



Geomorphological characterization and
identification of areas at risk from mass
movements in the Llacanora district, Cajamarca,
2020

Claudio S. Canto Silva and Daniel A. Alva Huamán

EasyChair preprints are intended for rapid
dissemination of research results and are
integrated with the rest of EasyChair.

June 23, 2021

Geomorphological characterization and identification of areas at risk from mass movements in the Llacanora district, Cajamarca, 2020

Claudio Canto.¹, Daniel Alva, Ing¹

¹ Universidad Privada del Norte (UPN), Cajamarca, Perú. claudiocanto1999@yahoo.com, daniel.alva@upn.edu.pe

Abstract– Mass movements are a great problem that has affected a large number of people over the years, causing isolation, loss of material and, unfortunately, human goods. Knowing the various forms that landscapes have allows us to develop a better territorial planning, therefore, the aforementioned damages can be avoided. Therefore, the objective of this research is to locate the areas at risk of mass movements in Llacanora district through a geomorphological characterization. In the methodology part, two techniques were used, field observation was the first, for which various data collection sheets were used; documentary analysis was the second, in which a large amount of information from works related to the subject was reviewed. The entire investigation was divided into three very important stages, the pre-field work, data collection and the final stage of cabinet. A total of 61 geomorphological units were found grouped into three main environments based on their origin, 33 of denudational environment; 6 of morphostructural environment and 22 of fluvial environment. On the other hand, 20 mass movements of falling, crawling and sliding type were identified. For the classification of susceptible areas, the geological material, the inclination of the slope and the type of geoform were mainly taken into consideration, obtaining a total of 29 areas at risk, classified as very high, high, moderate and low risk.

Keywords- Geomorphology, mass movements, areas at risk.

Caracterización geomorfológica e identificación de zonas con riesgo por movimientos de masa en el distrito de Llacanora, Cajamarca, 2020

Claudio Canto.¹, Daniel Alva, Ing¹

¹ Universidad Privada del Norte (UPN), Cajamarca, Perú. claudiocanto1999@yahoo.com, daniel.alva@upn.edu.pe

Resumen– Los movimientos de masa son un gran problema que afecta a un gran número de personas a lo largo de los años, produciendo incomunicación, pérdida de bienes materiales y lastimosamente también humanas. Mencionar que el conocer las diversas formas que tienen los paisajes nos permiten hacer una mejor planificación territorial, por consiguiente, se pueden evitar dichos daños mencionados. Por ello el objetivo de la presente investigación es localizar las zonas con riesgo por movimientos de masa en el distrito de Llacanora mediante una caracterización geomorfológica. En la parte de metodología se utilizó dos técnicas, la primera es la observación en campo, para la cual se utilizaron diversas fichas de recolección de datos, y la segunda es el análisis documental donde se revisó una gran cantidad de información de trabajos relacionados al tema. Toda la investigación se dividió en tres etapas muy importantes, el trabajo precampo, recolección de datos y etapa final de gabinete. Se encontraron un total de 61 unidades geomorfológicas agrupadas en tres ambientes principales basándose en su origen, 33 de ambiente denudacional; 6 de ambiente morfoestructural y 22 de ambiente fluvial. Por otra parte, se identificaron 20 movimientos de masa de tipo caída, reptación y deslizamiento. Para la clasificación de zonas susceptibles se tomó en consideración principalmente el material geológico, la inclinación de la pendiente y el tipo de geoforma, obteniéndose un total de 29 zonas con riesgo, catalogadas en riesgo muy alto, alto, moderado y bajo.

Palabras clave: Geomorfología, movimientos de masa, zonas con riesgo.

I. INTRODUCCIÓN

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, sumando que son una amenaza para las vías de comunicación [1].

En el periodo de 2004-2013 se registraron 611 movimientos de masa los cuales produjeron 11 631 muertes, en América Latina y el Caribe. En las zonas urbanas la presencia de establecimientos informales tiene una gran influencia en el número total de víctimas demostrando el efecto de la pobreza y marginación [2]. 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 [3].

Los movimientos de masa son un término geológico que abarca varios movimientos ladera abajo de muchas partículas finas y de rocas por el efecto que la gravedad ejerce sobre estos. Se puede decir que uno de las clases más frecuentes de movimientos de masa que se producen en la tierra son los deslizamientos, sin embargo, existen muchos otros como lo son las avalanchas, caídas de rocas, reptación, flujos de detritos entre otros [4]. Los factores que inciden en los movimientos de masa son: tipo de roca o suelo, las estructuras geológicas que pueden ser fallas; diaclasas; pliegues; estratificación, sismos, clima (temperatura, vientos, presión), la acción del agua (lluvias, aumento del nivel freático, ríos, la saturación de los materiales por la acumulación de agua) que aumenta la efectividad de la gravedad y facilita su trabajo, 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) [5].

El termino Geomorfología quiere decir el conocimiento racional de las formas de la Tierra, hoy en día es una materia que tiene como objeto el reconocimiento, la clasificación y la descripción de las diversas configuraciones que tiene la superficie externa de la litosfera, cuya combinación resulta el relieve terrestre [6].

Los indicadores geomorfológicos los cuales son: la morfografía la cual consiste en la descripción cualitativa del relieve, la configuración geométrica de las geoformas, es esencialmente descriptiva; 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 [7].

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 [8].

La erosión consiste en una pérdida continua de los diversos materiales que integran los suelos, las partículas son arrastradas después de haber sido disgregadas o arrancadas 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 [9].

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 se realizó esta investigación con el fin de actualizar la información geomorfológica y la de los movimientos de masa presentes y que esta sirva como base para futuras investigaciones relacionadas al tema mencionado, además de que será una fuente de información a los pobladores de los lugares cercanos.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

A. Trabajo precampo

Se realizó una indagación bibliográfica extensa de toda la información relacionada al tema geomorfológico y de movimientos de masa. Además, se elaboraron diversos mapas topográficos, satelitales, geológicos y de ubicación de la zona a estudiar. También se hicieron las dos fichas de recolección de datos, una para la toma de unidades geomorfológicas y la otra para los movimientos de masa. Por último se hizo la delimitación de la zona de estudio, la cual está representada por las siguientes coordenadas geográficas UTM: (9205046;781981), (9205046;785218), (9203170;785218), (9203170;781981), en la Figura 1 podemos observar el área de estudio.

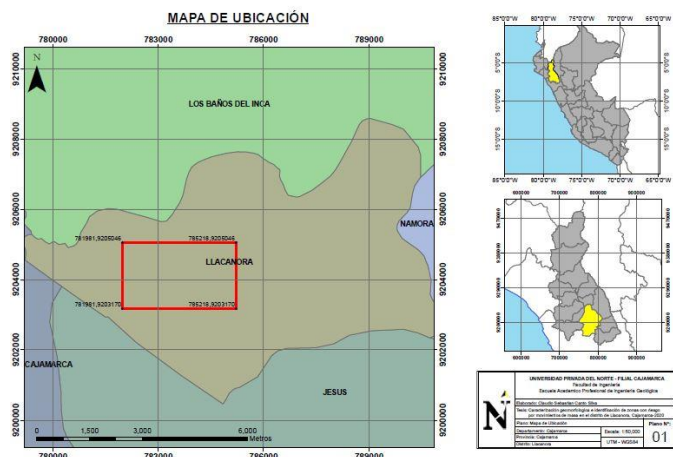


Figura 1: Ubicación del área de estudio.

B. Recolección de los datos

Esta etapa es la más importante del estudio, pues se anotarán todos los datos necesarios para después hacer la clasificación de las zonas susceptibles. Primero se hizo uso de

la ficha para unidades geomorfológicas en donde se consideraron datos como la inclinación de la pendiente; la longitud de la ladera; condiciones de la roca; erosión hídrica; la localización geográfica y política; evidencias de procesos de movimientos de masa; y sus coordenadas. Después se utilizó la ficha de movimientos de masa en la cual se anotaron datos de tipo y subtipo de movimiento; causas del movimiento; uso y cubierta del suelo; material geológico; humedad; deformación del terreno; daños causados; y sus respectivas coordenadas. Usando como técnica la observación directa en campo, y como instrumentos de recolección de datos las fichas de campo tanto para los movimientos de masa y las unidades geomorfológicas. Cabe mencionar que para hacer el respectivo cartografiado geológico se utilizaron diversos materiales esenciales como la picota; lupa; escalímetro; GPS; flexómetro y brújula tipo Brunton.

C. Etapa final de gabinete

Con la información obtenida, se procedió a analizar los datos, para luego hacer la elaboración de todos los mapas con la ayuda de distintos softwares como el ArcGIS y QGIS, sumando que se hicieron tablas y gráficos para sintetizar mejor la información obtenida en las salidas de campo como el total de ambientes geomorfológicos; unidades geomorfológicas; en número de movimientos de masa de acuerdo al tipo, entre otros. Por otro lado, se hizo un análisis de la erosividad causada por la lluvia, utilizando una ecuación que relaciona el valor del factor R (valor anual promedio del índice de erosividad de las lluvias) y del IMF (índice modificado de Fournier). Finalmente se interpretaron los resultados obtenidos para poder hacer la identificación de las zonas con riesgo por movimientos de masa.

II. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A. EROSIVIDAD

Si hablamos de la erosividad causada por la lluvia podemos decir que es una agresividad sobre el suelo, representa la energía con que las gotas de las precipitaciones rompen los agregados superficiales. 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: $IMF = \sum_{i=1}^{12} \frac{P_i^2}{P_t}$, posteriormente se buscó la relación de R con el IMF, la cual nos da la siguiente expresión: $R = 0.264 * IMF^{1.065}$.

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 de 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. Podemos observar estos datos en la Figura 2.

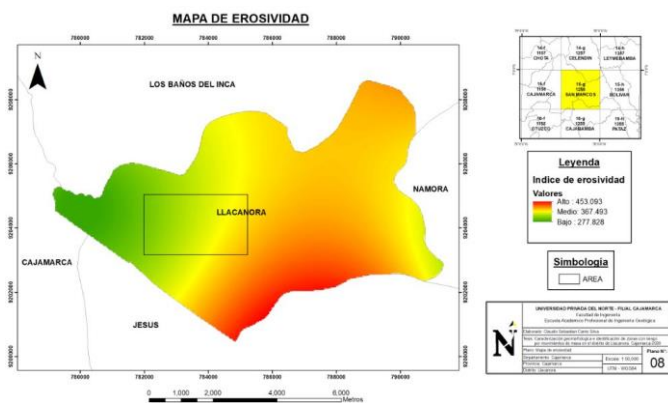


Figura 2: Erosividad de la zona.

B. GEOLOGÍA

En este estudio se han encontrado cinco unidades geológicas principales: Formación Farrat (Ki-fa), está en el cerro Callacpuma en los afloramientos de roca, la cual presenta grandes escarpes y areniscas cuarzosas de grano grueso. Formación Carhuaz (Ki-ca), se la halló en el cerro Isocongá, en la parte superior encontramos areniscas con lutitas de color gris oscuro. Formación Santa (Ki-sa), en la zona se caracteriza por presentar una intercalación de lutitas grisáceas y areniscas. Depósitos aluviales, en la zona se encontraron en una matriz de arcilla, donde los clastos son más angulosos con un tamaño entre los 5cm-25cm. Depósitos fluviales, localizados en las orillas del río Cajamarquino, los clastos son más redondeados con un tamaño entre 2cm-15cm. En la figura 3 se puede apreciar estas formaciones geológicas.

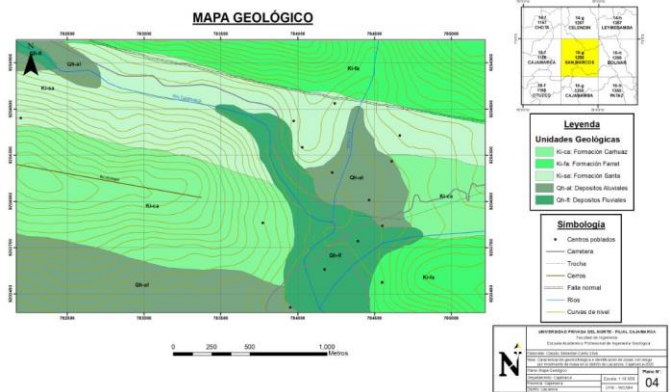


Figura 3: Geología de la zona

C. GEOMORFOLOGÍA

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. En la siguiente tabla se muestran todas las unidades geomorfológicas encontradas con sus respectivos códigos y coordenadas.

Tabla 1

Unidades geomorfológicas de la zona

Ambiente Geomorfológico	Nº 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
Morfoestructural	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

	25	Montaña muy escarpada	9204967	784547	2715	MMME1
	26	Montaña muy escarpada	9204877	784335	2790	MMME2
	27	Montaña abrupta	9204237	783798	2725	MMA1
	28	Montaña muy abrupta	9203531	784828	2756	MMMA1
	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
	38	Colina muy abrupta	9204203	784167	2640	DCMA3
Denudacional	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

En la tabla 1, las letras D, M y F al inicio de la unidad, hacen referencia al ambiente en el que fueron clasificados. En la figura 4 se muestra el mapa geomorfológico mostrando cada una de estas geoformas.

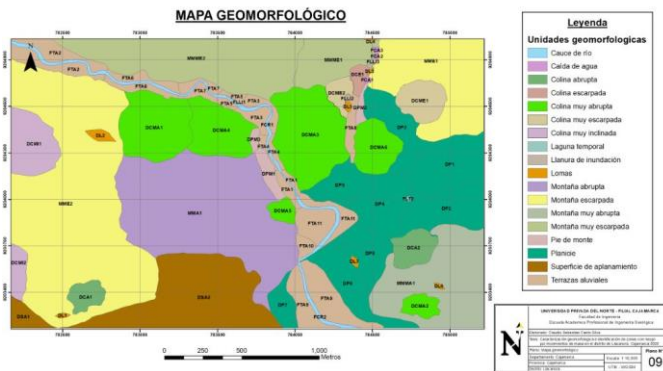


Figura 4: Mapa geomorfológico de la zona

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. Este ambiente se relaciona con zonas conocidas como bloques tectónicos de rocas sedimentarias plegadas y macizos ígneos – metamórficos sin geoformas marcadas de otros ambientes. Además, la litología como la estructura de deformación de las rocas incurren para favorecer una disección distintiva de los bloques elevados, las rocas ígneo – metamórficas por lo general originan pendientes semejantes en función de los sistemas de diaclasas y fallas geológicas [10].

El ambiente denudacional el cual abarca 247.85 hectáreas del total de la superficie, teniendo un total de 33 unidades geomorfológicas. La disección de los paisajes debido a los procesos exógenos se evidencia en procesos gravitatorios, erosivos e hídricos o una combinación de los tres factores mencionados. En condiciones secas, las formas erosivas en relación a la pérdida de suelo producen fenómenos de erosión en forma laminar, surcos y cárcavas. Si hablamos de condiciones húmedas facilitan la meteorización del subsuelo [10].

El ambiente fluvial el cual cubre un área de 57.96 hectáreas con un total de 22 unidades geomorfológicas. Este ambiente geomorfológico se caracteriza por la acción de las corrientes de agua y el transporte de sedimentos a lo largo de la superficie terrestre. Los causantes de lo mencionado son principalmente los ríos, estos se encargan de trasladar el agua a lo largo del sistema fluvial ocasionando procesos de acumulación y de erosión en función de su caudal, pendiente y carga de sedimentos [10]. En la tabla 2 se muestran estos datos:

Tabla 2

Ambiente y el área que ocupa

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

En las siguientes tablas se mostrarán las unidades geomorfológicas catalogadas por su ambiente, indicando su área, la cantidad y el porcentaje de terreno que ocupan en toda el área estudiada.

Tabla 3

Cantidad, porcentaje, área de unidades morfoestructurales

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

Como podemos apreciar en la tabla 3 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 4

Cantidad, porcentaje, área de unidades denudacionales

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

De la tabla 4, 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 5

Cantidad, porcentaje, área de unidades fluviales

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

De la tabla 5 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.

Por otro lado, los movimientos de masa que se han encontrado en el área de estudio, se mostraron clasificados en tipo y subtipo para poder visualizar de una mejor forma el movimiento más frecuente.

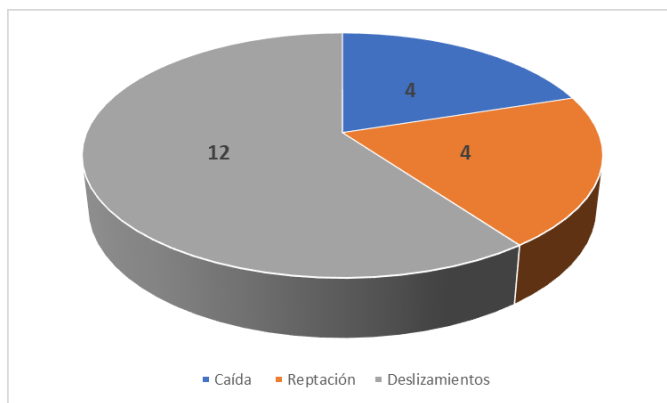


Figura 5. Cantidad de movimientos de masa según el tipo.

En la figura 5, 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.

En la figura 6, 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.

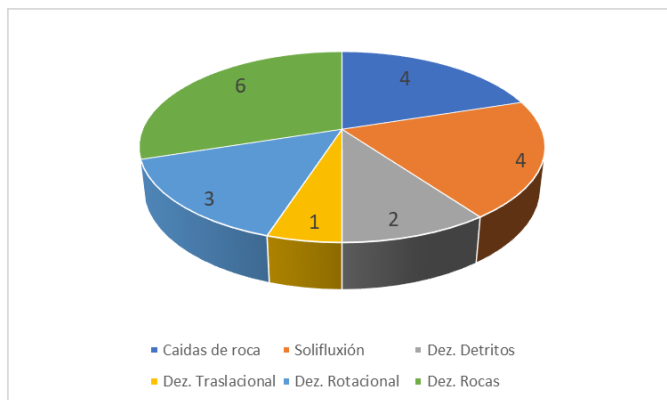


Figura 6. Cantidad de movimientos de masa según el subtipo.

En la tabla 6 se muestra el total de movimientos de masa encontrados en la zona, mostrando el tipo, subtipo, humedad, cota y sus respectivas coordenadas UTM.

Tabla 6

Movimientos de masa de la zona

Tipo de movimiento	Subtipo de movimiento	Nº de mov.	Humedad	Norte	Este	Cota
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. Detritos	11	Ligeramente seco	9203408	784483	2608
	Traslacional	12	Seco	9204708	782861	2639
	Rotacional	13	Seco	9204794	783258	2643
	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

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 Isoconga (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 Isoconga 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 Isoconga (formación Santa, Carhuaz) hay un centro

poblado “Tunascucho”; la segunda (Z-M2), también la tenemos en el cerro Isoconga 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). En la Figura 7 se muestran estas zonificaciones con sus respectivas abreviaturas.

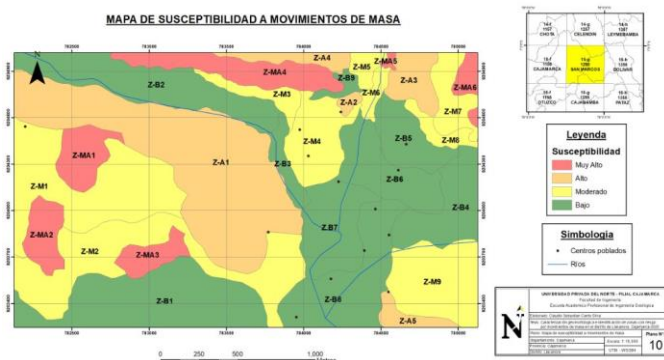


Figura 7. Zonas con susceptibilidad a movimientos de masa

En cuanto a los resultados relacionados con las zonas con susceptibilidad se dividieron en cuatro: muy alto, alto, moderado y bajo. Las zonas con un grado muy alto son porque las pendientes son muy pronunciadas teniendo valores superiores a los 45°, además se han hecho muchas construcciones 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°-38°, 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°, 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 serían en las épocas de lluvia, por el aumento de las caudales de los ríos y quebradas, pudiendo inundar las áreas aledañas.

[8] 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, [11] y [12] nos manifiestan 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.

IV. CONCLUSIONES

El plano geomorfológico desarrollado ha permitido hacer una delimitación de todas unidades geomorfológicas encontradas en la zona de estudio ubicado en Llacanora, basándose en sus pendientes, material geológico, estado de las rocas y de la erosión hídrica. Además, es de gran utilidad para conocer de manera más detallada la evolución del paisaje.

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.

Se encontraron 61 unidades geomorfológicas, clasificadas en tres ambientes geomorfológicos: 6 unidades morfoestructurales; 33 unidades denudacionales y 22 unidades fluviales, distribuidas en toda la zona de estudio. Dando a entender que el ambiente más predominante es el morfoestructural con un 49.84% y el menos representativo es el ambiente fluvial con un 9.52%.

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.

Por último, agregamos que los resultados fueron presentados a las autoridades del distrito de Llacanora. Ellos mencionaron que tendrán en consideración el estado de las geoformas y de las zonas con vulnerabilidad en especial las que tienen un grado “alto” y “muy alto”, nos mencionaron que trataran de ver si se podría hacer una reubicación de las viviendas de estas zonas, también se programarían algunas charlas con los habitantes para explicar los riesgos que se pueden producir y que tomen más conciencia de los lugares en las que hacen sus construcciones.

AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo se ejecutó en la Universidad Privada del Norte (UPN).

REFERENCIAS

- [1] 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
- [2] 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
- [3] GFDRR. (2012). Peru - Disaster risk management in Latin America and the Caribbean region : GFDRR country notes. Banco Mundial.
- [4] McEwen, A., & Chuang, F. (2011). HIRISE. Obtenido de Tema científico: Movimiento en masa: <https://www.uahirise.org/es/temas/mass.php>
- [5] Rojas Caballero, D. R., & Paredes Ángeles, J. (2015). Compendio de geología general. Lima: Macro.
- [6] Muñoz Jiménez, J. (1995). Geomorfología General. Madrid: Síntesis.
- [7] Worschitz, R. O. (2016). Indicadores Geomorfológicos. Universidad Nacional del Mar del Plata, Buenos Aires.
- [8] 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
- [9] Morgan, R. (1997). Erosión y conservación del suelo. Ediciones Mundi-Prensa.
- [10] 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, Bogotá.
- [11] 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
- [12] 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