la misma manera a la formación Inca. Como la formación Farrat infrayace a sedimentos de niveles altos del Aptiano, se le adjudica una edad aptiana. (Cruzado, 2011, p.20)



*Figura 10:* Se observa la formación Farrat en el afloramiento de roca, en el distrito de Llacanora N 9204960 E 784405, la cual presenta grandes escarpes y areniscas cuarzosas de grano grueso. Fuente: propia

## **2.6.2. Depósitos Cuaternarios**

### **Depósitos Aluviales**

Son materiales que tienen un transporte muy reducido, se almacenan en lugares favorables en los flancos de los valles y quebradas, están conformados por conglomerados poco consolidados los cuales tienen clastos de tamaño heterogéneo. (Cruzado, 2011, p.39)



*Figura 11:* Se observan los depósitos aluviales en una matriz de arcilla, donde los clastos son un poco más angulosos con un tamaño entre los 5 cm – 25 cm, N 9204231 E 784337. Fuente: propia

### **Depósitos Fluviales**

Estos depósitos son básicamente materiales transportados por cursos fluviales que luego son depositados y se van acumulando en las riberas o también llamadas orillas y en el fondo de los ríos. Normalmente consisten en gravas gruesas y finas, arenas sueltas y depósitos limo arcillosos. (Cruzado, 2011, p.38)



*Figura 12:* Se observan depósitos fluviales localizados en las orillas del río, Cajamarquino, los clastos son más redondeados con un tamaño entre los 2 cm – 15 cm, N 9204239 E 783865. Fuente: propia

## CAPÍTULO III. RESULTADOS

### 3.1. Contexto Geomorfológico

Las unidades geomorfológicas han sido clasificadas según su ambiente, que son morfoestructural, denudacional y fluvial; además de los procesos endógenos (tectonismo) y exógenos (incluyen agentes como el viento, el agua) que han ocurrido en las geoformas. Teniendo como mínima elevación los 2620 m.s.n.m. que corresponden a terrazas aluviales, y un máximo de elevación de 2900 m.s.n.m. que se relacionan a las montañas ubicadas en la formación Farrat y Carhuaz.

#### 3.1.1. Unidades geomorfológicas por proceso morfoestructural

##### Montañas

Se define como una formación elevada de terreno con pendientes bastante pronunciadas, las cuales ocupan una gran cantidad de superficie, con diversos cambios climáticos desde la base hasta la cumbre. Esta unidad geomorfológica es representativa en el área de estudio, se ubican en el norte del centro poblado de Llacanora y en la parte del centro y noreste del área, el rango de elevaciones va desde los 2680 hasta los 2900 m.s.n.m, ocupando un área de 302.65 hectáreas, representando un 49.84% del territorio estudiado.



*Figura 13:* Montaña muy escarpada N 9204877 E 784335 Cota 2790, ubicada en la formación Farrat, con una pendiente superior a los 45°, es conocido como el cerro Callacpuma. Fuente: propia

En la figura 13 se puede ver que debido a las pendientes las cuales son muy pronunciados es muy dificultoso que se realicen actividades como la agricultura o ganadería. La longitud de la ladera es entre los 500 – 1000 m, teniendo algunas partes de la ladera matorrales y pastos secos, se puede evidenciar que la roca tiene un alto grado de fracturamiento por la erosión del viento y la lluvia.



*Figura 14:* Montaña escarpada N 9204118 E 783636 Cota 2718, conocida como cerro Isoconga con una pendiente de 36° en la formación Carhuaz. Fuente: propia

En la figura 14 se puede apreciar que la mayor parte está cubierta por pastos y algunos cuantos árboles, el cerro Iscocongá ocupa una gran parte del área de estudio, en este caso la erosión por el agua ha producido algunas cárcavas en la montaña. La longitud de la ladera va entre los 500 – 1000 m, además se pueden ubicar algunas torres de electricidad.



*Figura 15:* Montaña muy abrupta N 9203531 E 784828 Cota 2756 con una pendiente aproximada de 30°. Fuente: propia

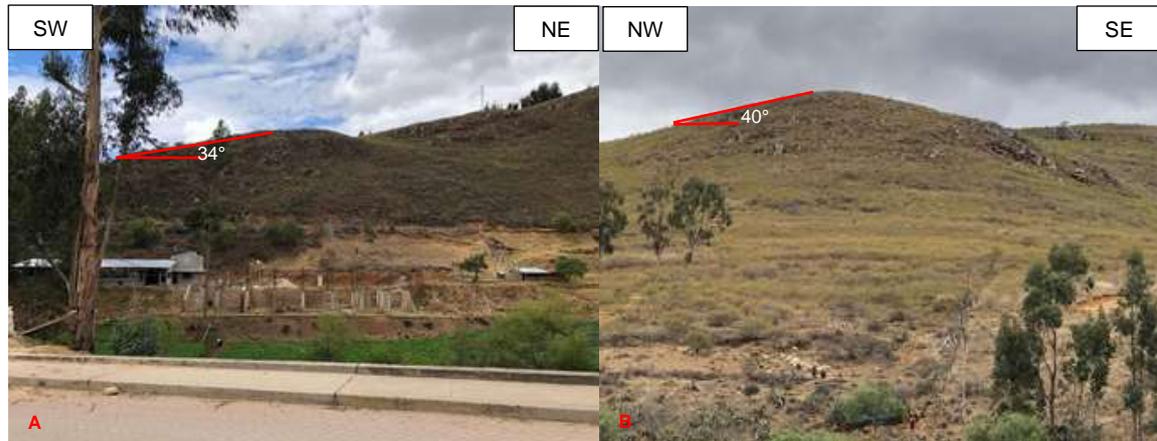
En la figura 15 podemos observar una montaña localizada en la parte sureste de la zona de estudio abarca al centro poblado: El Higo, hablando de la cubierta está dada mayoritariamente por matorrales y algunas partes con árboles, en la parte baja se han construido pequeñas viviendas. La longitud de la ladera está entre los 500 – 1000 m. La erosión ocasionada por el agua ha formado algunos surcos distribuidos por toda la unidad geomorfológica.

### **3.2.2 Unidades geomorfológicas por proceso denudacional**

#### **Colinas**

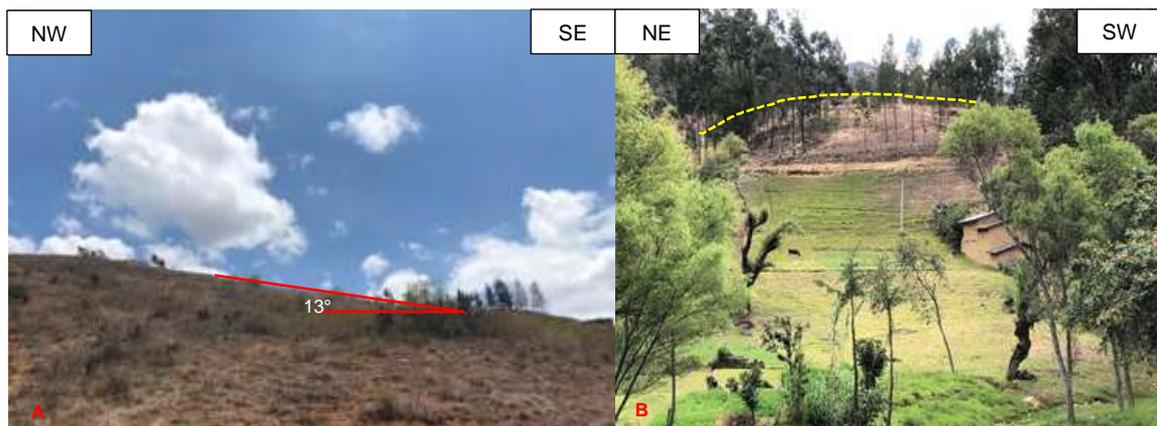
Son elevaciones de terreno de menor altura que las montañas, ya que no sobrepasan los 200 m, desde la base hasta la cima, se pueden formar por fallas tectónicas u erosión de algún terreno. En la zona de estudio se han encontrado en un gran

porcentaje de ellas. En el área ocupan un área de 116.42 hectáreas, representando un 19.16%.



*Figura 16:* (A) Colina muy abrupta, N 9203995 E 783930 Cota 2705 con una pendiente de 34°; (B) Colina muy abrupta N 9204426 E 783641 Cota 2700 con una pendiente de 40°. En ambos casos las cimas son un poco redondeadas. Fuente: propia

En la figura 16 las dos colinas se encuentran en la formación Carhuaz, las condiciones de las rocas son levemente fracturada, además la erosión hídrica no es representativa, la longitud de la ladera para el caso A es menor a los 250 m y para el caso B esta entre los 250 – 500 m, la cobertura en los dos casos son pastos y matorrales con pequeñas plantaciones de árboles.



*Figura 17:* (A) Colina muy inclinada, N 9203472 E 782038 Cota 2669 con una pendiente de 13°; (B) Colina muy abrupta N 9204340 E 784373 Cota 2628 con una pendiente de 28°. Fuente: propia

En la figura 17, la longitud de la ladera de (A) está entre 250 – 500 m y en (B) es menor a los 50 m con una cima redondeado, la cobertura de (A) es básicamente

grandes cantidades de matorrales y en (B) son pastos y una abundancia en arboles de capulí y alisos. La erosión hídrica en ambos casos no es representativa.



*Figura 18:* (A) Colina abrupta N 9203686 E 784704 Cota 2684 con una pendiente de 20°; (B) Colina muy abrupta N 9204203 E 784167 Cota 2640 con una pendiente de 23°. Fuente: propia

En la figura 18 se ven dos colinas ambas con cimas redondeadas, la longitud de la ladera para (A) está entre los 250 – 500 m, y para (B) es entre 50 -250 m, la cobertura para (A) es de pastos secos y algunos árboles de eucalipto, en (B) una abundancia de árboles y pastos, en este caso se utiliza el suelo para cultivos. La erosión hídrica para ambos casos no es representativa.

### **Superficies de aplanamiento**

Son extensiones de terreno muy amplias que se sido el resultado de la erosión de las estructuras preexistentes. En la zona de estudio se ubican principalmente a espaldas del cerro Iscocongá en donde son utilizados para cultivos y para algunas torres de electricidad, además se hecho varias construcciones de viviendas. Ocupan un área de 45.28 hectáreas las cuales representan un 7.45% de todo el territorio estudiado.



Figura 19: Superficie de aplanamiento, N 9203450 E 782048 Cota 2667 utilizado para cultivos. Fuente: propia



Figura 20: Superficie de aplanamiento N 9203243 E 782701 Cota 2656 ocupando una gran extensión de terreno. Fuente: propia

### **Lomas**

Son pequeñas formaciones que son más elevadas que las llanuras, pero mucho más bajas en comparación de las colinas o montañas. Están caracterizados por tener suaves pendientes que generalmente llegan hasta un máximo de 20°, y una altura que no pasa de los 60 m, suelen ser redondeadas en su parte superior producto de la erosión, por lo general están aisladas de otras unidades, sobresaliendo en lugares

relativamente planos. Estas unidades abarcan un área de 2.15 hectáreas, representando un 0.35% del área de estudio.

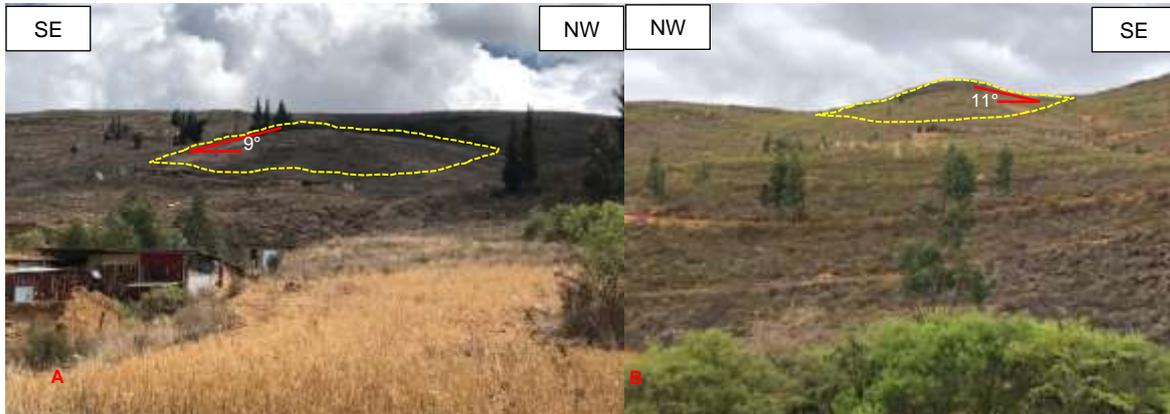


Figura 21: (A) Loma, N 9203184 E 782038 Cota 2649 con una pendiente de  $9^\circ$ , (B) Loma N 9204524 E 782817 Cota 2684 con una pendiente de  $11^\circ$ . Fuente: propia

En la figura 21 se pueden apreciar lomas, en ambos casos la erosión hídrica no es representativa, cubiertos por pastos y matorrales.

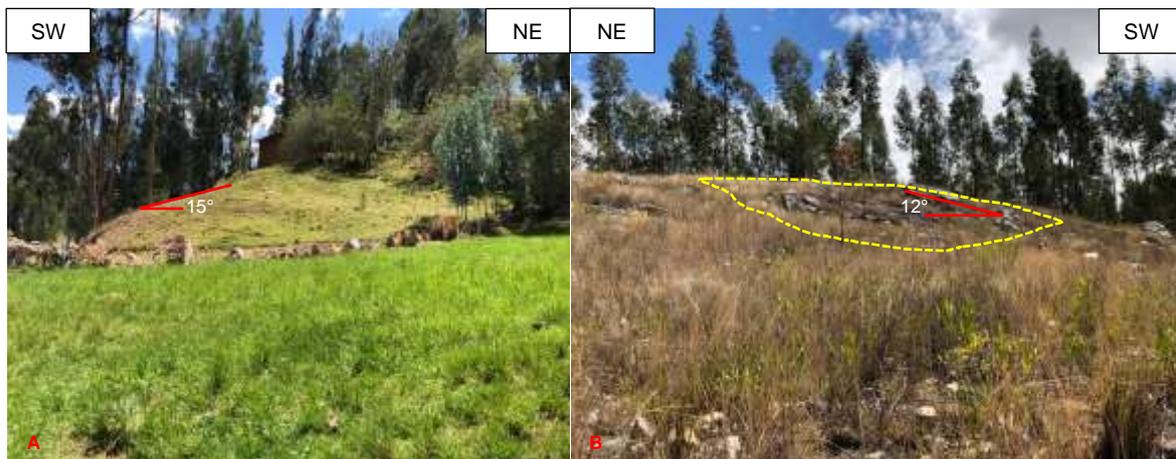
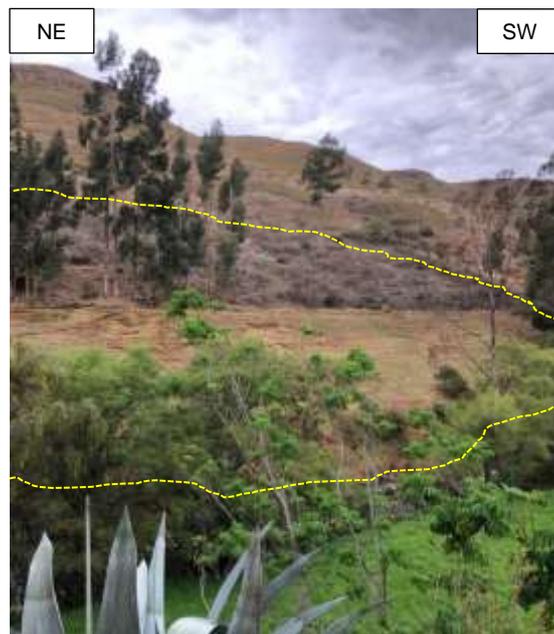


Figura 22: (A) Loma N 9204585 E 784320 Cota 2659 con una pendiente de  $15^\circ$ ; (B) Loma N 9203455 E 784883 Cota 2768. Fuente propia

En la figura 22 en (A) la loma está cubierta por pastos y la cima por algunos árboles y la erosión hídrica no es representativa, (B) las rocas están fracturadas y cubiertas por matorrales.

### **Pie de monte**

Hace referencia a la parte baja de una montaña y que a su vez conecta a las partes bajas del terreno en este caso a las terrazas aluviales, puede decirse que es una zona de transición de una unidad geomorfológica a otra. En el área de estudio encontramos este tipo de formación cercana al río Cajamarquino. Representan 4.42 hectáreas, figurando un 0.72% del área total.



*Figura 23:* Se observa el pie de monte en el distrito de Llacanora N 9204289 E 783787 Cota 2634. Fuente: propia

### **Planicies**

Se definen como superficies o áreas horizontales las cuales carecen de ondulaciones o que tienen elevaciones de escasa importancia, suelen estar en los valles o en mesetas delimitados por montañas o acantilados, son lugares óptimos para la residencia humana y para realizar actividades agropecuarias. En cuanto a su formación se debe principalmente a la acumulación de sedimentos producto de la erosión fluvial y eólica. En la zona de estudio se encuentran en la parte central abarcando los centros poblados de: La Lucma, Hierba Santa, El Cucho y Santa Rosa.

En el área de estudio ocupan una extensión de 79.58 hectáreas lo cual equivale a un 13.11% de la superficie total estudiada.



Figura 24: (A) Planicie N 9203901 E 784507 Cota 2634 con pendiente de 5°; (B) planicie N 9204058 E 784736 Cota 2655 con pendiente de 8°. Fuente: propia

En la figura 24 observamos dos planicies en ambas hay varias construcciones, y se usan para el cultivo de papas y para el pastoreo de animales, la longitud de (A) es entre los 250 – 500 m, para (B) es menor a los 50 m. La erosión del agua no es representativa.

### 3.2.3 Unidades geomorfológicas por proceso fluvial

#### Terrazas Aluviales

Son pequeñas a medianas plataformas recortadas por incisión de un curso de agua, son planas con una pendiente muy suave, se sitúan sobre los cauces de los ríos. Las terrazas más antiguas son las más elevadas y las terrazas más recientes son las más cercanas al río. En el caso de existir varios niveles, indican que hubo un cambio en la actividad fluvial. Se puede mencionar que estas terrazas se pueden presentar en diversas formas, ya sea asimétricas a simétricas. Son muy aprovechables para la agricultura y ganadería. Cubren un área de 48.85 hectáreas, las cuales representan un 8.04% aproximadamente.



Figura 25: Terraza aluvial simétrica con un solo nivel, cercano al río Cajamarquino N 9204699 E 783487 Cota 2626. Fuente: propia

En la figura 25 se puede observar que las terrazas son de manera simétrica debido a que se presentan a ambos lados de cauce del río con un único nivel, la altura es de unos 61 cm, se utiliza para el pastoreo de animales.



Figura 26: Se aprecian dos niveles de terrazas al margen izquierdo del río Cajamarquino N 9204089 E 783916 Cota 2612. Fuente: propia

En la figura 26 las terrazas aluviales se dan de manera asimétrica debido a que en el lado izquierdo hay dos niveles, y en lado derecho solo tenemos un nivel. El nivel 1 tiene una altura de 36 cm, el nivel 2 tiene una altura 2 m, tomando de referencia en nivel del cauce. El nivel 1 y 2 son utilizados por los pobladores de la zona para sus cultivos.



*Figura 27:* Terrazas aluviales simétricas adyacentes al río Cajamarquino N 9203406 E 784178 Cota 2611. Fuente: propia

En la figura 27 se observa un solo nivel de terraza de un gran tamaño en los dos lados del río, la del lado derecho a una altura de 48 cm y del lado izquierdo a unos 36 cm tomando de referencia el nivel del cauce. Estas terrazas aluviales son utilizadas para múltiples actividades.

### **Caídas de agua**

Se producen en los ríos, cuando hay un cambio brusco en la pendiente del terreno. También se les conoce como cataratas o cascadas, se puede apreciar mejor la caída de agua en épocas de precipitación. Ocupan un área de 0.44 hectáreas del total de la zona delimitada, representando un 0.07% aproximadamente.



Figura 28: (A) Caída de agua, conocida como catarata hembra N 9204772 E 784471 Cota 2656, (B) Caída de agua conocida como catarata macho N 9204936 E 784540 Cota 2695. Fuente: propia

En la figura 28 se observa dos cataratas, (A) la altura es de 15 m aproximadamente, (B) la altura es de 30 m. (A) y (B) tienen influencia directa de la quebrada Shaullo, como se puede visualizar ambas caídas de agua tienen un nivel de agua bajo, esto es debido a la sequía que hay en estos días por la falta de lluvias, además sus pendientes superan los 45°, sirven de atractivo turístico para el distrito de Llacanora.



Figura 29: Caída de agua N 9204931 E 784530 Cota 2679. Fuente: propia

En la figura 29 se observa una pequeña caída de agua de unos 5 m de altura con una pendiente superior a los 45°, con influencia de la quebrada Shaullo, que igual que en la figura 24 tiene muy poca cantidad de agua descendiendo.

## Cauces

Son los lugares en donde transcurren las aguas de un río o una quebrada entre las orillas. Si el agua sale del cauce se producen inundaciones, los ríos por lo general tienen un cauce que se va adaptando o encajando en los terrenos cercanos. En los tramos con una mayor pendiente, el cauce suele presentar cascadas o llamadas caídas de agua, si la pendiente disminuye las estructuras comunes se presentan como escalones y pozas, los ríos de montaña suelen transportar una gran cantidad de sedimentos, una vez están cercanos a los piedemontes, su capacidad de arrastre baja considerablemente por lo que se van depositando los sedimentos. (Elosegi y Díez, 2009, p.73).

En la zona de estudio tenemos el río Cajamarquino y a la quebrada Shaullo. El río Cajamarquino empieza en la parte Noroste de la zona de estudio por la carretera CA-1494 y sigue su curso con dirección al distrito de Jesús, es el principal causante de la formación de la mayoría de unidades geomorfológicas por procesos fluviales debido a que atraviesa toda la zona de estudio, podemos mencionar que es un río en una etapa de juventud porque tiene una activa erosión vertical, además de ir formando el valle progresivamente. Los valles comunes que forman estos ríos jóvenes son tipo V muy estrechos debido a que la erosión no ha movido gran cantidad de rocas. Por otro lado la quebrada Shaullo comienza por la parte noreste de la zona, en donde el curso de agua tiene muchos cambios en lo que ha relieve se refiere pues forma las conocidas cataratas de Llacanora, esta quebrada sigue su curso pasando por el centro poblado de Llacanora y luego se une al río Cajamarquino. En la zona de estudio el cauce de río ocupa un área de 7.05 hectáreas, equivalente al 1.16% de la superficie de estudio, por otro lado el cauce de quebrada abarca un área de 1.1 hectáreas, que corresponde a un 0.18% de la zona de estudio.



Figura 30: (A) Río Cajamarquino N 9203593 E 784033 Cota 2600; (B) Quebrada Shaullo N 9204133 E 784347 Cota 2616. Ambas con un nivel de agua bajo debido a que en estos meses no hay muchas precipitaciones  
Fuente: propia



Figura 31: Unión de río Cajamarquino con la quebrada Shaullo cercana a centro poblado de Llacanora N 9203928 E 784378 Cota 2600. Fuente: propia

Como podemos apreciar en la figura 31, los pobladores aprovechan la época de sequía para hacer sus actividades, pero eso a largo plazo es peligroso ya que si el nivel de agua aumenta podría afectar a las construcciones que están prácticamente a los lados de la quebrada y del río.

## Lagunas

Son acumulaciones de agua con una profundidad muy reducida, que generalmente son de agua dulce. Se producen por la existencia de un terreno hundido y por la influencia de constantes lluvias o de algún río o quebrada. Ocupan un área de 0.1 hectáreas, siendo el 0.01% del porcentaje total de la zona de estudio.



*Figura 32:* Laguna en el distrito de Llacanora influenciada por la quebrada Shaullo N 9204845 E 784500 Cota 2665. Fuente: propia

## Llanura de inundación

Son áreas adyacentes a los ríos y quebradas, sujetas a inundaciones recurrentes en épocas de aumentos de los caudales generadas por las intensas precipitaciones. Debido a su naturaleza siempre cambiante, estas llanuras deben ser constantemente estudiadas para definir la forma en que pueden afectar al desarrollo o ser afectadas por el mismo. Cubren un área de 0.42 hectáreas, que representan un 0.06% del territorio evaluado.



Figura 33: (A) Llanura de inundación N 9204653 E 784332 Cota 2640 (B) Llanura de inundación N 9204904 E 784490 Cota 2654. (A) y (B) están adyacentes a la quebrada Shaullo. Fuente: propia

En la figura 33 se observan llanuras de inundación, (A) tiene un ancho de 3.5 m, (B) tiene un ancho de 2.5 m, además de tener una pendiente prácticamente plana (menor a los  $6^\circ$ ). Se puede ver que ambos casos hay abundancia de clastos redondeados y subangulosos que tienen un tamaño de 3 a 12 cm. En épocas de lluvia es muy probable que aumente el caudal de la quebrada y sea un peligro para las personas que visiten estos lugares. Los materiales presentes son gravas y arenas.

### 3.3 Movimientos de masa

#### Caída de rocas

Se definen como una masa de rocas que se desprenden de un talud con pendiente abrupta. Cuando el ángulo del talud es menor las partículas saltan. Los bloques desprendidos casi siempre se rompen en varios fragmentos de menor tamaño. La forma inicial de la superficie original de rotura suele darse de manera planar, escalonada, en cuña o vertical. Existen muchos factores que influyen en estos movimientos los más usuales son: la formación de hielo en las diaclasas de las rocas y también la socavación por la erosión fluvial. (Gutiérrez, 2008, pp.236-237)



Figura 34: Caídas de rocas N 9204754 E 782065 Cota 2684. Fuente: propia

En la figura 34 se tiene un movimiento de masa clasificado como: tipo, caída y subtipo, caídas de rocas, el material es básicamente roca seca, la deformación del terreno es media, las causas son: lluvias y vibración producida por actividades del hombre. El uso del suelo es 30% de vías y un 70% sin uso, la cubierta del suelo es vegetación y matorrales. Produce daños en las carreteras aledañas.



Figura 35: Caídas de rocas N 9204841 E 784445 Cota 2668. Fuente: propia

En la figura 35 se tiene un movimiento de masa clasificado como: tipo, caída y subtipo, caídas de roca, el material es roca seca, la deformación del terreno es media,

las causas son: erosión fluvial. El uso del suelo es 90% sin uso y 10% para recreación, la cubierta del suelo es vegetación, matorrales y pastos. No produce daños significativos.



*Figura 36:* Caídas de rocas N 9204024 E 784938 Cota 2673. Fuente: propia

En la figura 36 se observa un movimiento de masa clasificado como: tipo, caída y subtipo, caídas de roca, el material es rocas secas, la deformación del terreno es media, las causas son por actividad sísmica y por erosión del viento, el área no tiene ningún uso en específico, el suelo prácticamente no tiene cubierta. No produce grandes daños.

### **Deslizamientos rotacionales**

Son movimientos que se dan alrededor de un eje el cual es paralelo a las curvas de nivel de la ladera, lo que implica un desplazamiento de cizalla o conocido como deslizamiento a lo largo de una superficie cóncava, que se puede reconocer sin mucha dificultad. La forma más común es circular o de cuchara. Se pueden producir en detritos, rocas y suelos. (Gutiérrez, 2008, p.238)



*Figura 37:* Deslizamiento rotacional N 9204708 E 782861 Cota 2639. Fuente: propia

En la figura 37 se tiene un movimiento de masa clasificado como: tipo, deslizamiento y subtipo, deslizamiento rotacional, el material es suelo ligeramente seco, la deformación del terreno es leve, las causas son: lluvias y vibración producida por actividades del hombre. El uso del suelo es 80% sin uso y 20% vías, la cubierta del suelo son matorrales. No produce daños.



*Figura 38:* Deslizamiento rotacional de gran tamaño N 9204794 E 783258 Cota 2643. Fuente: propia

En la figura 38 se observa un movimiento de masa clasificado como: tipo, deslizamiento y subtipo, deslizamiento rotacional, el material es suelo y roca secos,

la deformación del terreno es severa, las causas son principalmente: lluvias, vibración producida por actividades del hombre. El uso del suelo es 60% viviendas y 40% sin uso. En este caso se han construido pequeñas edificaciones dentro del movimiento, pero han sido afectadas por este deslizamiento, aun así, los pobladores están empezando una nueva obra, la cual se podría ver afectada en un futuro.

### **Deslizamiento traslacional**

En este tipo de deslizamientos la masa progresa hacia fuera y abajo a lo largo de una superficie de ruptura en forma planar. El deslizamiento se produce a favor de planos de discontinuidad de las rocas. Los deslizamientos traslacionales se pueden generar en suelos, rocas y detritos. (Gutiérrez, 2008, p.240)



*Figura 39:* Deslizamiento traslacional N 9203408 E 784483 Cota 2608. Fuente: propia

En la figura 39 se observa un movimiento de masa clasificado como: tipo, deslizamiento y subtipo, deslizamiento traslacional, el material desplazado son rocas fracturadas y suelos ligeramente secos, la deformación del terreno es severa, la causa principal es la erosión fluvial, el uso del suelo es de 40% para ganadería, 30% para vivienda y un 30% para cultivos, el suelo, está cubierto por pastos y varios árboles.

Si este movimiento se reactiva en épocas de lluvias, puede ocasionar daños a las viviendas que se ubican prácticamente en la base, y también a los animales cercanos.

### **Soliflucción**

Es un movimiento de masa con gran cantidad de agua almacenada en el suelo, estos son principalmente limo-arcillosos de grano fino. En la zona de estudio lo encontramos en laderas muy cercanas a los ríos y quebradas.



*Figura 40:* (A) Soliflucción N 9204384 E 783812 Cota 2616, (B) Soliflucción N 9204741 E 784482 Cota 2666.  
Fuente: propia

En la figura 40, (A) y (B) están cubiertos por pastos, el suelo está muy húmedo, la deformación del terreno es leve (A) el material es suelo, se encuentra al margen izquierdo del río Cajamarquino, causado por erosión fluvial, erosión subterránea y lluvias (B) el material es barro y suelo, se encuentra en la ladera derecha de la quebrada Shaullo, cercano a la catarata hembra. No provocan daños.



Figura 41: Solifluxión N 9204608 E 783589 Cota: 2619. Fuente: propia

En la Figura 41, se puede apreciar que la solifluxión es de un tamaño más grande, los pobladores utilizan esta área para cultivos y ganado, puede ser peligroso con el pasar del tiempo, el material es suelo muy húmedo lo que lo hace inestable.

### **Deslizamiento de rocas**

Son usuales en laderas de montaña o de afloramientos rocosos, en donde el ángulo de planos de discontinuidad de las rocas es muy similar al de la ladera. Los materiales desplazados son rocas fracturas y se dan de forma acelerada.



Figura 42: (A) Deslizamiento de rocas N 9204711 E 784424 Cota 2642 (B) Deslizamiento de rocas N 9204929 E 784477 Cota 2676. Fuente: propia

En la figura 42 (A) y (B) el material es roca ligeramente seca, la deformación del terreno es leve, estas áreas no tienen un uso específico por lo que no representan un problema a corto plazo, para el caso (A) se producido por las intensas lluvias, viento, erosión fluvial, para (B) se origina por problemas de mantenimiento de drenajes y vibración producida por actividades del hombre debido a que se encuentra cerca de una carretera que lleva al pueblo de Shaullo.



*Figura 43:* Deslizamiento de rocas cerca de la carretera N 9203574 E 783989 Cota 2600. Fuente: Propia

En la figura 43 encontramos un deslizamiento de rocas, donde el material es roca seca, la deformación del terreno es media, las causas de este movimiento son actividades realizadas por el hombre y por cargas en la corona del talud (presencia de construcciones), este lugar se utiliza en 70% para viviendas y un 30% para cultivos, la cubierta del suelo son pastos y pequeños matorrales. Como podemos apreciar este deslizamiento ya está obstruyendo la canaleta y si no se toman las medidas respectivas, podría afectar a la carretera que conecta a un puente cercano.

### **Deslizamiento de detritos**

Son roturas en materiales no consolidados que en su avance se rompen en pequeñas partes. El recorrido y la velocidad disminuye con el contenido de arcilla y aumenta

con la pendiente, normalmente se originan por las intensas precipitaciones, se puede mencionar que la geometría del deslizamiento es poco profunda. (Gutiérrez Elorza, 2008, p.243)



*Figura 44:* (A) Deslizamiento de detritos N 9204599 E 783867 Cota 2631 (B) Deslizamiento de detritos N 9204195 E 783958 Cota 2622. Ambos deslizamientos fueron encontrados en el corte de carretera CA-1494. Fuente: propia

En la figura 44, podemos observar en (A) que el material son detritos ligeramente secos, este movimiento ha sido provocado por deforestación en la parte superior, el suelo está prácticamente sin ningún tipo de cubierta, en (B) el material geológico son detritos ligeramente secos y la cubierta del suelo está representada por pequeñas cantidades de pastos, (A) y (B) pueden obstruir el paso de carros en la carretera sino se hace un control y limpieza continuo de los detritos que se van acumulando.

Se han encontrado tres tipos de ambientes geomorfológicos en toda la zona de estudio, el ambiente morfoestructural sería el más predominante ocupando un área de 302.65 hectáreas, teniendo un total de 6 unidades geomorfológicas, seguido del ambiente denudacional el cual abarca 247.85 hectáreas del total de la superficie, teniendo un total de 33 unidades geomorfológicas y por último sería el ambiente fluvial el cual cubre un área de 57.96 hectáreas con un total de 22 unidades geomorfológicas.

**Tabla 3**

*Tipo de ambiente, cantidad de unidades y el área que ocupan en hectáreas.*

Ambiente geomorfológico	Cantidad de unidades		Área en hectáreas
	geomorfológicas		
Morfoestructural	6		302.65
Denudacional	33		247.85
Fluvial	22		57.96

Nota: Para hacer el cálculo de las áreas se utilizó el software ArcGIS. Fuente: propia

Para esta parte se mostrará el área y porcentaje que ocupan las unidades geomorfológicas pertenecientes a cada tipo de ambiente de manera más detallada.

**Tabla 4**

*Cantidad de unidades, código, área y porcentaje del ambiente morfoestructural*

Ambiente	Unidad geomorfológica	Código	Cantidad	Área Ha	Porcentaje %
Morfoestructural	Montaña muy escarpada	MMME	2	54.15	8.92
	Montaña escarpada	MME	2	147.07	24.22
	Montaña muy abrupta	MMMA	1	31.96	5.26
	Montaña abrupta	MMA	1	69.46	11.44

Nota: El porcentaje de cada unidad es con respecto al total del área estudiada. Fuente: propia

Como podemos apreciar en la tabla 4 la unidad geomorfológica que ocupa más área es la montaña escarpada, en segundo lugar, está la montaña abrupta y en último lugar la montaña muy abrupta, con unos porcentajes de 24.22%, 11.44% y 5.26 respectivamente.

**Tabla 5**

*Cantidad de unidades, código, área y porcentaje del ambiente denudacional*

Ambiente	Unidad geomorfológica	Código	Cantidad	Área Ha	Porcentaje %
Denudacional	Colina abrupta	DCA	2	9.47	1.56
	Colina escarpada	DCE	1	1.59	0.26
	Colina muy abrupta	DCMA	6	68.13	11.22
	Colina muy escarpada	DCME	2	9.75	1.6
	Colina muy inclinada	DCMI	2	27.48	4.52
	Lomas	DL	7	2.15	0.35

Superficie de aplanamiento	DSA	2	45.28	7.45
Planicies	DP	8	79.58	13.11
Pie de monte	DPM	3	4.42	0.72

Nota: Del mismo modo el porcentaje es con relación al total del área estudiada. Fuente propia

De la tabla 5, podemos interpretar que la unidad que más área ocupa son las colinas muy abruptas con 68.13 hectáreas con 11.22% del total de la zona estudiada, por otro lado, la unidad que menos área tiene es la colina escarpada con 1.59 hectáreas y un 0.26%.

**Tabla 6**

*Cantidad de unidades, código, área y porcentaje del ambiente fluvial*

Ambiente	Unidad geomorfológica	Código	Cantidad	Área Ha	Porcentaje %
Fluvial	Caída de agua	FCA	3	0.44	0.07
	Cauce de quebrada	FCQ	1	1.1	0.18
	Cauce de río	FCR	2	7.05	1.16
	Llanura de inundación	FLLI	3	0.42	0.06
	Terrazas aluviales	FTA	11	48.85	8.04
	Laguna temporal	FLT	2	0.1	0.01

Nota: Se puede decir que el porcentaje de estas unidades es mucho menor en comparación a las de los otros ambientes. Fuente: propia

De la tabla 6 se deduce que la unidad más abundante son las terrazas aluviales ya que estas están a lo largo de todo el río Cajamarquino, con un área de 48.85 hectáreas y 8.04%, y la unidad con menor área superficial sería la laguna temporal, pues como su nombre lo indica se forman por temporadas y en las salidas de campo se encontraron solo dos, estas tienen un total de 0.1 hectáreas y representan solo el 0.01 de toda el área.

En cuanto a los movimientos de masa que se han encontrado en el área de estudio, se mostraran clasificados en tipo y subtipo para poder visualizar de una mejor forma el movimiento más frecuente.

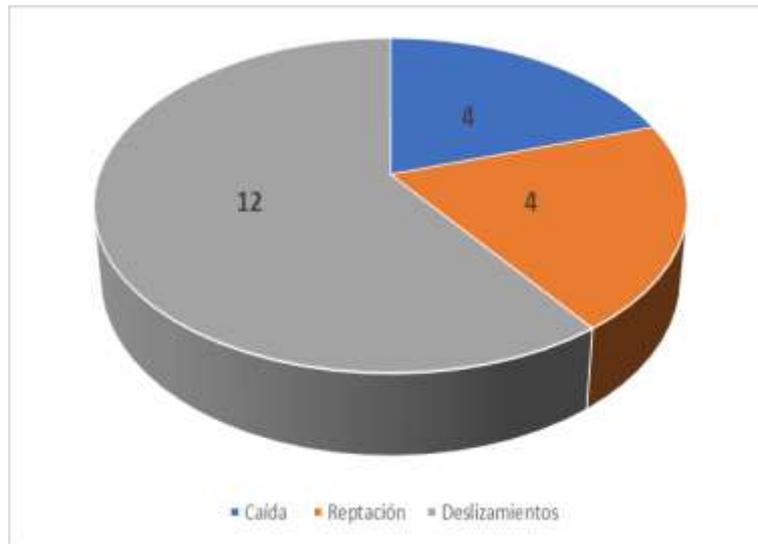


Figura 45: Cantidad de movimientos de masa según el tipo. Fuente: propia

En la figura 45, nos podemos percatar que el movimiento con mayor cantidad es del tipo: deslizamientos con un total de 12, pues este engloba varios subtipos que son por ejemplo los detritos, rocas, suelos entre otros, este ha sido encontrado en varias partes de toda la superficie estudiada. Las caídas y reptación tienen un empate en la cantidad, se han encontrado 4 para cada uno, a diferencia de los deslizamientos, las reptaciones solo se han hallado cercanos a las quebradas, ríos y suelos con gran contenido de agua. Las caídas se han podido detectar en partes donde la pendiente es mayor.

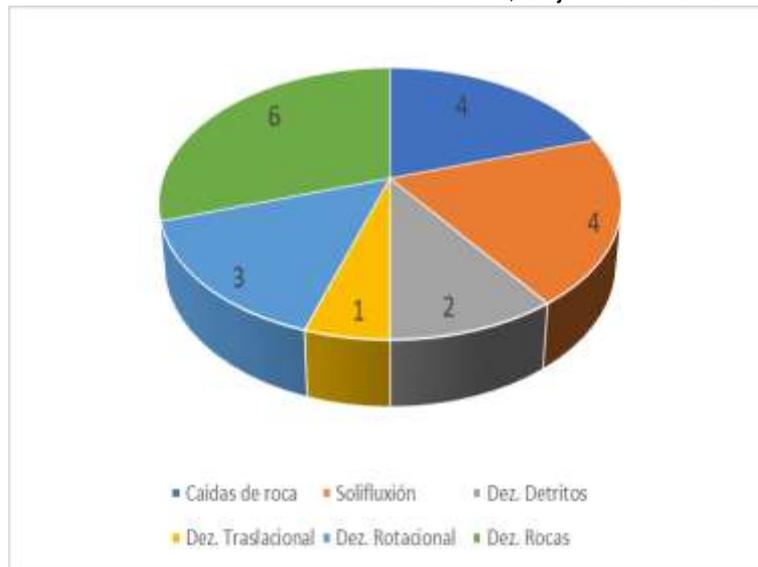


Figura 46: Cantidad de movimientos de masa según el subtipo. Fuente: propia

En la figura 46, se puede ver que el movimiento más frecuente son los deslizamientos de rocas con un total de 6, mientras que el movimiento menos habitual son los deslizamientos traslacionales, en todas salidas de campo solo se pudo encontrar uno de este subtipo.

En lo referente a las zonas con movimientos de masa en Llacanora, han sido clasificados en cuatro niveles de susceptibilidad: Muy alto, alto, moderado y bajo. En cuanto a la susceptibilidad de grado muy alto, se han encontrado 6 zonas, tres de ellas (Z-MA1, Z-MA2, Z-MA3), están en las laderas del cerro Iscocongá (formación Santa y Carhuaz), la cuarta (Z-MA4) se localiza a lo largo de toda la parte media del cerro Callacpuma (formación Santa), pues este cerro presenta grandes escarpes de rocas fracturadas, la penúltima (Z-MA5), está en la parte superior de la catarata conocida como “Catarata Macho” (formación Farrat), y la última zona de esta clase (Z-MA6), se sitúa en la parte superior derecha del área de estudio (formación Farrat), también presentando grandes escarpes de roca.

La susceptibilidad de grado alto, presenta un total de 5 zonas con riesgo a que ocurran estos movimientos, la primera (Z-A1), está ubicada en las faldas del cerro Iscocongá

al lado norte, abarca una gran extensión territorial (formaciones Santa y Carhuaz), en esta primera zona está el centro poblado “Vista Alegre”; la segunda (Z-A2), se ubica cerca al complejo turístico de las cataratas de Llacanora (formación Farrat), la tercera y cuarta zona (Z-A3, Z-A4), se sitúan en las parte altas del cerro Callacpuma (formación Farrat) y la quinta (Z-A5), se localiza en la parte inferior derecha (formación Farrat y depósitos fluviales), hay un centro poblado conocido como “El Higo”.

En la susceptibilidad de grado moderado tenemos 9 zonas con riesgo, la primera (Z-M1), está en la parte central superior del cerro Iscoconga (formación Santa, Carhuaz) hay un centro poblado “Tunascucho”; la segunda (Z-M2), también la tenemos en el cerro Iscoconga pero en una parte media de la ladera en el lado sur (formación Santa y depósitos aluviales), la tercera (Z-M3), en el fragmento inferior del cerro Callacpuma (formación Santa), la cuarta (Z-M4), en la cima de la colina muy abrupta DCMA3, (formación Santa), además hay tres centros poblados “Chin Chin, Santa Apolonia, Pacchacocho”, la quinta, sexta, séptima y octava zona (Z-M5, Z-M6, Z-M7, Z-M8), se hallan en las montañas escarpadas y muy escarpadas (formación Farrat); y la novena (Z-M9), la localizamos en una montaña muy abrupta MMA1.

En la susceptibilidad de grado bajo, tenemos un total de 9 zonas con riesgo, la primera, segunda y tercera (Z-B1, Z-B2, Z-B3), se sitúan a lo largo de todas las terrazas aluviales (depósitos aluviales, fluviales y formación Santa), la cuarta, quinta, sexta (Z-B4, Z-B5, Z-B6), se localizan en la totalidad de las planicies encontradas (depósitos aluviales, formación Carhuaz, formación Santa), encontramos los centros poblados de: “Santa Rosa y El Cucho”, la séptima y octava (Z-B7, Z-B8), zona forman parte de las terrazas aluviales cercanas al río Cajamarquino y de las planicies (depósitos aluviales y depósitos fluviales), se ubican los centros poblados de:

“Llacanora, La Lucma, Hierba Santa, El cementerio, El Común y La Gloria”; la novena y última (Z-B9), se sitúa en la ladera media del lado este del cerro Callacpuma (formación Farrat y formación Santa).

Para una mejor visualización de las zonas mencionadas (Ver anexo N°14)

A continuación, se muestran dos tablas, las cuales muestran el total de unidades geomorfológicas y de movimientos de masa encontrados en la zona de estudio.

**Tabla 7**

*Inventario de las unidades geomorfológica del área de estudio*

Ambiente geomorfológico	N° de unidad	Unidad geomorfológica	Norte	Este	Cota	Código de unidad
Fluvial	1	Terraza aluvial	9204089	783916	2612	FTA1
	2	Terraza aluvial	9204947	782477	2620	FTA2
	3	Terraza aluvial	9204528	783858	2623	FTA3
	4	Terraza aluvial	9204315	783876	2622	FTA4
	5	Terraza aluvial	9204677	783677	2620	FTA5
	6	Terraza aluvial	9204815	783070	2628	FTA6
	7	Terraza aluvial	9204699	783487	2626	FTA7
	8	Terraza aluvial	9204451	784329	2627	FTA8
	9	Terraza aluvial	9203406	784178	2611	FTA9
	10	Terraza aluvial	9203599	784022	2601	FTA10
	11	Terraza aluvial	9203717	784203	2606	FTA11
	12	Llanura de inundación	9204650	783584	2622	FLLI1
	13	Llanura de inundación	9204653	784332	2640	FLLI2
	14	Llanura de inundación	9204904	784490	2654	FLLI3
	15	Caída de agua	9204772	784471	2656	FCA1
	16	Caída de agua	9204921	784530	2679	FCA2
	17	Caída de agua	9204936	784540	2695	FCA3
	18	Cauce de río	9203593	784033	2600	FCR1
	19	Cauce de río	9203251	784142	2604	FCR2
	20	Cauce de quebrada	9204133	784347	2616	FCQ1
	21	Laguna temporal	9204845	784500	2665	FLT1

	22	Laguna temporal	9204001	784758	2656	FLT2
	23	Montaña escarpada	9204998	784651	2764	MME1
	24	Montaña escarpada	9204118	783636	2718	MME2
Morfoestructural	25	Montaña muy escarpada	9204967	784547	2715	MMM1
	26	Montaña muy escarpada	9204877	784335	2790	MMM2
	27	Montaña abrupta	9204237	783798	2725	MMA1
	28	Montaña muy abrupta	9203531	784828	2756	MMA2
	29	Colina muy inclinada	9204750	782092	2687	DCMI1
	30	Colina muy inclinada	9203472	782038	2669	DCMI2
	31	Colina abrupta	9203325	782612	2677	DCA1
	32	Colina abrupta	9203686	784704	2684	DCA2
	33	Colina muy escarpada	9204715	784760	2756	DCME1
	34	Colina muy escarpada	9204660	784343	2768	DCME2
	35	Colina escarpada	9204748	784423	2670	DCE1
	36	Colina muy abrupta	9204573	783095	2720	DCMA1
	37	Colina muy abrupta	9203374	784845	2733	DCMA2
Denudacional	38	Colina muy abrupta	9204203	784167	2640	DCMA3
	39	Colina muy abrupta	9204426	783641	2700	DCMA4
	40	Colina muy abrupta	9203995	783930	2705	DCMA5
	41	Colina muy abrupta	9204340	784373	2628	DCMA6
	42	Superficie de aplanamiento	9203450	782048	2667	DSA1
	43	Superficie de aplanamiento	9203243	782701	2565	DSA2
	44	Lomas	9203184	782556	2649	DL1
	45	Lomas	9204524	782817	2684	DL2
	46	Lomas	9204838	784504	2667	DL3
	47	Lomas	9205030	784485	2721	DL4

48	Lomas	9204585	784320	2659	DL5
49	Lomas	9203955	784883	2768	DL6
50	Lomas	9203549	784364	2614	DL7
51	Planicie	9204090	784971	2680	DP1
52	Planicie	9203987	784931	2680	DP2
53	Planicie	9204058	784736	2655	DP3
54	Planicie	9203936	784640	2638	DP4
55	Planicie	9203901	784507	2634	DP5
56	Planicie	9203664	784159	2549	DP6
57	Planicie	9203464	783911	2612	DP7
58	Planicie	9203577	784520	2624	DP8
59	Pie de monte	9204042	783890	2616	DPM1
60	Pie de monte	9204621	784394	2634	DPM2
61	Pie de monte	9204289	783787	2634	DMP3

Nota: Las letras D, M y F al inicio del código de la unidad, hacen referencia al ambiente en el que fueron clasificados. Fuente: propia

**Tabla 8**

*Inventario de movimientos de masa en el área de estudio.*

<b>Tipo de movimiento</b>	<b>Subtipo de movimiento</b>	<b>N° de movimiento</b>	<b>Humedad</b>	<b>Norte</b>	<b>Este</b>	<b>Cota</b>
Caída	Caídas de roca	1	Seco	9204841	784445	2668
	Caídas de roca	2	Seco	9204754	782065	2684
	Caídas de roca	3	Seco	9203427	782771	2691
	Caídas de roca	4	Seco	9204024	784938	2673
Reptación	Soliflucción	5	Húmedo	9204384	783812	2616
	Soliflucción	6	Húmedo	9204608	783589	2619
	Soliflucción	7	Húmedo	9204741	784482	2666
	Soliflucción	8	Húmedo	9204187	784387	2619
Deslizamiento	Dez. Detritos	9	Seco	9204195	783958	2622
	Dez. Detritos	10	Seco	9204599	783867	2631
	Dez. Traslacional	11	Ligeramente seco	9203408	784483	2608
	Dez. Rotacional	12	Seco	9204708	782861	2639
	Dez. Rotacional	13	Seco	9204794	783258	2643
	Dez. Rotacional	14	Seco	9205033	784413	2725
	Dez. De rocas	15	Ligeramente seco	9204711	784424	2642
	Dez. De rocas	16	Ligeramente seco	9204929	784477	2676
	Dez. De rocas	17	Ligeramente seco	9205010	784488	2710
	Dez. De rocas	18	Ligeramente seco	9203183	783838	2623

Dez. De rocas	19	Seco	9203574	783989	2600
Dez. De rocas	20	Seco	9203572	784571	2645

Nota: Se han considerado los ítems de tipo y subtipo para tener una clasificación más exacta, y para que en la tabla sea más fácil encontrarlos. Fuente: propia

### 3.4 Estimación de costos para el cambio de topografía

En este trabajo de investigación se encontraron varias zonas propensas a los movimientos de masa, como un dato adicional se está presentando de manera breve algunas estimaciones de costos del personal y maquinaria pesada en caso se requieran hacer trabajos para hacer un cambio en la topografía de las áreas más susceptibles. Se tendría asignado un monto inicial de S/. 2060350 para la adquisición de las diferentes maquinarias y personal. El tiempo para realizar todas las actividades serían de 9 años, al hacer que las zonas ya no tengan una pendiente tan pronunciada, se evitarían daños en las construcciones, cultivos de las áreas. Entonces generaría un beneficio a la población al ya no tener que estar volviendo a construir sus viviendas o reparar los daños, teniendo un ahorro aproximado de S/. 1690100. Debido a la coyuntura actual generada por el covid-19 la tasa de interés está teniendo una tendencia al alza por lo que se está considerando para este caso una tasa de interés del 11%. Puesto que en el proyecto se usarían diversos tipos de técnicos y profesionales se está considerando un monto de S/. 750 para cada uno, en caso de algún accidente o inconveniente. La estimación de costos para la adquisición de maquinarias, mantenimiento de las maquinarias, sueldo de todo el personal se detallan a continuación.

**Tabla 9**
*Estimación de costos para el personal.*

ITEM	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	SUELDO MENSUAL	SUELDO ANUAL	COSTO POR EMERGENCIAS
<b>Profesionales</b>					
	Administrador	1	S/.2,200	S/.26,400	S/.750
	Contador	1	S/.2,700	S/.32,400	S/.750
	Ingeniero civil	2	S/.6,000	S/.72,000	S/.750
	Ingeniero geólogo	1	S/.3,100	S/.37,200	S/.750
	Ingeniero ambiental	1	S/.2,400	S/.28,800	S/.750
<b>Técnicos</b>					
<b>1</b>	Operador de excavadora	1	S/.1,400	S/.16,800	S/.750
	Operador de retroexcavadora	1	S/.1,750	S/.21,000	S/.750
	Operador de cargador frontal	1	S/.1,225	S/.14,700	S/.750
	Operador de motoniveladora	1	S/.1,175	S/.14,100	S/.750
	Operador de compactadora	1	S/.1,100	S/.13,200	S/.750
	Operador de volquete	2	S/.2,600	S/.31,200	S/.750
	Supervisor de operadores	1	S/.2,464	S/.29,568	S/.750
	Obreros	20	S/.20,000	S/.240,000	S/.750
<b>TOTAL</b>		33	S/.45,650	S/.547,800	S/.9,750

Nota: La cantidad de trabajadores se consideró, teniendo en cuenta la extensión del área, para que se tenga un mejor control del personal. Fuente: propia

**Tabla 10**
*Estimación de costos para maquinaria.*

ITEM	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	COSTO DE ADQUISICIÓN	MANTENIMIENTO ANUAL PROMEDIO
<b>Maquinaria pesada</b>				
<b>2</b>	Cargador frontal 924F	1	S/.107,000	S/.96,300.00
	Cargador frontal 910F	1	S/.89,821	S/.80,838.90
	Motoniveladora serie k	1	S/.274,124	S/.246,711.00
	Retroexcavadora 416e	1	S/.154,492	S/.139.04
	Retroexcavadora 420f	1	S/.85,872	S/.77,284.00

Compactadora cb2.7	1	S/.79,045	S/.71,140.50
Volquetes	2	S/.416,800	S/.375,120.00
Excavadora sobre orugas	1	S/.305,396	S/.274,856.40
<b>TOTAL</b>	<b>9</b>	<b>S/.1,512,550</b>	<b>S/.1,222,389.84</b>

Nota: Las diferentes maquinarias se escogieron debido a su relativo bajo costo a fin de ahorrar en los gastos. Además, se han considerado solo las indispensables para el removimiento de tierras.: propia

Para poder ver si esta estimación es viable se utiliza el análisis beneficio costo, este consiste en medir la relación existente entre los costos y beneficios de un determinado proyecto y determinar su rentabilidad, primero se han sacado todos los datos propuestos anteriormente:

**Tabla 11**

*Resumen de los datos de costos y beneficios.*

Resumen de datos	Valor
<b>Inversión inicial</b>	S/. 2,060,350
<b>Beneficios</b>	S/. 1,690,100
<b>Tasa de interés</b>	11%
<b>Periodo</b>	9
<b>Gasto por mantenimiento</b>	-1,232,140

Nota: Estos datos obtenidos son los más importantes para poder sacar el B/C. Fuente: propia  
Luego sacaremos los datos del costo anual equivalente, frecuencia de recuperación del capital y del valor actual de costos para finalmente calcular el B/C. Las ecuaciones utilizadas para cada uno de los términos mencionados son:

Para el valor actual de costos:

$$VAC = Va + \text{Inversión inicial}$$

*Ecuación 3:* Formula para calcular el valor actual de costos

Para la frecuencia de recuperación de capital:

$$FRC = \frac{r * (1 + r)^P}{(1 + r)^P - 1}$$

*Ecuación 4:* Formula para calcular la frecuencia de recuperación de capital

Donde: r es la tasa de interés y p es el periodo

Para el costo anual equivalente:

$$CAE = VAC * FRC$$

*Ecuación 5:* Formula para calcular el costo anual equivalente

Donde: VAC es el valor actual equivalente y FRC es la frecuencia de recuperación de capital

Y finalmente para el B/C:

$$\text{Beneficio costo} = \frac{\text{Beneficios}}{\text{CAE}}$$

*Ecuación 6:* Formula para calcular el análisis B/C

Donde: CAE es el costo anual equivalente

**Tabla 12**

*Valores finales para el cálculo del B/C*

<b>Va</b>	S/.6,822,417
<b>Vac</b>	S/.8,882,767
<b>Frc</b>	S/.0.18
<b>Cae</b>	S/.1,604,242
<b>B/C</b>	1.05

Nota: Todos estos valores fueron calculados en el software Excel 2019. Fuente: propia

Si el beneficio costo nos da un valor mayor a 1 la propuesta del proyecto es considerable, y como podemos apreciar el valor nos arroja un 1.05, entonces podemos concluir que los datos de costos y beneficios son adecuados y se podrían tener en consideración.

En este caso se plantea hacer el cambio de topografía en las zonas con una susceptibilidad: Muy Alta y Alta debido a que estas presentan los taludes con las inclinaciones más elevadas y son los lugares con un riesgo más alto. Por lo tanto, las zonas a trabajar serian un total de 11, por un lado, las de susceptibilidad muy alto son: Z-MA1, Z-MA2, Z-MA3, Z-MA4, Z-MA5, y Z-MA6; por otra parte, las de susceptibilidad alta son: Z-A1, Z-A2, Z-A3, Z-A4, y Z-A5.

## CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

### 4.1 Discusión

Los movimientos de masa son los principales causantes de muchas pérdidas humanas y económicas en todo el mundo, hablando de lo económico hace referencia a los daños en las construcciones viales y centros poblados, generando incomunicación entre los pobladores, impidiendo el paso de productos industriales por el bloqueo de carreteras. Este problema ocurre en los establecimientos urbanos y rurales que no tienen una planificación adecuada y que generalmente se encuentran en los valles interandinos. (Mergili, Marchant, y Moreiras, 2015; Sepúlveda y Petley, 2015; Rodríguez, Tapía, y Albornoz, 2014; GFDRR, 2012). En esta investigación se pudo evidenciar lo mencionado pues se está observando que en el cerro Iscocongá hay un gran aumento en los asentamientos urbanos, sin tomar las precauciones necesarias, ya que sus construcciones las están realizando en las coronas de los taludes, y eso está generando una sobrecarga, que a largo plazo puede provocar un deslizamiento del terreno.

Uno de los principales agentes causantes de los movimientos de masa según (Ormaetxea, Barroso, y Sáenz, 2017; Peña, y otros, 1997), son las intensas precipitaciones, que tienden a aumentar el nivel freático en los suelos, y producir una inestabilidad en el terreno. Además, el 86% de los movimientos de masa son producidas por precipitaciones de gran magnitud, ocasionando movimientos de flujos, deslizamientos y caídas. (Salinas, Salinas, Montalvo, y Alva, 2017). Lo mencionado se demostró en esta tesis ya que los movimientos de masa más comunes en la zona de estudio son los deslizamientos de diversos tipos: rocas, detritos, traslacionales, rotacionales y la caída de rocas. Y que de los 20 movimientos de masa encontrados más del 70% son producto de la erosión causada por la lluvia.

En el trabajo de Rodríguez, Albornoz, y Tapia (2017), aplicaron una metodología para hacer un estudio geomorfológico, la cual fue de mucha ayuda en la presente tesis, pues sirvió para saber los pasos que se deben seguir, empezando por la recolección de información bibliográfica, un análisis de imágenes satelitales para tener una idea previa sobre como serían las formas del relieve, y mediante el trabajo en campo hacer la debida contrastación de la información de gabinete, finalmente el conjunto de la información obtenida e interpretada se hizo la elaboración del informe final.

En las tesis de (Ayay, 2018; Vergara, 2017), obtuvieron en sus resultados cuatro ambientes geomorfológicos catalogados en denudacional, volcánico, fluvial y morfoestructural. Estos ambientes también se los encontró en la zona de estudio de la presente tesis, exceptuando el ambiente volcánico, esto puede ser debido a la extensión del área o también por las condiciones geológicas existentes. Pero se puede notar mucha similitud en los resultados de ambos trabajos. Podemos mencionar que en esta tesis y en la de Ayay (2018), los ambientes geomorfológicos con más extensión de terreno son el morfoestructural y denudacional.

En cuanto a los resultados relacionados con las zonas con susceptibilidad se dividieron en cuatro: muy alto, alto, moderado y bajo, esta clasificación también lo utilizó Mendoza y Aristizábal (2017), ya que es una forma sencilla de identificar los lugares con mayor vulnerabilidad. Las zonas con un grado muy alto son porque las pendientes son muy pronunciadas teniendo valores superiores a los  $45^\circ$ , esta idea se resguardo con los resultados de Rodríguez, Albornoz, y Tapia (2017), donde mencionan que los efectos de la gravedad en las vertientes, establecen movimientos de masa, donde la mayoría de desplomes de roca se dan principalmente en lugares que predominan las crestas y cornisas. En esta primera zona, además se han hecho muchas construcciones sin haber hecho estudios previos alterando el equilibrio de los materiales presentes,

pues encontramos viviendas muy cercanas a escarpes de rocas fracturadas y que en cualquier momento pueden desprenderse, justamente encontramos estas zonas en los lugares montañosos. Las zonas con un grado alto, son debido a que, si bien la pendiente esta entre los  $28^{\circ}$ - $38^{\circ}$ , los suelos no son aptos para edificaciones, dichos lugares están en el pie de montes, y las colinas. Las zonas con un grado moderado presentan lugares con una pendiente entre los  $20$ - $27^{\circ}$ , ubicándose en las partes cercanas a la base de las colinas y en la parte superior de algunas montañas, si bien el riesgo es menor, el simple hecho de que se produzcan sismos, o algunas actividades de construcción los centros poblados estarían propensos a algún accidente por deslizamientos de rocas y detritos. Las zonas de grado bajo, se ubican en la parte central del valle, donde encontramos la mayoría de centros poblados, las unidades geomorfológicas presentes son las planicies, superficies de aplanamiento y las terrazas aluviales, que tienen superficies prácticamente planas, favoreciendo la expansión urbana y las actividades agroindustriales, el peligro existente serian en las épocas de lluvia, por el aumento de las caudales de los ríos y quebradas, pudiendo inundar las áreas aledañas. Podemos añadir que Ayala, Dal Pozzo, y Sánchez (2015), nos mencionan que los factores en los lugares donde han ocurrido estos movimientos de masa permiten inferir otras áreas con características similares para poder hacer la respectiva zonificación. Esto fue lo que también se tomó en consideración para elaborar el mapa de susceptibilidad y se aplicó para aquellos lugares en los que la accesibilidad era muy difícil.

Según Ariza, Roa, Serrato, y León (2018), los datos provenientes de imágenes satelitales son de mucha utilidad en la generación de mapas geomorfológicos, lo cual es muy cierto, porque en esta investigación se utilizaron una gran variedad de datos satelitales como los de erosividad, formaciones geológicas, clases de suelos, entre otros, los cuales en conjunto sirvieron no solo para la elaboración del mapa

geomorfológico sino también para los mapas de susceptibilidad, topográficos y de pendientes.

Forero y Duarte (2019), nos mencionan que la geomorfología, ayuda a identificar los procesos que modifican todos los paisajes, donde los suelos tienen también un rol muy importante dentro de la evolución de toda la geomorfología. (Mora, Bonifaz, y López, 2016; Furrier, 2018), dicen que elaborando un mapa geomorfológico se pueden instaurar los límites de las unidades, justificándose en sus pendientes y alturas, además que son de gran utilidad para caracterizar el uso y la ocupación de la tierra, sumando de que sirven para la planeación y ordenamiento de los terrenos. En esta investigación se usaron los datos de los modelos digitales de elevaciones para establecer algunos límites de las unidades geomorfológicas donde no se tuvo acceso.

Por lo expuesto se acepta la hipótesis general planteada: Al realizar la caracterización geomorfológica se podrán ubicar las zonas con riesgo por movimiento de masa en el distrito de Llacanora. Dado que al conocer los ambientes geomorfológicos, y sus respectivas unidades geomorfológicas presentes en nuestra zona a evaluar, va a ser mucho más rápido la identificación de la zonas susceptibles, porque si un lugar presenta ambientes fluviales nos quiere indicar que los suelos están propensos a tener una mayor cantidad de agua por estar cercanos a ríos, los ambientes morfoestructurales dan a entender que hay formaciones muy grandes producto de los agentes endógenos, como las montañas, y los ambientes denudacionales son superficies donde hubo una intensa erosión de los agentes exógenos como la lluvia o el viento.

Las limitaciones de este estudio son: no se pudo tener acceso a varios lugares del área delimitada, debido a que los propietarios de los terrenos no quisieron darnos pase, a pesar de que se había sacado el permiso en la municipalidad distrital de Llacanora para realizar la investigación; solo se hicieron las salidas a campo durante la temporada de

sequía como consecuencia de esto no se pudo observar cómo era el comportamiento tanto de las unidades geomorfológicas como de los movimientos de masa durante las épocas de precipitaciones; debido a la coyuntura actual producto de la pandemia no se lograron hacer muchas salidas a campo por el simple hecho de que no hubieron muchos medios de transporte; al momento de elaborar el mapa de pendientes, la definición salió un poco baja, pues a la hora de ejecutar el geoprocesamiento de la imagen, como la zona no es muy grande la clasificación de las pendientes se ven de un tamaño mayor por lo que parece que la densidad de pixeles es menor.

Como recomendaciones para investigaciones futuras, se deben de planificar todas las actividades del proyecto; tener claro el problema de investigación y los objetivos tanto general como específicos además de siempre hacer una investigación bibliográfica de estudios previos con relación al tema; en el momento de estar en campo tener todos los equipos para tomar datos ya sean brújulas, GPS, inclinómetro, formatos de toma de datos; solicitar los permisos necesarios a las instituciones con el fin de evitar inconvenientes con los pobladores de la zona; cuando los estudios sean en sitios de gran área, solicitar ayuda a más personas para agilizar las actividades y tener los resultados en el menor tiempo posible. A los gobiernos regionales y municipalidades distritales realizar un continuo monitoreo de las zonas susceptibles a los movimientos de masa con el objetivo de evitar tragedias, adicionalmente elaborar informes geomorfológicos relacionados al ordenamiento territorial para que las nuevas construcciones se realicen en lugares adecuados.

El aporte de este estudio geológico es la de poder conocer cuáles son las zonas de mayor riesgo por movimientos de masa en el distrito de Llacanora aplicando una caracterización geomorfológica, a fin de evitar pérdidas tanto de vida como económicas.

## 4.2 Conclusiones

Se logró identificar las zonas con riesgo por movimientos de masa en el distrito de Llacanora, clasificándose en una susceptibilidad muy alta con 6 zonas, debido a las fuertes pendientes de las montañas y escarpes de rocas que sobrepasan los 45°; susceptibilidad alta con 5 zonas, ya que están cercanas a las laderas de las colinas y pie de montes con una pendiente entre 28° -38°; susceptibilidad moderada con 9 zonas, debido a que se localizan en las partes bajas de las colinas con pendientes entre los 20° - 27°; y la susceptibilidad baja con 9 zonas, caracterizándose por tener superficies con inclinaciones muy bajas entre los 4°-19°. Las peculiaridades de la forma del relieve tienen una relación directamente proporcional con las zonas de riesgo porque dependiendo del tipo de unidades geomorfológicas presentes, se establecerán algunos principios para hacer la correspondiente delimitación.

Las unidades geomorfológicas en el distrito de Llacanora se clasificaron teniendo en cuenta su ambiente geomorfológico, teniendo tres ambientes principales: el ambiente morfoestructural con un total de 6 unidades ocupando un área de 302.65 Ha, representando un 49.84%; el ambiente denudacional con 33 unidades geomorfológicas abarcando un área de 247.85 Ha, figurando un 40.79% de la superficie total estudiada; y en el ambiente fluvial se encontraron 22 unidades geomorfológicas comprendiendo un área de 57.97 Ha, las cuales representan un 9.52% de toda zona de estudio.

Se encontraron un total de 20 movimientos de masa en el lugar de estudio, teniendo subtipos de: soliflucción (4); deslizamiento de detritos (2); caídas de rocas (4); deslizamiento de rocas (6); deslizamiento traslacional (1); deslizamiento rotacional (3). El inventario se realizó teniendo en cuenta: el tipo, subtipo, el número del

movimiento, la humedad presente, las coordenadas de referencia y sus respectivas cotas.

Se elaboró el mapa satelital que fue de gran ayuda para la delimitación de la zona; el mapa topográfico este se usó para saber las altitudes de todas las estructuras; el mapa de pendientes que sirvió para hacer la clasificación de la inclinación de las laderas; el mapa de erosividad para identificar los lugares con un mayor desgaste por la lluvia; el mapa de cobertura vegetal el cual se utilizó a fin de conocer el tipo de vegetación predominante; el mapa de suelos para conocer los materiales presentes en las unidades geomorfológicas; el mapa geomorfológico que es uno de los más importantes donde se vieron las formas del relieve del distrito de Llacanora; el mapa de susceptibilidad para observar las zonas con riesgo a movimientos de masa, y el mapa geológico que se usó con el fin de identificar las formaciones geológicas del área delimitada. Cabe mencionar que todos ellos fueron hechos con la ayuda del software ArcGIS 10.5, Google Earth Pro y QGIS aplicando herramientas de geoprocésamiento e interpolación.

El índice de erosividad de la lluvia se calculó empezando por una recopilación de datos pluviométricos de estaciones meteorológicas del Senamhi (La Victoria, Namora, La Encañada, Aylambo, Weberbauer y Jesús), luego utilizando el software ArcGIS se hizo una interpolación IDW para poder sacar el índice modificado de Fournier, finalmente se sacó la relación entre el factor R y el IMF. El valor máximo de erosividad de la lluvia es de 453 (Mj.mm/ha.h) y el valor mínimo es de 277 (Mj.mm/ha.h), Mencionar que estos valores son para todo el distrito de Llacanora, en el área delimitada la erosividad no es muy alta, exceptuando la parte inferior sureste.

Finalmente se hizo una estimación de costos para el cambio de topografía en las zonas más susceptibles teniendo en cuenta los costos del personal técnico y profesional, el costo de adquisición y mantenimiento de maquinaria pesada. Los valores para el análisis beneficio costo son: Va (S/.6,822,417); VAC (S/.8,882,767); FRC (0.18); y CAE (S/.1,604,242). Por último, el valor del beneficio costo es de 1.05 lo que nos indica que la propuesta de los costos es rentable y que se podría tener en consideración para futuros proyectos.

## REFERENCIAS

- Ariza, A., Roa, O. J., Serrato, P. K., & León Rincón, H. A. (2018 ). Uso de índices espectrales derivados de sensores remotos para la caracterización geomorfológica en zonas insulares del Caribe Colombiano. *Perspectiva Geográfica*, 23(1), 105-122 doi: 10.19053/01233769.5863.
- Ayala Omaña, R., Dal Pozzo, F., & Sánchez D., D. (2015). Zonificación de la susceptibilidad a la ocurrencia de movimientos de masa. Microcuencas agua Blanca y La Laja. Andes venezolanos. *Revista Geográfica Venezolana*, 56(2), 221-247.
- Ayay Pompa, R. (2018). *Geomorfología del caserío Hierba Buena y entorno, centro Poblado Porcón Alto-Cajamarca*. Universidad Nacional de Cajamarca, Cajamarca.
- Cruzado Vásquez , G. (2011). *Estudio de Geología*. Gobierno Regional de Cajamarca, Cajamarca.
- Elosegi, A., & Díez, J. (2009). *La estructura física de los cauces fluviales*. Universidad de Girona, Barcelona.
- Forero Ospino, O., & Duarte Delgado, W. F. (2019). Caracterización e identificación de la geomorfología (ambientes y unidades geomorfológicas) en la plancha 121 - Cerrito, Colombia, aplicado a movimientos en masa, escala 1:100.000. *Boletín de Geología*, 41(2), 35-44. doi:10.18273/revbol.v41n2-2019002
- Furrier, M. (2018). Caracterización Geomorfológica como Propuesta para la Planificación Ambiental y Territorial. Un Ejemplo de Aplicación en Brasil con Perspectiva de Aplicación en Costa Rica. *Revista Geográfica de América Central*(61), 221–246. doi:dx.doi.org/10.15359/rgac.61-2.8
- GEASIG. (8 de Marzo de 2019). *Indice de erosividad* . Obtenido de <https://www.geasig.com/indice-de-erosividad-de-la-lluvia-con-arccgis/>
- GFDRR. (2012). *Peru - Disaster risk management in Latin America and the Caribbean region : GFDRR country notes*. Banco Mundial.
- Guerrero Padilla, A. M. (2019). Estudio geomorfológico y edafológico en el desarrollo de *Persea americana* (Lauraceae), *Asparagus officinalis* (Asparagaceae) y *Saccharum officinarum*

(Poaceae) en la provincia de Trujillo, Perú. *Arnaldoa*, 26(1), 447-464.

doi:10.22497/arnaldoa.261.26124

- Gutiérrez Elorza, M. (2008). *Geomorfología*. Madrid: Pearson Education Prentice Hall.
- McEwen, A., & Chuang, F. (2011). *HIRISE*. Obtenido de Tema científico: Movimiento en masa: <https://www.uahirise.org/es/temas/mass.php>
- Mendoza Ramírez, J., & Aristizábal, E. (2017). Metodología para la zonificación de la susceptibilidad por movimientos en masa en proyectos lineales. Estudio de caso en el acueducto del municipio de Fredonia, Antioquia. *Ingeniería y Ciencia*, 13(26), 173–206. doi:10.17230/ingciencia.13.26.7
- Mergili, M., Marchant Santiago, C. I., & Moreiras, S. M. (2015). Causas, características e impacto de los procesos de remoción en masa, en áreas contrastantes de la región Andina. *Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía*, 24(2), 113-131. doi:10.15446/rcdg.v24n2.50211
- Mora P., L., Bonifaz, R., & López Martínez, R. (2016). Unidades geomorfológicas de la cuenca del Río Grande de Comitán, Lagos de Montebello, Chiapas-México. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 68(3), 377-394.
- Morgan, R. (1997). *Erosión y conservación del suelo*. Ediciones Mundi-Prensa.
- Muñoz Jiménez, J. (1995). *Geomorfología General*. Madrid: Síntesis.
- Oblitas Cruz, J. (2018). *Guía de investigación científica v (2)*. Universidad Privada del Norte.
- Ormaetxea, O., Barroso, J. C., & Sáenz de Olazagoitia, A. (2017). Caracterización geomorfológica y análisis de la evolución del deslizamiento rotacional de Andoin, Sierra de Entzia (País Vasco). *Cuaternario y Geomorfología*, 31(3-4), 7-26. doi:<https://doi.org/10.17735/cyg.v31i3-4.55240>
- Peña Monné, J. L., Lozano Tena, V., Sánchez Fabre, M., Chueca Cía, J., Julián Andrés, A., Pellicer Corellano, F., . . . Sancho Marcén, C. (1997). *Cartografía geomorfológica básica y aplicada*. Logroño: Geoforma Ediciones.

- Robertson, K. G., Jaramillo, O., & Castiblanco, M. A. (2013). *Guía metodológica para la elaboración de mapas geomorfológicos a escala 1:100 000*. Instituto de hidrología, meteorología y estudios ambientales - IDEAM, Bogota.
- Rodríguez Infante, C. A. (2000). *Geomorfología*. Institución Superior Mariano Moreno, Bogota.
- Rodríguez Valdivia, A., Albornoz Espinoza, C., & Tapia Tosetti, A. (2017). Geomorfología del área de Putre, andes del norte de Chile: Acción Volcánica y climática en su modelado. *Diálogo Andino*(54), 7-20.
- Rodríguez, A., Tapía, A., & Albornoz, C. (2014). Susceptibilidad de movimientos en masa en el Valle de Socoroma, Precordillera Andina de Arica y Parinacota. *Diálogo Andino*(44), 25-39.
- Rojas Caballero, D. R., & Paredes Ángeles, J. (2015). *Compendio de geología general*. Lima: Macro.
- Salinas Jasso, J., Salinas Jasso, R. A., Montalvo Arrieta, J. C., & Alva Niño, E. (2017). Inventario de movimientos en masa en el sector sur de la Saliente de Monterrey. Caso de estudio: cañón Santa Rosa, Nuevo León, noreste de México. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 34(3), 182-198. doi:<http://dx.doi.org/10.22201/cgeo.20072902e.2017.3.459>
- Sepúlveda, S. A., & Petley, D. N. (2015). Regional trends and controlling factors of fatal landslides in Latin America and the Caribbean. *Natural Hazards and Earth System*(15), 1821-1833. doi:10.5194/nhess-15-1821-2015
- Sosa Senticala, N. L. (2016). *Análisis de susceptibilidad a los peligros geológicos por movimientos en masa-Poblados de Pampamarca y Acobamba, Región Huánuco*. Universidad Nacional del Altiplano, Huánuco.
- Vergara Tacilla, L. M. (2017). *Caracterización de las unidades geomorfológicas en el distrito de Jesús, Cajamarca*. Universidad Nacional de Cajamarca, Cajamarca.
- Worschitz, R. O. (2016). *Indicadores Geomorfológicos*. Universidad Nacional del Mar del Plata, Buenos Aires.



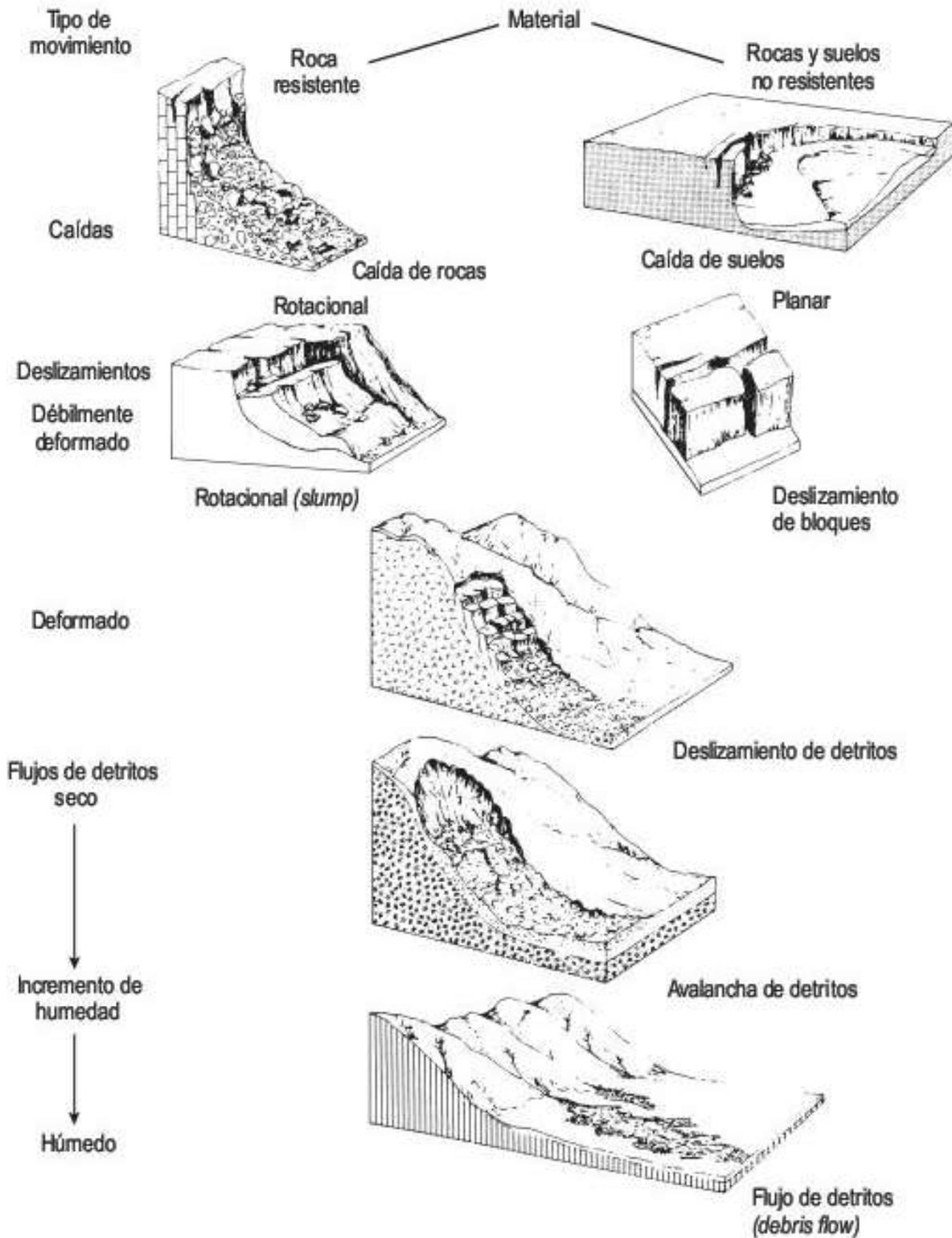


Figura 48: Anexo N°2 Principales geometrías de los movimientos de masa. Fuente: Varnes 1958

FICHA PARA MOVIMIENTOS DE MASA													
<b>Estudiante</b>	Claudio Sebastian Canto Silva					<b>Institución</b>	Universidad Privada del Norte - Facultad de Ingeniería - Carrera de Ingeniería Geológica					<b>Fecha</b>	
Información general													
Localización geografica										Identificación			
Por división Política					Coordenadas geograficas					N° de movimiento de masa			
Departamento		Provincia		Distrito		Norte		Este		Cota			
Clasificación del movimiento													
Tipo de movimiento	Subtipo de movimiento				Material Geologico		Humedad		Deformación del terreno				
Deslizamiento	Desliz. Rotacional	Flujo laháricos	Avalancha de rocas		Roca		Mojado		Leve				
Caida	Desliz. Traslacional	Soliflucción	Vuelco de bloques		Detritos		Muy húmedo		Media				
Vuelcos	Desliz. Bloques	Flujo de tierra	Vuelco por flexión		Suelo		Húmedo		Severa				
Flujo	Desliz. Rocosos	Flujo de barro	Caida de rocas		Barro		Ligeramente seco						
Propagación lateral	Desliz. Detritos	Propag. lat. en rocas	Caida de tierra		Turba		Seco						
Reptación	Desliz. colada de barro	Propag. lat. en suelos	Otro:										
Avalanchas	Flujo de detritos	Sackung											
Causas del movimiento										Geoforma			
Sismos	Socavación de margenes de río				Problemas en el mantenimiento del drenaje								
Lluvias	Erosión fluvial				Deforestación								
Erupción volcanica	Cargas en la corona del talud				Vibración producida por actividades del hombre								
Viento	Erosión subterránea (tubificación, disolución)				Minería								
Rompimiento de presas	Irrigación				Escape de agua de las tuberías								
Uso y cubierta del suelo						Daños							
Uso del suelo (%)			Cubierta del suelo			Economicos		Infraestructura		Ambientales			
Sin uso	Zona arqueologica	Vegetación	Bosque/Selva		Agricultura		Edificios		Aguas				
Recreación	Áreas protegidas	Cultivos	Matorrales		Ganadería		Carreteras		Parques				
Zona industrial	Minería	Cuerpo de agua	Construcciones		Cultivos		Puentes						
Agrícola	Ganadería	Pastos	Sin cubierta		Transporte de pasajeros y cargas		Obras		Bosques				
Vías	Vivienda						Acueducto						
Anotaciones													

Figura 49: Anexo N°3 Formato para el recojo de datos de movimientos de masa. Fuente: IDEAM. Elaboración: propia

FICHA PARA UNIDADES GEOMORFOLOGICAS												
<b>Institución</b>		Universidad Privada del Norte - Facultad de Ingeniería - Carrera de Ingeniería Geológica				<b>Estudiante</b>			Claudio Sebastian Canto Silva		<b>Fecha</b>	
<b>Información general</b>										<b>Identificación</b>		
<b>Unidad geomorfológica</b>		<b>Ambiente geomorfológico</b>						<b>N° de unidad geomorfológica</b>				
		Ambiente fluvial		Ambiente denudacional		Ambiente volcanico		Ambiente morfoestructural				
<b>Localización geografica</b>										<b>Codigo de unidad geomorfológica</b>		
Por division Politica					Coordenadas geograficas							
<b>Departamento</b>		<b>Provincia</b>		<b>Distrito</b>		<b>Norte</b>		<b>Este</b>		<b>Cota</b>		
<b>Pendiente aproximado de la geoforma</b>							<b>Cobertura Vegetal</b>					
Plana o suavemente inclinada (0°-5°)	Inclinada (6°-10°)	Muy inclinada (11°-15°)	Abrupta (16°-20°)	Muy abrupta (21°-30°)	Escarpada (31°-45°)	Muy escarpada (> 45°)						
<b>Longitud de la ladera (metros)</b>	< 50 m	50-250 m	250-500 m	500-1000 m	1000-2500 m	> 2500 m						
<b>Condiciones de la roca</b>				<b>Litología</b>								
Intacta	Levemente fracturada	Fracturada	Muy fracturada									
<b>Erosion hidrica</b>												
No representativa	Laminar	Surcos	Cárcavas									
<b>Evidencias de procesos de movimientos de masas</b>												
Inactivo: no presenta movimientos en la actualidad				Poco activo: presenta pocos movimientos				Activo: Presenta movimientos actualmente, con movimientos primarios y reactivaciones				
<b>Observaciones</b>												

Figura 50: Anexo N°4 Formato para el recojo de información de unidades geomorfológicas. Fuente: IDEAM. Elaboración: propia

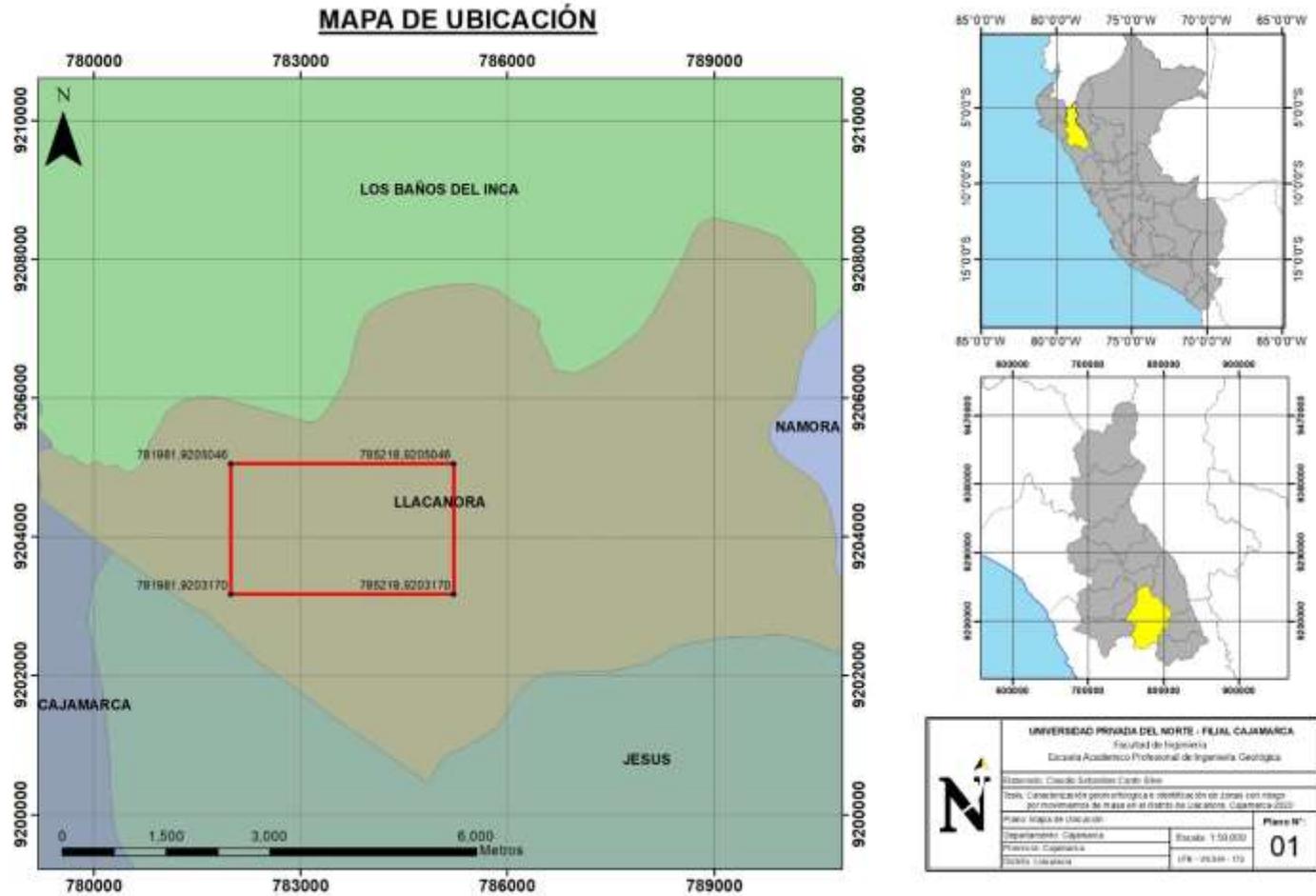


Figura 51: Anexo N°5 Mapa de ubicación de la zona de estudio. Fuente: propia

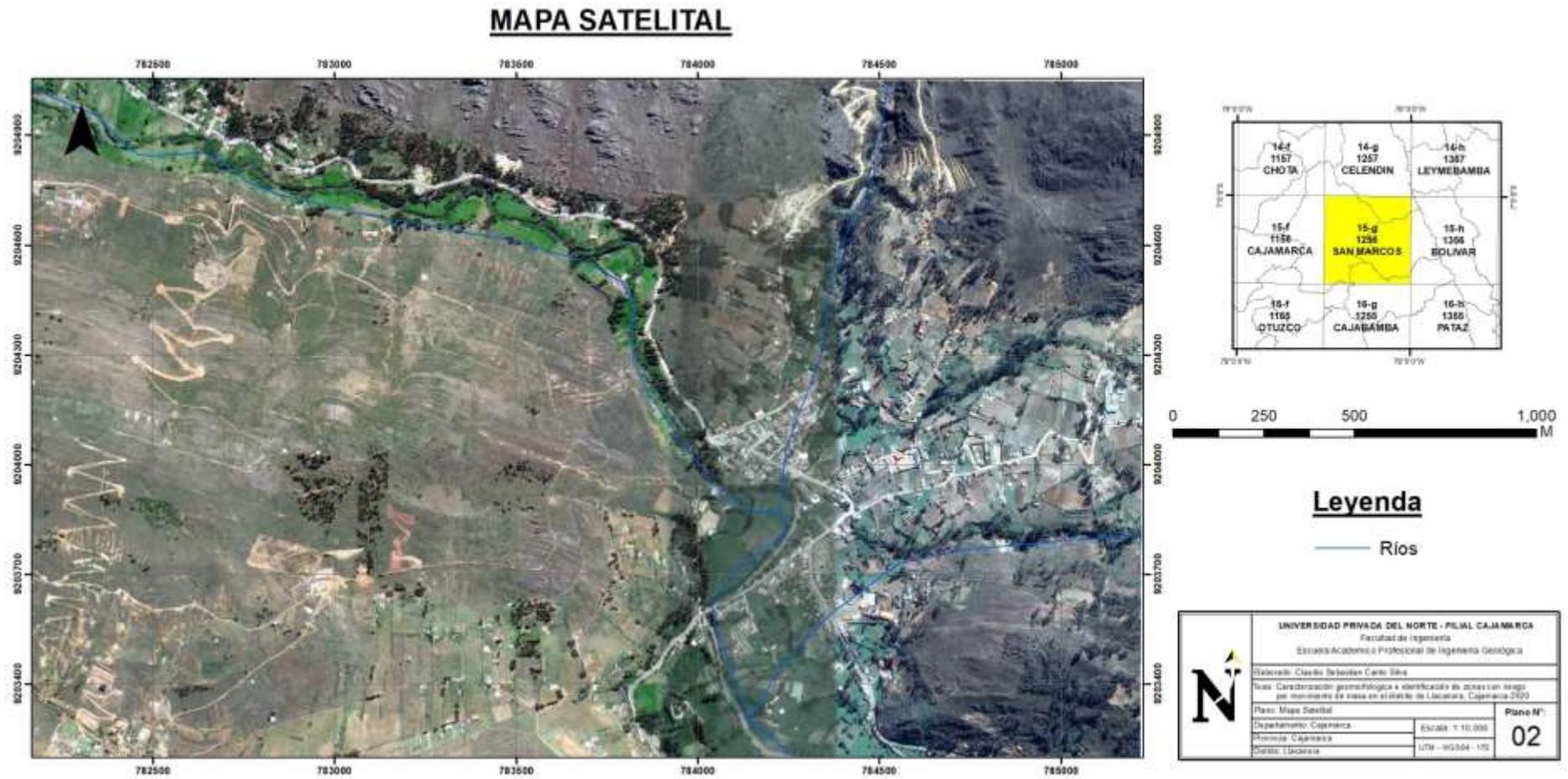


Figura 52: Anexo N°6 Mapa satelital de la zona de estudio. Fuente: propia

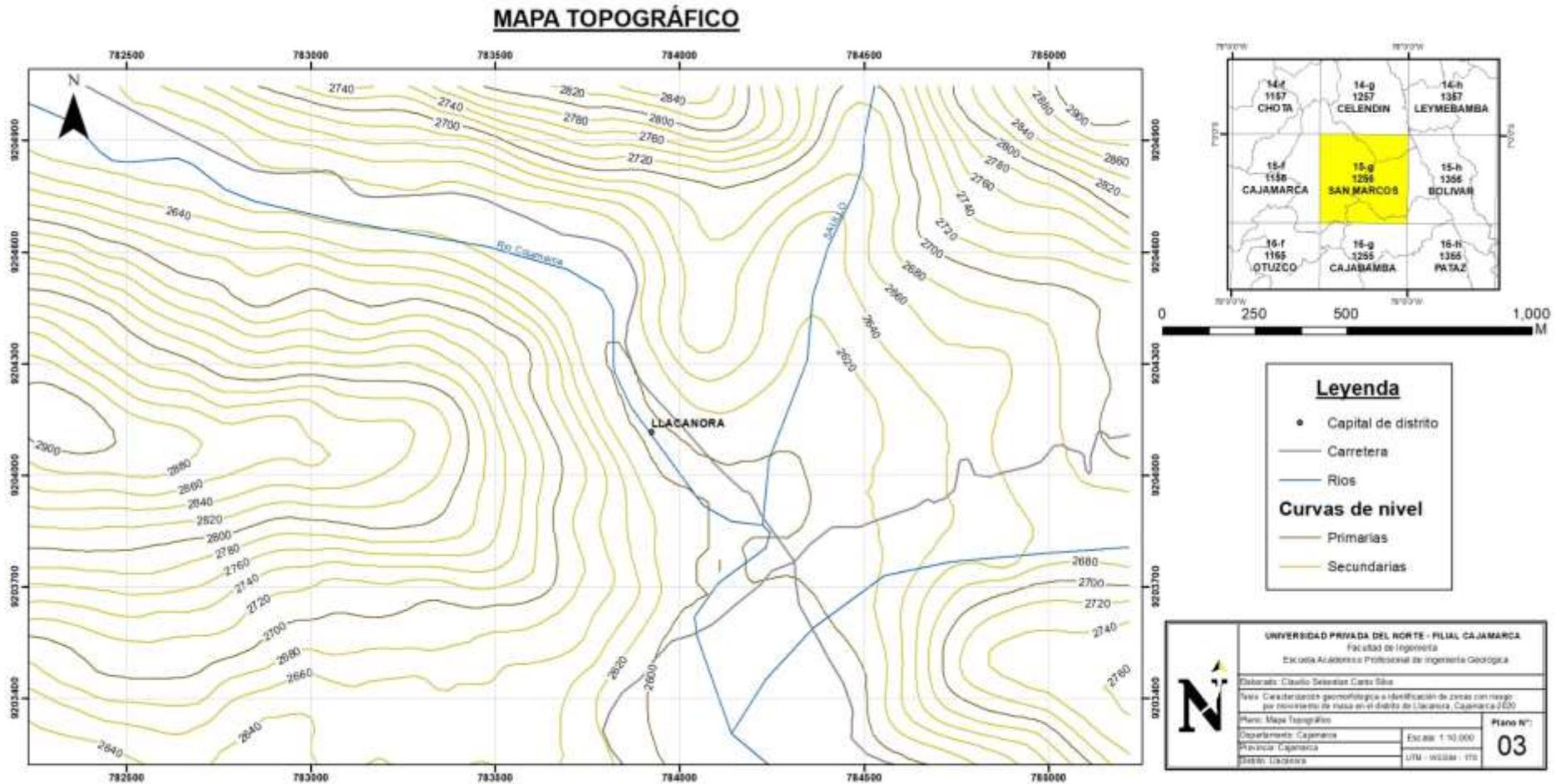


Figura 53: Anexo N°7 Mapa topográfico de la zona de estudio. Fuente: propia

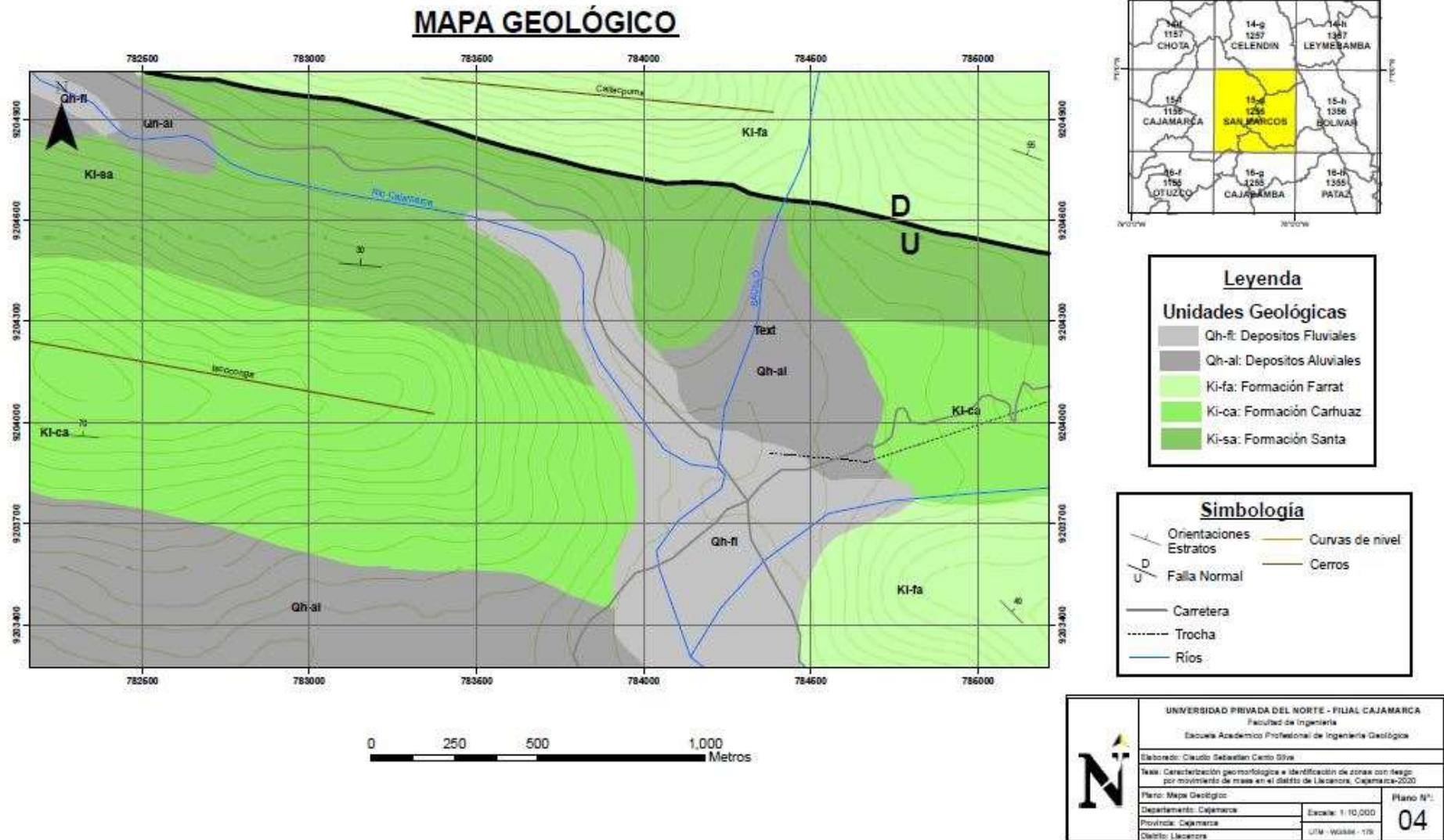


Figura 54: Anexo N°8 Mapa geológico de la zona de estudio. Fuente: propia

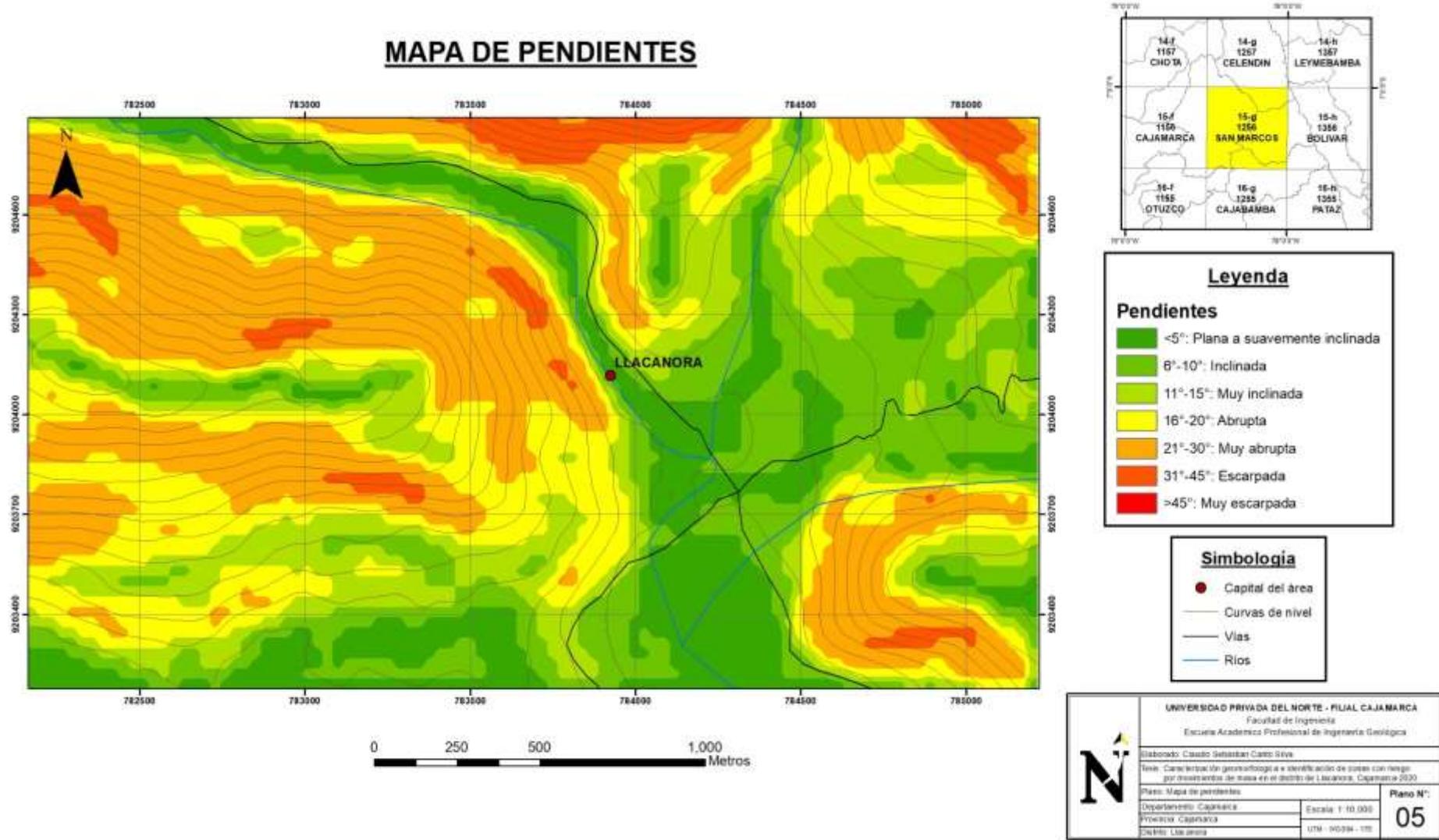
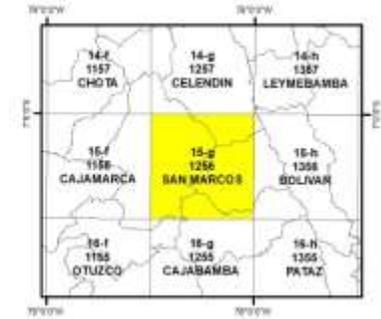
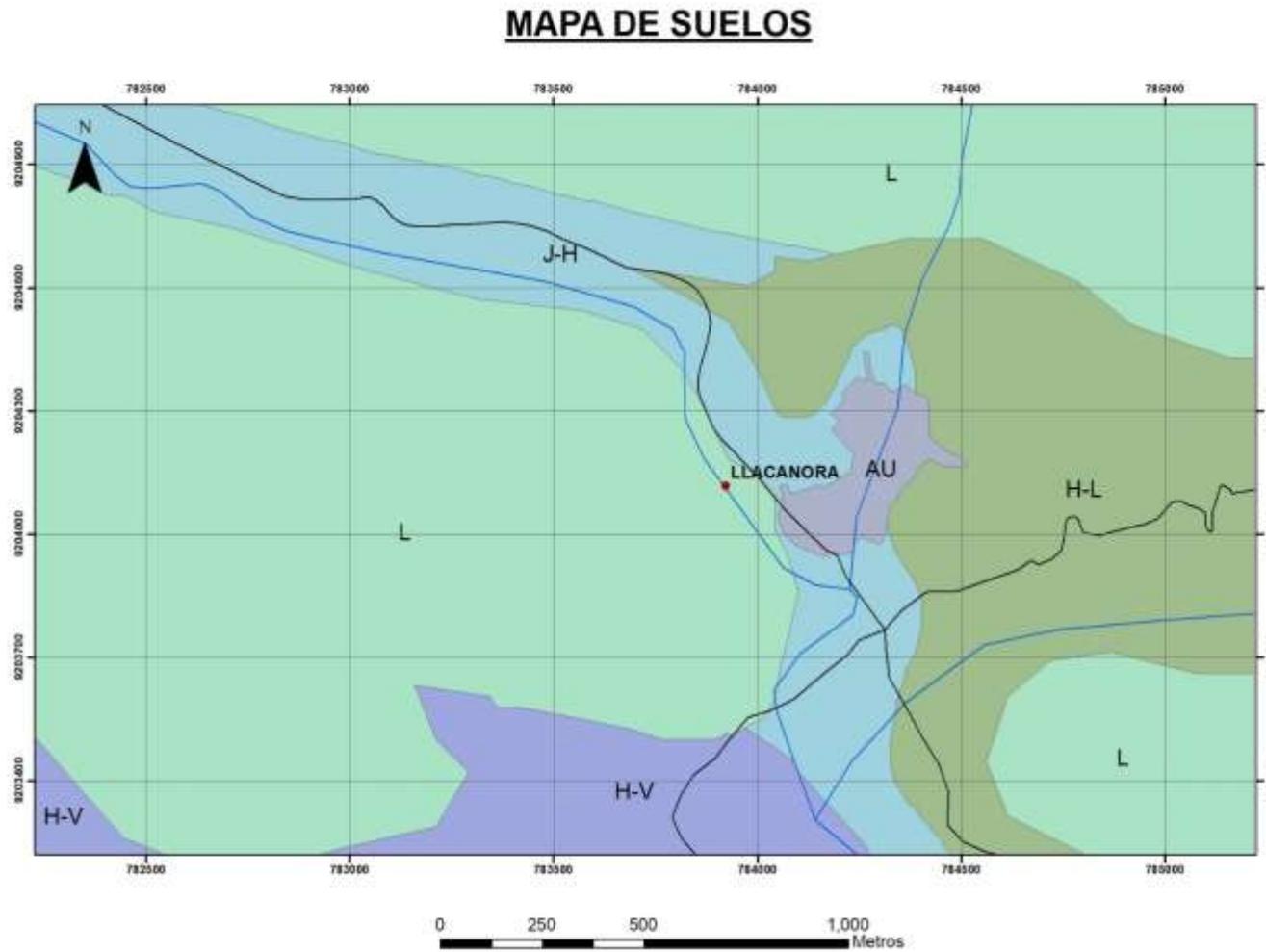


Figura 55: Anexo N°9 Mapa de pendientes de la zona de estudio. Fuente: propia



#### Leyenda

##### Clases de suelos

Segun datos del Geocatmin

- AU: Casco urbano
- J-H: Fluvisol-Phaeozem
- L: Leptosol
- H-L: Phaeozem-Leptosol
- H-V: Phaeozem-Vertisol

#### Simbología

- Capital del area
- Vías
- Ríos

	UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE - FILIAL CAJAMARCA		Plano N°:
	Facultad de Ingeniería Escuela Académica Profesional de Ingeniería Geológica		
Elaborado: Claudio Sebastián Canto Silva			
Tema: Caracterización geomorfológica e identificación de zonas con riesgo por movimiento de masa en el distrito de Llacanora, Cajamarca-2020			
Plano: Mapa de suelos			
Departamento: Cajamarca		Escala: 1:10,000	
Provincia: Cajamarca		UTM: WGS84 - 18Q	
Distrito: Llacanora			

Figura 56: Anexo N°10 Mapa de suelos de la zona de estudio. Fuente: propia

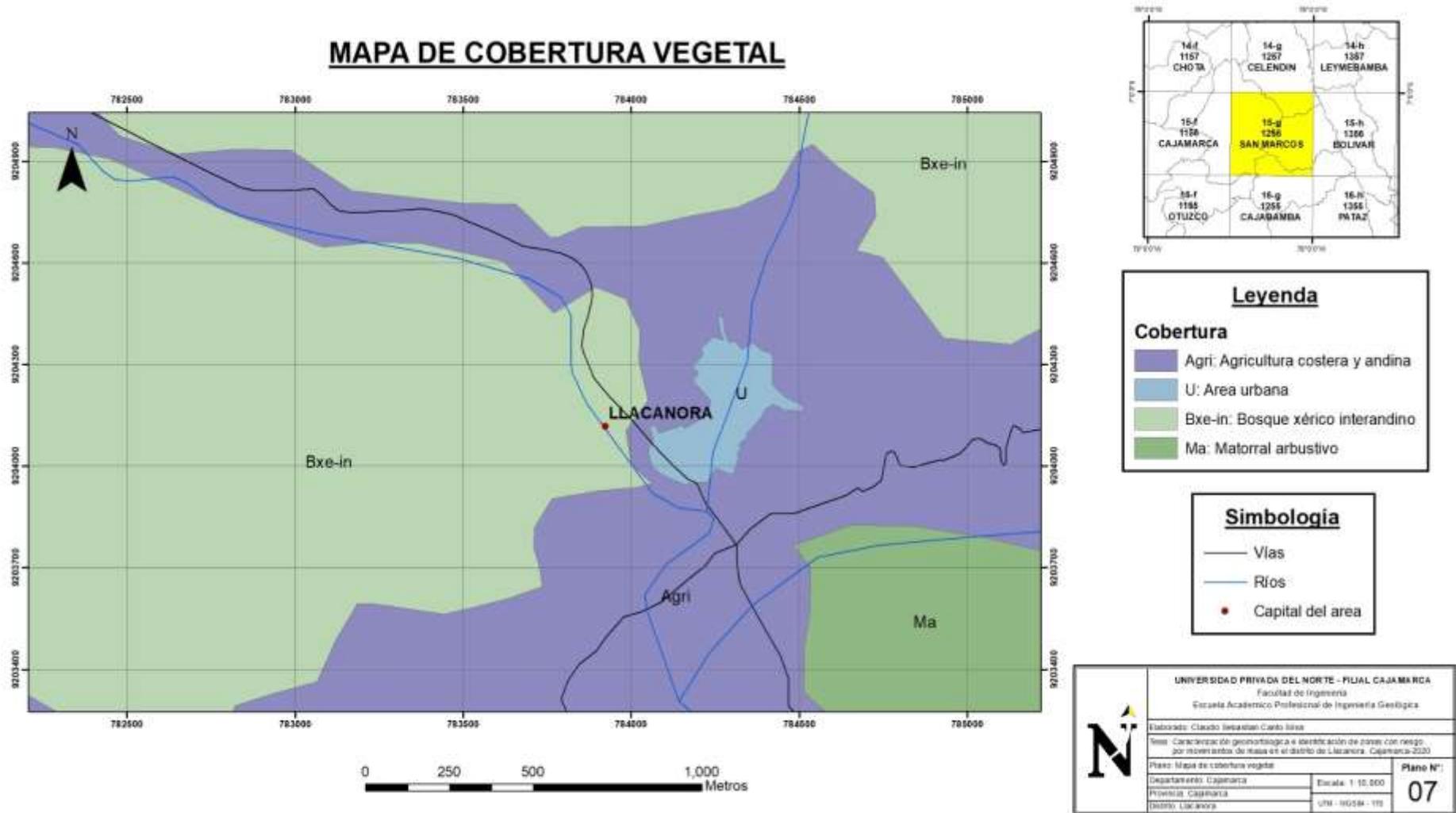


Figura 57: Anexo N°11 Mapa de cobertura vegetal de la zona de estudio. Fuente: propia

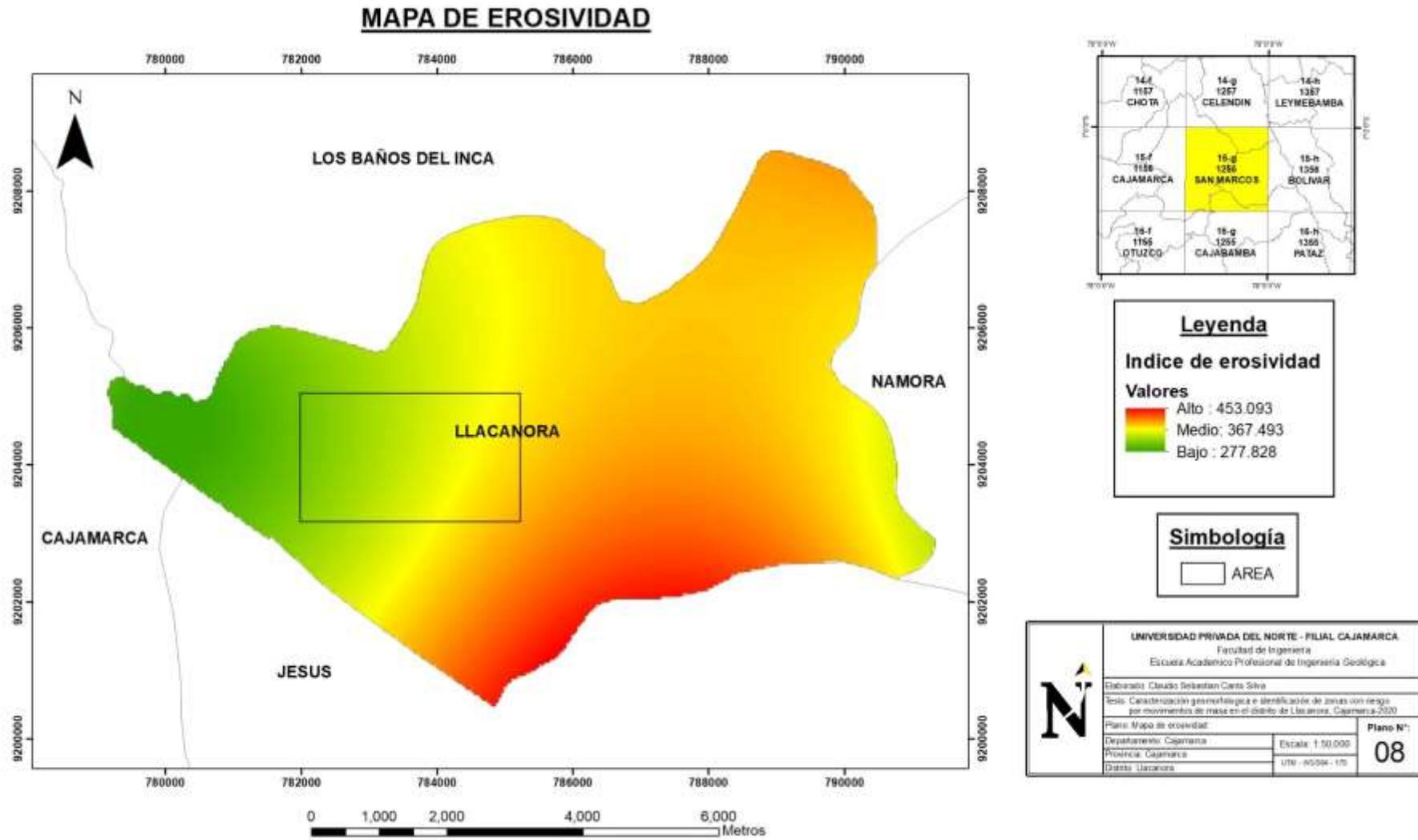


Figura 58: Anexo N°12 Mapa de erosividad de la zona de estudio. Fuente: propia

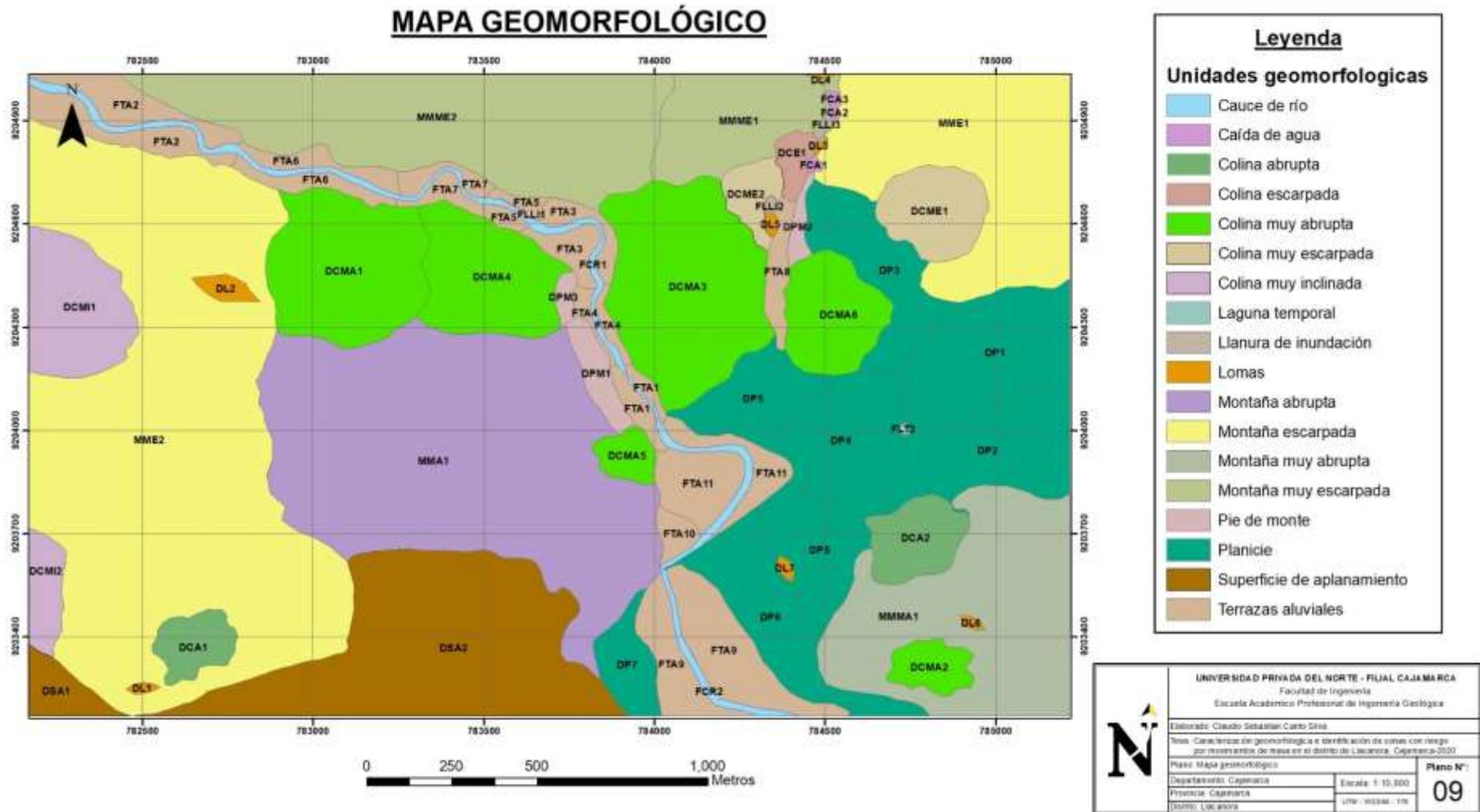
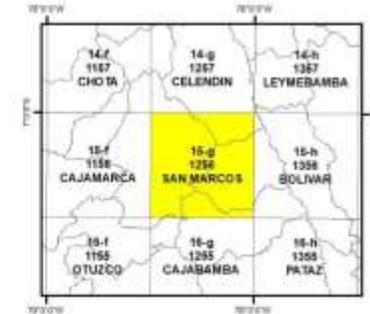
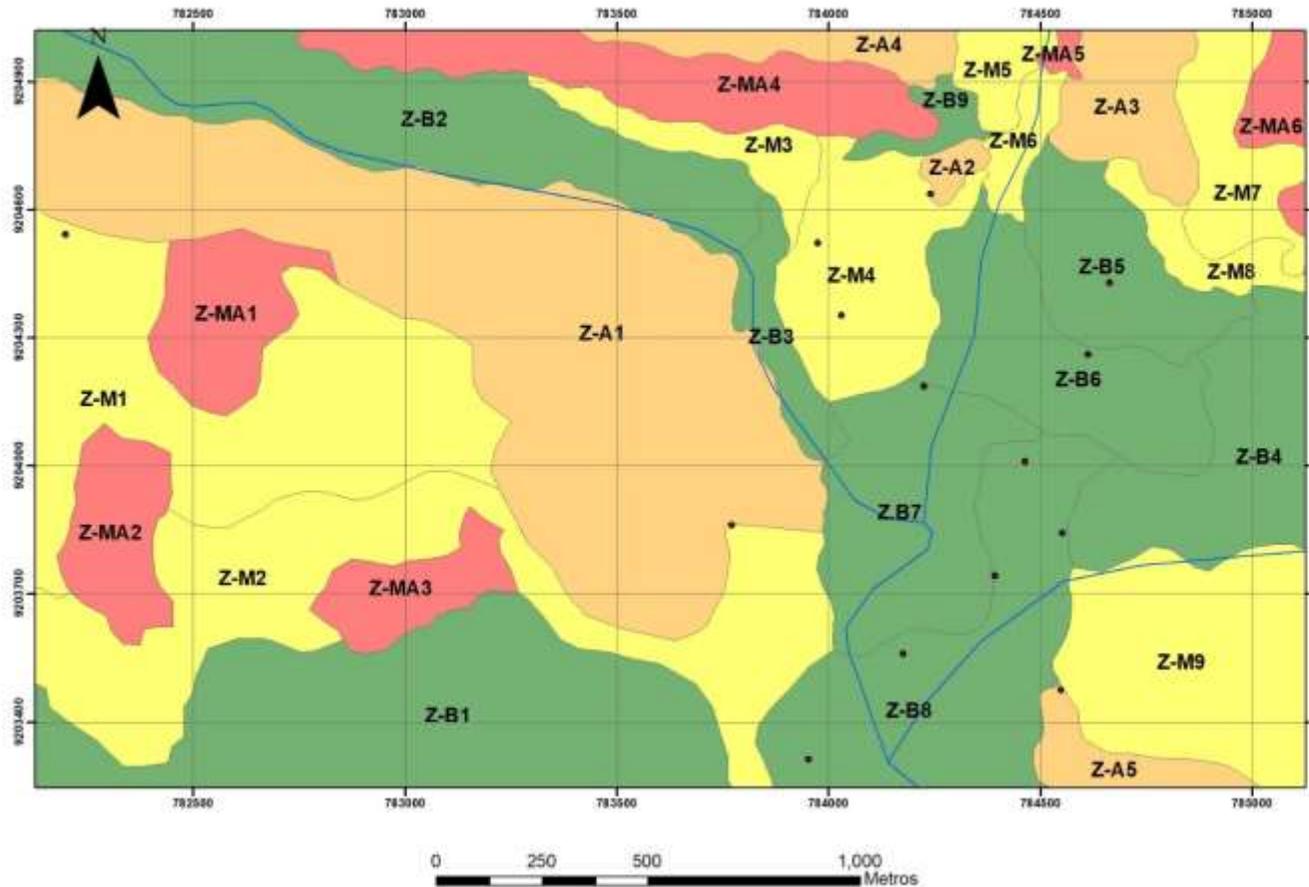


Figura 59: Anexo N°13 Mapa geomorfológico de la zona de estudio. Fuente: propia

**MAPA DE SUSCEPTIBILIDAD A MOVIMIENTOS DE MASA**



**Leyenda**

**Susceptibilidad**

- Muy Alto
- Alto
- Moderado
- Bajo

**Simbología**

- Centros poblados
- Ríos

	<b>UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE - FILIAL CAJAMARCA</b>		<b>Plano N°:</b> <b>10</b>
	Facultad de Ingeniería Escuela Académico Profesional de Ingeniería Geológica		
Elaborado: Claudio Sebastián Canto Silva			
Tema: Caracterización geomorfológica e identificación de zonas con riesgo por movimientos de masa en el distrito de Llacanora, Cajamarca-2020			
Plano: Mapa de susceptibilidad a movimientos de masa			Escala: 1:10,000
Departamento: Cajamarca		UTM - UTM - 18E	
Provincia: Cajamarca			
Distrito: Llacanora			

Figura 60: Anexo N°14 Mapa susceptibilidad a movimientos masa. Fuente: propia