



Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Universidad del Perú. Decana de América

Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica

Escuela Profesional de Ingeniería Geológica

**Movimientos en masa y su grado de susceptibilidad en la
zona turística Millpu del distrito de Huancaraylla en
Ayacucho**

TESIS

Para optar el Título Profesional de Ingeniero Geólogo

AUTOR

Mónica Vanessa VEGA AYALA

ASESOR

Pedro Antonio OLIVARES BALLENA

Lima, Perú

2023



Reconocimiento - No Comercial - Compartir Igual - Sin restricciones adicionales

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Usted puede distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir del documento original de modo no comercial, siempre y cuando se dé crédito al autor del documento y se licencien las nuevas creaciones bajo las mismas condiciones. No se permite aplicar términos legales o medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros a hacer cualquier cosa que permita esta licencia.

Referencia bibliográfica

Vega, M. (2023). *Movimientos en masa y su grado de susceptibilidad en la zona turística Millpu del distrito de Huancaraylla en Ayacucho*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica, Escuela Profesional de Ingeniería Geológica]. Repositorio institucional Cybertesis UNMSM.

Metadatos complementarios

Datos de autor	
Nombres y apellidos	Mónica Vanessa Vega Ayala
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	70050069
URL de ORCID	https://orcid.org/0009-0009-7601-7697
Datos de asesor	
Nombres y apellidos	Pedro Antonio Olivares Ballena
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	06085689
URL de ORCID	https://orcid.org/0000-0002-8369-265X
Datos del jurado	
Presidente del jurado	
Nombres y apellidos	Ciro Sergio Bedia Guillen
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	06130412
Miembro del jurado 1	
Nombres y apellidos	Rosa Julia Medina Sandoval
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	06132417
Miembro del jurado 2	
Nombres y apellidos	Lourdes Janet Quiñones Lavado
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	06798460
Datos de investigación	

Línea de investigación	C.0.2.4. Geodinámica externa e interna
Grupo de investigación	No aplica
Agencia de financiamiento	Sin financiamiento
Ubicación geográfica de la investigación	Departamento: Ayacucho Provincia: Víctor Fajardo Distrito: Huancaraylla Centro poblado: Circamarca Latitud: -13.754158° Longitud: -74.137035°
Año o rango de años en que se realizó la investigación	Noviembre 2020
URL de disciplinas OCDE	Geografía física https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#1.05.05 Geología https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#1.05.06



Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Universidad del Perú. Decana de América

FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINERA, METALÚRGICA Y GEOGRÁFICA
Escuela Profesional de Ingeniería Geológica

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO GEÓLOGO

En el salón de Grados y Títulos de la Escuela Profesional de Ingeniería Geológica de la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica, el día martes 14 de marzo del año 2023 siendo las 11:00 am, en presencia de los señores docentes designados como miembros de Jurado Calificador:

Dr. CIRO SERGIO BEDIA GUILLEN	(Presidente de Jurado)
Ing. LOURDES JANET QUIÑONES LAVADO	(Miembro de Jurado)
Ing. ROSA JULIA MEDINA SANDOVAL	(Miembro de Jurado)

Reunidos para el acto académico público de colación de la Tesis del Bach. **Mónica Vanessa Vega Ayala**, quien sustentará la Tesis titulada: **“Movimientos en masa y su grado de susceptibilidad en la zona turística Millpu del Distrito de huancaraylla en Ayacucho”**; su asesor fue el docente Ing. **Pedro Antonio Olivares Ballena**, para la obtención del Título Profesional de Ingeniero Geólogo.

Los miembros del Jurado, escuchada la sustentación respectiva, plantearon al graduando las observaciones pertinentes, que fueron absueltas:

A satisfacción del jurado

El Jurado procedió a la calificación, cuyo resultado fue:

Aprobado por unanimidad con la nota de diecisiete (17)

Habiendo sido aprobada la sustentación de Tesis por el Jurado Calificador, el presidente recomienda que la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica, proponga se le otorgue el **TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO GEÓLOGO** al Bach. **Mónica Vanessa Vega Ayala**.

Siendo las 11:55 horas se dio por concluido el acto académico, expidiéndose dos (02) Actas Originales de la Sustentación de la Tesis.

Lima, 14 de marzo de 2023

DR. CIRO SERGIO BEDIA GUILLEN
PRESIDENTE DE JURADO

ING. LOURDES JANET QUIÑONES LAVADO
MIEMBRO DE JURADO

ING. ROSA JULIA MEDINA SANDOVAL
MIEMBRO DE JURADO

ING. PEDRO ANTONIO OLIVARES BALLENA
MIEMBRO ASESOR



Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Universidad del Perú. Decana de América

FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINERA, METALÚRGICA Y GEOGRÁFICA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA

Anexo 1

1. Facultad:

Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica

2. Escuela:

Escuela Profesional de Ingeniería Geológica.

3. Autoridad Académica que emite el informe de originalidad

Director de la Escuela Profesional de Ingeniería Geológica.

4. Apellidos y nombres de la autoridad académica

Dr. Ciro Sergio Bedia Guillen

5. Operador del programa informático de similitudes

Bedia Guillen Ciro Sergio / Cayo Serrano Alexandra

6. Documento evaluado

Tesis para obtención de título profesional.

7. Autor del documento

Mónica Vanessa Vega Ayala

8. Fecha de recepción del documento

13/12/2022

9. Fecha de aplicación del programa informático de similitudes

14/12/2022

10. Software utilizado

Turnitin

11. Configuración del programa detector de similitudes

- a. Excluye textos entrecomillados
- b. Excluye bibliografía
- c. Excluye cadenas menores a 40 palabras

12. Porcentaje de similitudes según programa de detector de similitudes

Ocho por ciento (8 %) de similitud.

13. Fuentes originales de las similitudes encontradas



Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Universidad del Perú. Decana de América

FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINERA, METALÚRGICA Y GEOGRÁFICA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA

Movimientos en masa y su grado de susceptibilidad en la zona turística Millpu del distrito de Huancaraylla en Ayacucho

INFORME DE ORIGINALIDAD

8%

INDICE DE SIMILITUD

8%

FUENTES DE INTERNET

0%

PUBLICACIONES

3%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1

docplayer.es

Fuente de Internet

2%

2

repositorio.ingemmet.gob.pe

Fuente de Internet

1%

3

repositorio.unap.edu.pe

Fuente de Internet

1%

4

hdl.handle.net

Fuente de Internet

1%

5

rid.unrn.edu.ar

Fuente de Internet

<1%

6

www.sdp.gov.co

Fuente de Internet

<1%

7

bdigital.unal.edu.co

Fuente de Internet

<1%

8

repositorio.unc.edu.pe

Fuente de Internet

<1%

9

kupdf.net

Fuente de Internet



Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Universidad del Perú. Decana de América

FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINERA, METALÚRGICA Y GEOGRÁFICA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA

<1 %

10 idoc.pub
Fuente de Internet

<1 %

11 bibdigital.epn.edu.ec
Fuente de Internet

<1 %

12 repositorio.unsa.edu.pe
Fuente de Internet

<1 %

13 repositorio.espe.edu.ec
Fuente de Internet

<1 %

14 dspace.unl.edu.ec
Fuente de Internet

<1 %

15 repositorio.unp.edu.pe
Fuente de Internet

<1 %

16 repositorio.unsaac.edu.pe
Fuente de Internet

<1 %

17 vsip.info
Fuente de Internet

<1 %

18 qdoc.tips
Fuente de Internet

<1 %

14. Observaciones

Ninguna



Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Universidad del Perú. Decana de América

FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINERA, METALÚRGICA Y GEOGRÁFICA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA

15. Calificación de originalidad

Documento cumple criterios de originalidad, sin observaciones.

16. Fecha del informe

14/12/2022

Alexandra Cayo Serrano

Firma del evaluador:

DR. CIRO SERGIO BEDIA GUILLEN
DIRECTOR
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA

DEDICATORIA

Al ser supremo que desde donde está, cuida de mis pasos.

A la niña que no pidió nacer, pero tampoco quiere morir.

A todas las personas que Dios puso en mi camino para enseñar y ayudar a crecer de la mejor manera.



AGRADECIMIENTOS

Gracias Dios que siempre me muestras las palabras con las que debo fortalecer mi espíritu.

Gracias Aurelia y Víctor por ser los padres que me dan el impulso, Ricardo por ser mi hermano que confía en mis capacidades y a toda mi familia que me dan el soporte.

Gracias a la Universidad Nacional Mayor de San Marco, que me dio la oportunidad de estudiar esta apasionante carrera. Gracias ingeniero Rildo, Dante, Jacay, Elvis por motivarme hacer la tesis.

Gracias Edgar y Laura por acompañarme y ayudarme en los trabajos de campo. Gracias Nery y Ángel de Circamarca por orientarme y darme la acogida en la comunidad.

Gracias ingenieros a quienes molesté para preguntar, pedir sugerencias, información y otros: ing. Jorge Capuñay, ing. Manuel Vilchez (+), ing. Janet Quiñones, ing. Pedro Gagliuffi, Ing. Olimpio, ing, José Macharé, Ing. Paul Carrillo; Ing. Marko Castañeda, Ing. Patricio Valderrama; ing. Marko López, Ing. Joel Andía, ing. Ronald de HelpGis, ing. Pedro Olivares. Gracias Dra. Sandra Villacorta por aceptar ser mi asesora de forma externa a mi universidad.

Gracias a mis tíos, primos, amigos Edison, Jak, Carlos, Crispín, Briggith, Meychol, Luis, Stefany, Alexandra; por recordarme que debía terminar la tesis. A Daisy por ayudarme con los detalles de este trabajo. Gracias ingeniero Humberto por ayudarme a crecer profesionalmente mientras terminaba la tesis.

A todas las personas que conocí en este largo camino, por aquí así lo elegí, gracias por sus palabras.

CONTENIDO

I.	INTRODUCCIÓN	12
1.1.	Planteamiento del problema	12
1.1.1.	Descripción de la realidad.....	12
1.2.	Formulación del problema.....	15
1.2.1.	Problema general:	15
1.2.2.	Problemas específicos:.....	15
1.3.	Objetivos.....	15
1.3.1.	Objetivo general:.....	15
1.3.2.	Objetivos específicos:.....	15
1.4.	Hipótesis.....	16
1.4.1.	Hipótesis General	16
1.4.2.	Hipótesis específicas	16
1.5.	Justificación de la investigación	16
II.	METODOLOGÍA.....	18
2.1.	Diseño y método de investigación.....	18
2.2.	Población de estudio.....	18
2.3.	Muestra.....	18
2.1.	Instrumentos	18
2.2.	Fases de la investigación.....	18
2.3.	Alcances	19
2.4.	Consideraciones éticas:.....	19
2.5.	Limitaciones.....	19
2.6.	Viabilidad:.....	19
III.	MARCO TEÓRICO.....	20
3.1.	Antecedentes.....	20
3.2.	Bases teóricas	21
3.2.1.	Movimientos de masa (mass movement or landslide).....	21
3.2.2.	Tipos de movimientos en masa	22
3.2.3.	Susceptibilidad.....	38
3.2.4.	Análisis de la susceptibilidad	38
IV.	CARACTERÍSTICAS DE LA ZONA DE ESTUDIO	47
4.1.	Ubicación y accesibilidad.....	47
4.1.1.	Clima	47

4.1.2.	Fauna y flora.....	48
4.1.3.	Demografía.....	48
4.1.4.	Actividad turística.....	49
4.2.	Geología regional.....	52
4.3.	Geología local.....	53
4.3.1.	Grupo Pucará.....	53
4.3.2.	Formación Chambará (Ts-ch).....	54
4.3.3.	Formación Castrovirreyna (PN-ca).....	57
4.3.4.	Unidad Jello Jasa (Np-jj/andp).....	59
4.3.5.	Deposito Deluvial (Q-de).....	60
4.3.6.	Depósito Químico Travertino (Q-qm-tr).....	61
4.3.7.	Depósito Coluvial (Qh-col).....	64
4.3.8.	Depósito Aluvial (Qh-al).....	65
4.4.	Geología estructural.....	66
4.4.1.	Estratificación.....	66
4.4.2.	Discordancias.....	66
4.4.3.	Pliegues.....	67
4.4.4.	Fallas geológicas.....	68
4.5.	Geomorfología.....	69
4.5.1.	Colinas.....	69
4.5.2.	Laderas.....	71
4.5.3.	Llanuras.....	72
4.5.4.	Presas en travertino (Pr-tr).....	73
4.6.	Inventarios de movimiento en masa.....	73
4.6.1.	Flujos.....	75
4.6.2.	Caídas.....	82
4.6.3.	Deslizamientos.....	85
4.6.4.	Reptación.....	87
4.7.	Rango de pendientes.....	89
4.7.1.	Pendientes muy bajas.....	90
4.7.2.	Pendientes bajas.....	90
4.7.3.	Pendientes medias.....	90
4.7.4.	Pendientes altas.....	91
4.7.5.	Pendientes muy altas.....	91
4.8.	Cobertura vegetal.....	91

4.8.1.	Áreas con árboles de eucalipto	92
4.8.2.	Áreas con arbustos	93
4.8.3.	Áreas cultivables Chacras.....	93
4.8.4.	Áreas con ichus	94
4.8.5.	Áreas de pastizales finos	95
4.9.	Hidrogeología	95
4.9.1.	Unidad hidrogeológica 1 (UH-1):.....	96
4.9.2.	Unidad hidrogeológica 2 (UH-2):.....	97
4.9.3.	Unidad hidrogeológica 3 (UH-3):.....	97
4.9.4.	Unidad hidrogeológica 4 (UH-4):.....	97
V.	SUSCEPTIBILIDAD A MOVIMIENTOS EN MASA	98
5.1.	Construcción del plano de susceptibilidad	98
5.2.	Ponderación de los parámetros	100
5.3.	Ponderaciones dentro de cada parámetro	103
5.4.	Álgebra de rasters.....	109
5.5.	Plano de susceptibilidad	109
5.6.	Validación	111
VI.	DISCUSIÓN Y SÍNTESIS	113
6.1.	Discusión	113
6.2.	Síntesis.....	114
VII.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	118
7.1.	Conclusiones	118
7.2.	Recomendaciones	120
CONTENIDO		2
RESUMEN.....		8
ABSTRACT.....		10
BIBLIOGRAFÍA.....		121
ANEXOS.....		125
Anexo 1		126
Anexo 2		132
Anexo 3.....		156

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Emergencias registradas según fenómeno a nivel nacional del 2003 al 2020.....	13
Figura 2	Movimiento en masa en los Andes.....	21
Figura 3	Bosquejo de caída de rocas.....	22
Figura 4	Deslizamiento rotacional.....	23
Figura 5	Block de diagramas de deslizamiento traslacional.....	24
Figura 6	Diagramas de deslizamiento traslacional planar y en cuña.....	25
Figura 7	Block de diagrama de deslizamiento rotacional.....	25
Figura 8	Deslizamiento compuesto.....	26
Figura 9	Block de diagrama de deslizamiento complejo.....	27
Figura 10	Deslizamiento en Lutto.....	28
Figura 11	Dimensiones de un deslizamiento.....	29
Figura 12	Semi elipsoide para estimar volumen de deslizamiento.....	30
Figura 13	Esquemas de deformaciones gravitacionales profundas.....	31
Figura 14	Flujos canalizados y no canalizados.....	32
Figura 15	Esquema de un flujo de detritos.....	33
Figura 16	Flujo no canalizado.....	34
Figura 17	Tipos de flujos.....	35
Figura 18	Expansiones laterales.....	36
Figura 19	Esquema de reptación y solifluxión.....	37
Figura 20	Esquemas de vuelco.....	37
Figura 21	Análisis de distribución de deslizamiento.....	40
Figura 22	Análisis de la densidad de deslizamientos.....	41
Figura 23	Combinación de mapas cualitativos.....	42
Figura 24	Análisis estadístico bivariado.....	43
Figura 25	Análisis estadístico multivariante.....	44
Figura 26	Análisis determinístico.....	45
Figura 27	Condiciones del acceso en 2017 y 2020.....	50
Figura 28	Principal atractivo turístico, pozas escalonadas en travertino.....	51
Figura 29	Columna cronolitoestratigráfica.....	53
Figura 30	Afloramientos de la Formación Chambará.....	55
Figura 31	Litologías de la Formación Chambará.....	56
Figura 32	Afloramientos de la Formación Castrovirreyna 3.....	57
Figura 33	Afloramientos de la Formación Castrovirreyna.....	58
Figura 34	Afloramientos de la Formación Castrovirreyna 2.....	59
Figura 35	Unidad Jello Jasa.....	60
Figura 36	Depósito deluvial.....	60
Figura 37	Depósitos químicos de travertino.....	63
Figura 38	Depósitos químicos de travertino 2.....	64
Figura 39	Depósito coluvial.....	65
Figura 40	Depósito aluvial.....	66
Figura 41	Anticlinal.....	67

Figura 42 Esquema del anticlinal.....	67
Figura 43 Fallas de rumbo.....	68
Figura 44 Esquema de fallas de rumbo.....	68
Figura 45 Falla normal y fallas de rumbo.....	69
Figura 46 Esquema de fallas normal y fallas de rumbo.....	69
Figura 47 Unidades geomorfológicas 2.....	70
Figura 48 Unidades geomorfológicas 1.....	71
Figura 49 Proporción de áreas.....	73
Figura 50 Número de casos por tipo de movimiento de masa.....	74
Figura 51 Número de casos en cada subtipos de movimiento en masa.....	75
Figura 52 Tipos de flujo inventariado.....	76
Figura 53 GD06 Deslizamiento por flujo.....	76
Figura 54 Tipo flujo según tamaño.....	77
Figura 55 GD07 flujo de detritos.....	77
Figura 56 GD08 Flujo de detritos.....	78
Figura 57 GD10 Flujo de detritos.....	80
Figura 58 GD10 Esquema del flujo de detritos.....	81
Figura 59 GD11 Esquema de flujo de detritos.....	82
Figura 60 Tipos de caída inventariado.....	82
Figura 61 GD18 y GD38 Caída de roca.....	83
Figura 62 Tipo caída según tamaño.....	83
Figura 63 GD24 Caída de tierra.....	84
Figura 64 GD51 Caída de cantos rodados.....	85
Figura 65 GD12 Deslizamiento rotacional.....	86
Figura 66 Partes del GD12.....	87
Figura 67 GD09 Reptación de suelos.....	88
Figura 68 GD09 Indicios de reptación de suelos.....	89
Figura 69 Porcentaje de pendientes.....	90
Figura 70 Tipos de cobertura vegetal.....	92
Figura 71 Áreas con árboles de eucalipto.....	92
Figura 72 Áreas con arbustos.....	93
Figura 73 Áreas cultivadas.....	94
Figura 74 Áreas con ichu.....	94
Figura 75 Áreas con pastizales.....	95
Figura 76 Unidades hidrogeológicas.....	96
Figura 77 Ponderación de unidades litológicas.....	104
Figura 78 Ponderación de unidades geomorfológicas.....	105
Figura 79 Ponderación de unidades hidrogeológicas.....	106
Figura 80 Ponderación de tipos cobertura vegetal.....	107
Figura 81 Ponderación de rangos de pendientes.....	108
Figura 82 Resultado de susceptibilidad.....	111
Figura 83 Validación.....	112
Figura 84 Área ocupada según tipo de movimiento en masa.....	114

LISTA DE TABLAS

Tabla 1	Rango de velocidades	22
Tabla 2	Técnicas de análisis de susceptibilidad	39
Tabla 3	Vías de acceso	47
Tabla 4	Características de tobas y travertinos	61
Tabla 5	Unidades hidrogeológicas	96
Tabla 6	Escala de Saaty	100
Tabla 7	Valores de índice aleatorio	100
Tabla 8	Matriz de comparación de parámetros	101
Tabla 9	Inversa de la suma total	101
Tabla 10	Normalización y vector priorización	102
Tabla 11	Cálculo de Lamda máximo	102
Tabla 12	Índice y relación de consistencia	103
Tabla 13	Ponderación de unidades litológicas	104
Tabla 14	Ponderación de unidades geomorfológicas	105
Tabla 15	Ponderación de unidades hidrogeológicas	106
Tabla 16	Ponderación de tipos cobertura vegetal	107
Tabla 17	Ponderación de rangos de pendientes	108
Tabla 18	Rangos de susceptibilidad	110
Tabla 19	Rangos de pendiente	115
Tabla 20	Resumen de valores de ponderación	117

RESUMEN

Las emergencias por fenómenos de movimientos en masa dentro del territorio peruano se han incrementado en los últimos años según reportes oficiales del gobierno nacional. La clasificación más relevante para estos fenómenos (Proyecto Multinacional Andino, 2007) ha diferenciado 7 tipos, 4 de los cuales ocurren en la zona de este estudio.

Contar con un plano de susceptibilidad para tener en cuenta a la hora de tomar decisiones sería un paso importante considerar dentro de la prevención a desastres por movimientos en masa. Por tanto, el objetivo del estudio fue determinar la relación entre las áreas con registro de movimientos en masa y su grado de susceptibilidad.

Existen varios métodos para elaborar mapas de susceptibilidad a movimientos en masa, en esta investigación se empleó el método estadístico bivariante y el proceso de análisis jerárquico así lograr mayor objetividad. El primero se empleó para obtener valores de ponderación dentro de la clasificación de cada parámetro, mientras que el segundo se empleó para los valores de ponderación entre los 5 parámetros. Los cinco parámetros con que se trabajó son: pendiente, litología, geomorfología, vegetación e hidrogeología. Todo el procesamiento se llevó a cabo en el software de Qgis. La escala de trabajo es de 1:3000 por ello se denominó plano en vez de mapa.

Los datos necesarios para desarrollar este plano fueron: el levantamiento topográfico a detalle a través de Drone, el reconocimiento de campo de todas las zonas donde acontecieron algún tipo de movimientos en masa y fue complementada con la interpretación de la ortofoto. Además, se realizó el reconocimiento geomorfológico, geológico local y tipos de cobertura vegetal. A partir de la información recolectada se prepararon el plano de pendiente y el plano hidrogeológico.

Se llegó a la conclusión que las áreas donde ocurrieron uno más movimientos en masa son altamente susceptibles. Existe una relación de dependencia entre áreas inventariadas y las áreas con alta y muy alta susceptibilidad, porque el 80% de áreas con algún tipo de movimiento en masa son altamente susceptibles. De las áreas registradas con movimientos en masa, los GD12, GD31, GD10, GD11, GD51, GD07, GD08 y GD09 son más importantes por su estado y área de influencia. El circuito turístico, caminos vecinales, canales de agua, espacios de recreación y áreas cultivables se encuentran en el área de influencia. Se recomienda realizar capacitaciones para informar y preparar a la población sobre los fenómenos de movimientos en masa, así disminuir y evitar daños económicos y personales.

ABSTRACT

Emergencies due to mass movement phenomena within Peruvian territory have increased in recent years according to official reports from the national government. The most relevant classification for these phenomena (Andean Multinational Project, 2007) has differentiated 7 types, 4 of which occur in the area of this study.

Having a susceptibility plan to take into account when making decisions would be an important step to consider within the prevention of mass movement disasters. Therefore, the objective of the study was to determine the relationship between the areas with records of mass movements and their degree of susceptibility.

There are several methods to elaborate maps of susceptibility to mass movements, in this investigation the bivariate statistical method and the hierarchical analysis process were used, thus achieving greater objectivity. The first was used to obtain weighting values within the classification of each parameter, while the second was used for the weighting values among the 5 parameters. The five parameters with which we worked are: slope, lithology, geomorphology, vegetation and hydrogeology. All processing was carried out in the Qgis software. The scale of the work is 1:3000, which is why it was called a plan instead of a map.

The necessary data to develop this plan were: the detailed topographical survey through Drone, the field recognition of all the areas where some type of mass movements occurred and was complemented with the interpretation of the orthophoto. In addition, the local geomorphological and geological recognition and types of vegetation cover were carried out. From the information collected, the slope plan and the hydrogeological plan were prepared.

It was concluded that areas where one or more landslides occurred are highly susceptible. There is a dependency relationship between inventoried areas and areas with high and very high

susceptibility, because 80% of areas with some type of landslide are highly susceptible. Of the registered areas with mass movements, GD12, GD31, GD10, GD11, GD51, GD07, GD08 and GD09 are more important due to their status and area of influence. The tourist circuit, local roads, water channels, recreation spaces and cultivable areas are found in the area of influence. It is recommended to carry out training to inform and prepare the population about the phenomena of mass movements, thus reducing and avoiding economic and personal damage.

I. INTRODUCCIÓN

1.1. Planteamiento del problema

1.1.1. *Descripción de la realidad*

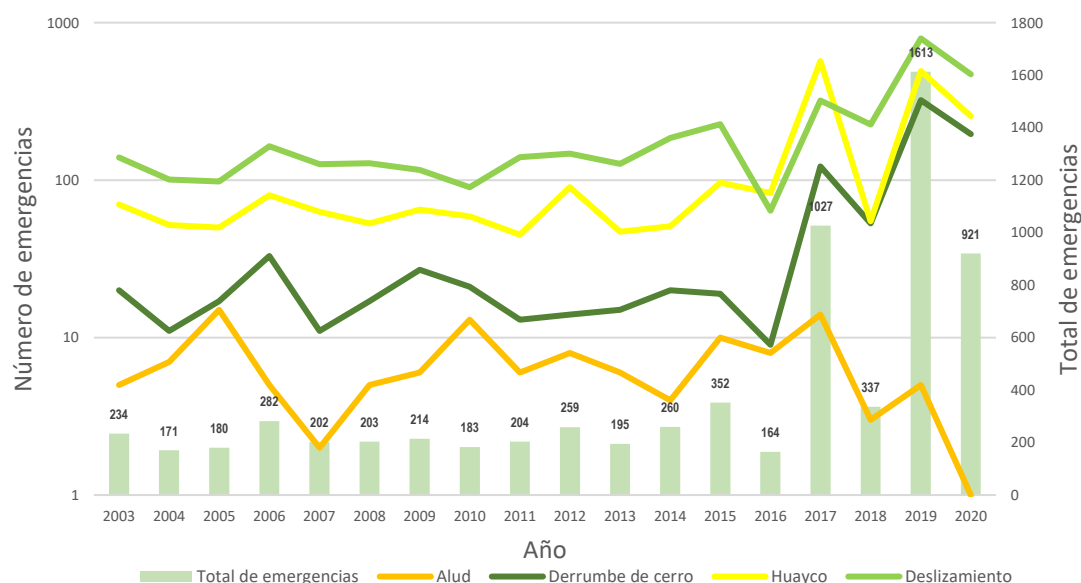
La corteza terrestre es el habitat de los humanos y muchos otros seres vivos. Esta capa de la Tierra presenta pendientes naturales es decir relieves conocido como laderas; para estar en equilibrio buscan el reajuste y ello genera muchas veces movimiento de ladera (Gónzales de Vallejo, 2004) también conocido como derrumbes (Highland & Bobrowsky, 2008) o simplemente como deslizamientos. Según Mizutori y Guya, a nivel mundial en 20 años los deslizamientos provocaron 18 414 muertes; además los movimientos en masa y actividades volcánicas generaron US\$8 billones en pérdidas económicas (Economic Losses , Poverty and Disasters 1998-2017, págs. 9,10).

Según Montero (2017, pág. 21), en América, Sharp (1938) fue el primero quien clasificó sistemáticamente los movimientos en masa. Sharp consideró el sentido de la ladera, el tipo de material y el ambiente geomorfológico; los que le permitió clasificarlos en 16 tipos de movimiento en masa. Sin embargo, años más tarde Varnes y Hutchinson cada uno por su lado hacen clasificaciones lo que hoy son ampliamente aceptadas y empleadas en los estudios de peligros geológicos, estabilidad de laderas y entre otro. Por ejemplo, las caídas de roca, deslizamiento de roca y flujo de detritos son los principales movimientos en masa registrados en las diferentes regiones de Estados Unidos; deja como resultado entre 25 a 50 personas muertas al año y aproximadamente \$3.5 millones en daños, en el 2001 (Highland, Landslide types and processes, 2004)

El Perú integró el “Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas”; en su publicación N°4 dieron las definiciones de 7 tipos de movimientos en masa: “caídas, vuelcos, deslizamientos, flujos, propagaciones laterales, reptaciones y definieron un tipo de

deformación gravitacional profunda” (2007, pág. 3) con el objetivo que sea una referencia más no un estándar. Por otro lado, INDECI un organismo público ejecutor, atiende emergencias de diferente tipo; un grupo son los causados por fenómenos naturales; en esa lista están: alud, derrumbe de cerro, huayco y deslizamiento que sería práctico denominarlos como movimientos en masa. En el registro del 2003 al 2020 (Figura 1); en los últimos años 2017, 2019 y 2020 se nota un claro incremento de emergencias que llegan hasta 4 emergencias promedio por día a nivel nacional en el 2019 con 1613 emergencias registradas.

Figura 1 Emergencias registradas según fenómeno a nivel nacional del 2003 al 2020



Fuente: SINPAD-COEN-INDECI / Elaboración: Sub-Dirección de Aplicaciones Estadísticas - DIPPE – INDECI / En: COMPENDIO ESTADÍSTICOS 2021 GESTIÓN REACTIVA.

Los movimientos en masa están latentes en todo el territorio del Perú, tal es el caso las laderas de la quebrada Ucucocha, donde se desarrolla una nascente actividad turística en torno a un paisaje natural. Esta quebrada se encuentra a 3km de la comunidad de Circamarca en el distrito de Huancaraylla de la provincia de Víctor Fajardo en el departamento de Ayacucho.

Los movimientos en masa podrían desencadenar si uno o más factores detonantes interactúan con los factores condicionantes. Estos últimos factores pueden ser: el tipo de material del sustrato ya sea roca o suelo, las geoformas, el grado de la pendiente natural; antiguos movimientos en masa y las zonas con indicios, discontinuidades en las rocas del sustrato como: estratos, pliegues, fallas geológicas y diaclasas; temporadas de mayor saturación de los suelos en zonas de manantiales. Los factores detonantes: infiltración de agua de los canales hacia las laderas; actividad antrópica: modificación de las pendientes, agricultura y pastoreo; las precipitaciones largas generan mayor volumen de escorrentías que erosionan los suelos y movimiento sísmico de alta intensidad.

Dado que hay varias zonas con grietas, escarpas y caída de rocas cerca a los caminos por donde la comunidad y turistas transitan, a parte si continúan desarrollando actividades de turismo, agricultura, construcción casas, restaurantes, playas de estacionamiento u otra actividad sin tener en cuenta las zonas con peligros geológicos por movimientos en masa. Entonces esto podría aumentar la probabilidad de exponer su seguridad física, interrupción de las actividades turísticas, modificación del paisaje natural, interrupción de las actividades agropecuarias y hasta pérdida de infraestructura ya sea caminos, casas, piscigranjas, etc.

Entonces el presente estudio describe la relación que existe entre las áreas con antiguos movimientos en masa y su plano de susceptibilidad; información que ayudaría a las autoridades a prevenir la exposición a peligros geológicos en la quebrada Ucuchocha del distrito de Huancaraylla.

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema general:

¿Cómo es la susceptibilidad a movimientos en masa en la zona turística Millpu del distrito de Huancaraylla en Ayacucho?

1.2.2. Problemas específicos:

- ¿Cuál es la situacional actual de los movimientos en masa de la zona turística Millpu del distrito de Huancaraylla en Ayacucho?
- ¿Qué rango de pendientes y unidades geomorfológicas son más propensas a generar movimientos en masa en la zona turística Millpu del distrito de Huancaraylla en Ayacucho?
- ¿Qué unidades litológicas comprenden la zona turística Millpu del distrito de Huancaraylla en Ayacucho y como favorecen a movimientos en masa?
- ¿Los planos de susceptibilidad son confiables?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general:

Conocer el grado de susceptibilidad a movimientos en masa en la zona turística Millpu del distrito de Huancaraylla en Ayacucho.

1.3.2. Objetivos específicos:

- Elaborar un inventario de los movimientos en masa de la zona turística Millpu del distrito de Huancaraylla en Ayacucho.
 - Evaluar las pendientes y unidades geomorfológicas que favorecen a los movimientos en masa de la zona turística Millpu del distrito de Huancaraylla en Ayacucho.
 - Evaluar las unidades litológicas y como favorecen a movimientos en masa en la zona turística Millpu del distrito de Huancaraylla en Ayacucho.
-

-
- Hacer la validación del plano de susceptibilidad.

1.4. Hipótesis

1.4.1. Hipótesis General

Las áreas donde ocurrió uno o varios tipos de movimientos en masa son las áreas más susceptibles a movimientos en masa.

1.4.2. Hipótesis específicas

- Existe más de un caso de movimiento en masa dentro del área de estudio.
- Las pendientes mayores a 25° son más propensos a generar movimientos en masa.
- Las unidades que no están consolidadas son más probables de generar movimientos en masa.
- El método estadístico bivariado y el proceso de análisis jerárquico son confiables para elaborar planos de susceptibilidad.

1.5. Justificación de la investigación

El estudio cuenta con diferentes tipos de justificación, como:

- Teórica porque resumirá el aporte de los autores más importantes como Sharp, Varnes, Cruden y Hutchinson que hacen referencia a los de movimientos en masa.
 - Práctica ya que contribuirá a prevenir peligros geológicos a movimientos en masa en la zona turística de Millpu en la quebrada Ucucocha.
 - Económica puesto que la prevención a movimientos en masa ayudará a reducir pérdidas de vidas, daños materiales, interrupción de la actividad social y económica o degradación ambiental. Sino más bien a un desarrollo más sostenible.
 - Social en razón que contribuirá en seguir promoviendo la difusión de la zona turística y el contribuir en el desarrollo de la comunidad de Circamarca y aledañas.
-

- Legal en cuanto que los procesos de prevención y reducción de riesgos de desastres están establecidos en la Ley 29664 Ley que crea el Sistema Nacional de Gestión de Riesgos y Desastres (SINAGERD).
 - Los resultados contribuirán con el desarrollo de otros estudios de detalle en la zona o estudios similares en otras regiones.
-

II. METODOLOGÍA

2.1. Diseño y método de investigación

Se empleó el diseño descriptivo y correlacional del método científico.

2.2. Población de estudio

El objeto de estudio son las laderas de la quebrada Ucucocha que abarca aproximadamente 190 hectáreas.

2.3. Muestra

En el presente estudio se trabajó con toda la población, 190 hectáreas.

2.1. Instrumentos

Mapas bases, plano topográfico, fichas de inventario, brújula, picota, GPS, celular, laptop y entre otros.

2.2. Fases de la investigación

Constará de 3 etapas:

- Gabinete I: fue la etapa de recopilación de antecedentes y síntesis de toda información bibliográfica importante de la zona de estudio, fotointerpretación, elaboración de mapas y planos bases para la siguiente etapa y preparación de la logística para campo.
 - Campo: en 2 partes, la primera consistió en el levantamiento topográfico con drone; la segunda comprendió el inventario de movimientos en masa, el cartografiado geológico y geomorfológico local, obtención de muestras de roca y levantar un plano de uso de suelos.
 - Gabinete II: comprendió en la digitalización de los planos de campo, análisis e interpretación de los resultados, redacción y sustentación.
-

2.3. Alcances

Esta investigación tiene alcance social hacia la comunidad de Circamarca, a quienes ayudará a prevenir peligros a movimiento en masa en la quebrada Ucucocha que se encuentra a 2.5km al Suroeste de la comunidad (Lámina 1, Anexo3).

Así mismo cuenta con alcance geográfico espacial que considerará las actividades socioeconómicas que desarrollan en las laderas de la quebrada Ucucocha, de la comunidad de Circamarca del distrito de Huancaraylla.

En cuanto al alcance temporal, los trabajos de campo se desarrollaron en agosto y noviembre del 2020, los resultados serán aplicables dentro del área estudio.

2.4. Consideraciones éticas:

En el desarrollo de esta investigación se ha considerado los principios geéticos de los dominios interpersonal y social (Peppoloni & Di Capua, 2021). El primero concuerda con el cumplimiento del código ético de la carrera de ingeniería geológica e implican practicar valores como los de integridad, transparencia, búsqueda de la originalidad, relevancia y exactitud de un estudio. En el 2do caso la responsabilidad es para con las comunidades y se refiere a la práctica de valores como la cooperación, prevención en la búsqueda de promover el desarrollo sostenible.

2.5. Limitaciones

Reducción de presupuesto por el tema de la pandemia.

2.6. Viabilidad:

Este estudio es viable porque cuenta con el apoyo de las autoridades locales.

III. MARCO TEÓRICO

3.1. Antecedentes

Comprende estudios nacionales a escala local donde analizaron la susceptibilidad por movimientos masa y en algunos con elaboración de mapas de susceptibilidad.

Carrillo en su estudio del (2015) planteó el objetivo de “caracterizar la dinámica del deslizamiento de tierra y estimar la peligrosidad haciendo uso del protocolo de CENEPRED” (pag.18) y trabajó con muestras de suelos de 6 calicatas y 6 sondajes eléctricos verticales (SEVs). La investigación fue exploratoria, correlacional y explicativa. Concluyó que los factores condicionantes para el desarrollo del deslizamiento de tierra son relieves abruptos y escarpados de pendientes mayores a 30° y 45°, y suelo granulares limosos. Mientras que los factores detonantes fueron las precipitaciones pluviales y técnicas inadecuados de riego.

Sosa (2016) decidió “analizar y determinar las áreas susceptibles a movimientos en masa en los poblados de Pampamarca y Acobamba; y proponer medidas de control y mitigación de los efectos” (Pag.5). Empleó el método bivariante para elaborar el mapa de susceptibilidad. Concluyó que el 15.06% del área de estudio es de muy alta susceptibilidad, 21.73% alta susceptibilidad, 4.22% moderada susceptibilidad, 25.88% baja susceptibilidad y el 33.11% muy baja susceptibilidad. Recomendó la reforestación con plantas nativas, complementar con estudios geofísicos que permitan estimar el grosor de la masa inestable y la posible presencia de agua subterránea. En caso de los flujos de detritos y erosión de ladera, además de la reforestación recomendó construir muros disipadores.

Tacilla (2019) planteó “determinar áreas susceptibles a movimientos de masa en la Cuenca Hidrográfica del Río Chonta – Cajamarca” (Pag.2). La muestra estuvo constituida por las áreas críticas de la cuenca del Río Chonta. El diseño que utilizó fue analítico y transversal en el tiempo con el método de evaluación multicriterio. Concluyó que las áreas con mayor susceptibilidad son el 3.78% del área total, que comprende zonas como los alrededores del

Río Chonta; la parte central de la cuenca, entre Combato y Sangal; noreste del Centro Poblado de Otuzco.

3.2. Bases teóricas

3.2.1. Movimientos de masa (*mass movement or landslide*)

Según Cruden (1991) citado por El Proyecto Multinacional Andino (2007) dice que es todo aquel desplazamiento “ladera abajo de una masa de roca, de detritos o de tierra” (Pag.1). Este proyecto reconoció las diferentes clasificaciones de movimientos en masa para luego presentar los que tiene más ocurrencia en la zona de la Cordillera de los Andes. Se resume en la Figura 2.

Figura 2 Movimiento en masa en los Andes

Tipo	Subtipo
Caídas	Caída de roca (detritos o suelo)
Volcamiento	Volcamiento de roca (bloque) Volcamiento flexural de roca o del macizo rocoso
Deslizamiento de roca o suelo	Deslizamiento traslacional, deslizamiento en cuña Deslizamiento rotacional
Propagación lateral	Propagación lateral lenta Propagación lateral por licuación (rápida)
Flujo	Flujo de detritos Crecida de detritos Flujo de lodo Flujo de tierra Flujo de turba Avalancha de detritos Avalancha de rocas Deslizamiento por flujo o deslizamiento por licuación (de arena, limo, detritos, roca fracturada)
Reptación	Reptación de suelos Soliflucción, geliflucción (en permafrost)
Deformaciones gravitacionales profundas	

Nota. Se tomó del Proyecto Mundial Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas (2007).

Tabla 1 Rango de velocidades

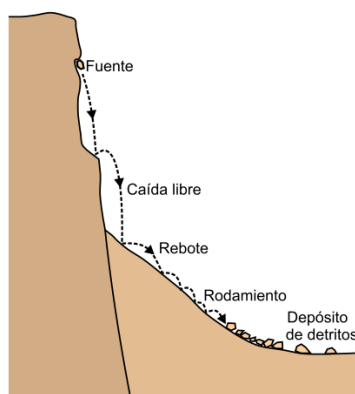
Clases de velocidad	Descripción	Velocidad (mm/s)	Velocidad típica
7	Extremadamente rápido	5×10^3	5 m/s
6	Muy rápido	5×10^1	3 m/min
5	Rápido	5×10^{-1}	1,8 m/h
4	Moderada	5×10^{-3}	13 m/mes
3	Lenta	5×10^{-5}	1,6 m/año
2	Muy lenta	5×10^{-7}	16 mm/año
1	Extremadamente lenta		

Nota. Rango de velocidades según Cruden y Varnes (1996) en PMA (2007).

3.2.2. Tipos de movimientos en masa

3.2.2.1. Caídas (fall).

Varnes (1978) definió que el material luego de desprenderse sigue una trayectoria por el aire ya sea dando golpes, rebotes o rodamiento. Según PMA (2007) las caídas se dan cuando uno o varios bloques de roca o suelo se desprenden de una ladera de alta pendiente o acantilados de roca y no presenta desplazamiento cortante apreciable (Figura 3). Además, señalan que las caídas se caracterizan por la interacción mecánica entre fragmentos individuales y su trayectoria, más no entre los fragmentos en movimiento; por ello no es considerado masivo.

Figura 3 Bosquejo de caída de rocas

Nota. Tomado de (Proyecto Mundial Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas, 2007).

También mencionan que estos movimientos tienen velocidades mayores a 5×10 mm/s. Hasta el 2007 los casos históricos demostraron superar los 100m/s.

3.2.2.2. Deslizamientos (slide).

Según PMA GCA (2007) es un desplazamiento hacia abajo de un volumen de suelo o roca que ocurre en la mayoría de los casos sobre un plano de ruptura o en zonas relativamente delgadas de intensa deformación cortante. Además, señalan la clasificación de Varnes (1978) que consiste en 2 subtipos según la forma de la superficie de falla por la cual se mueve el material: traslacional y rotacional. La traslacional a su vez puede ser planar o en cuña. Pero también resaltan que estas superficies por lo general son más complejas, es decir pueden comprender varios segmentos planares y curvos.

Figura 4 Deslizamiento rotacional

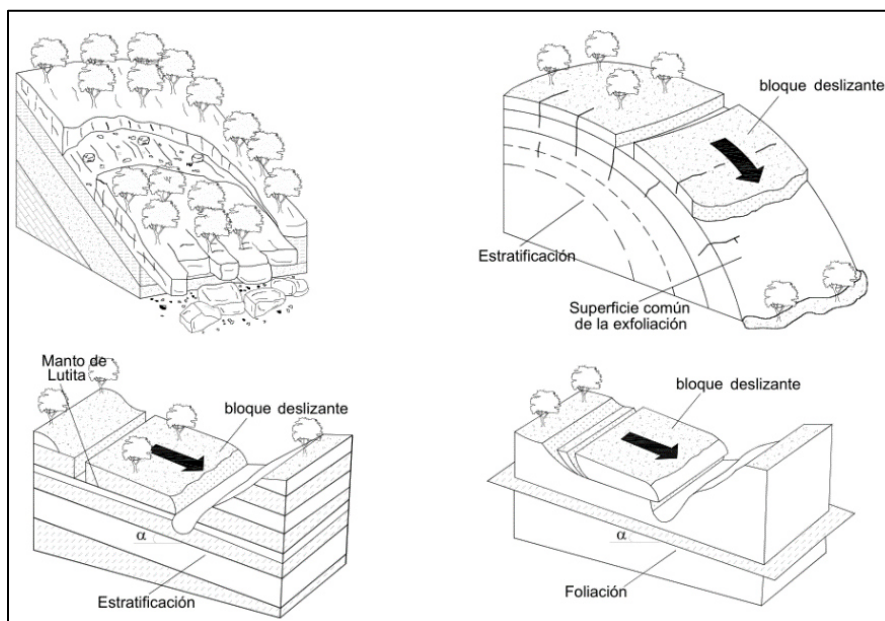


Nota. Deslizamiento rotacional ocurrido en la Provincia de Chimborazo, Paccha, Ecuador, 2004 tomado de (Proyecto Mundial Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas, 2007).

- ***Deslizamiento Traslacional (translational slide).***

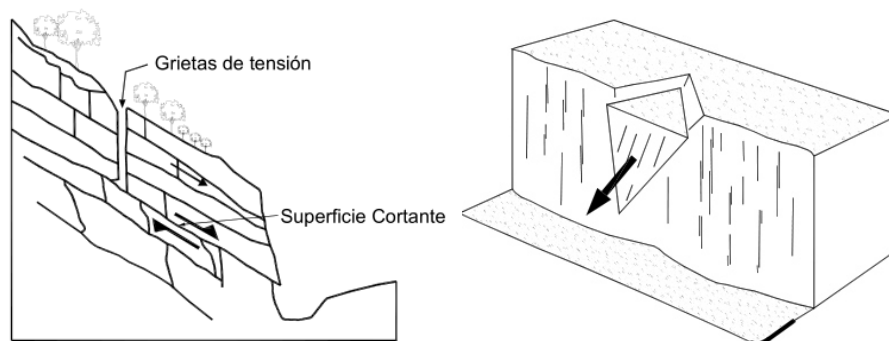
PMA GCA (2007) define como la masa que se desplaza a largo de una superficie de falla plana u ondulada (Figura 5). Por lo general según Cruden y Varnes (1996) estos movimientos son más superficiales que las rotacionales y el traslado ocurre a lo largo de planos de estratificación, diaclasas, fallas geológicas o superficies de contacto entre la roca y el suelo residual. Según Hoek y Bray (1981) en PMA GCA (2007) este mecanismo de falla en el macizo rocoso se da cuando la discontinuidad geológica tiene el mismo sentido que la superficie del talud y se inclina hacia esta con un ángulo mayor que el ángulo de fricción. Si se desarrolla a través de un plano se denomina deslizamiento planar; en caso se realiza en la intersección de 2 planos de discontinuidad se denomina deslizamiento en cuña (Figura 6). También mencionan que la velocidad de estos movimientos varía desde rápida a extremadamente rápida.

Figura 5 Block de diagramas de deslizamiento traslacional



Nota. Tomado de (Suarez, 2009).

Figura 6 Diagramas de deslizamiento traslacional planar y en cuña

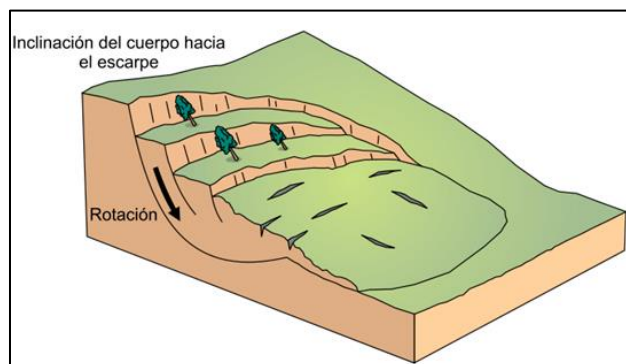


Nota. Tomado de (Suarez, 2009).

- **Deslizamiento Rotacional (rotational slide, slump).**

PMA GCA (2007) define como la masa que se mueve a lo largo de una superficie de falla curva o cóncava (Figura 7). Si la superficie de ruptura es curva o perfil cicloidal, la cinemática manda que la masa desplazada se moverá con deformación interna a lo largo de la superficie. Estos movimientos se identifican por que presentan un escarpe principal notorio y un contrapendiente de la superficie de la cabeza de deslizamiento al escarpe principal. También resaltan que este tipo de movimiento puede ser lenta a rápidamente, con velocidades menores a 1m/s.

Figura 7 Block de diagrama de deslizamiento rotacional

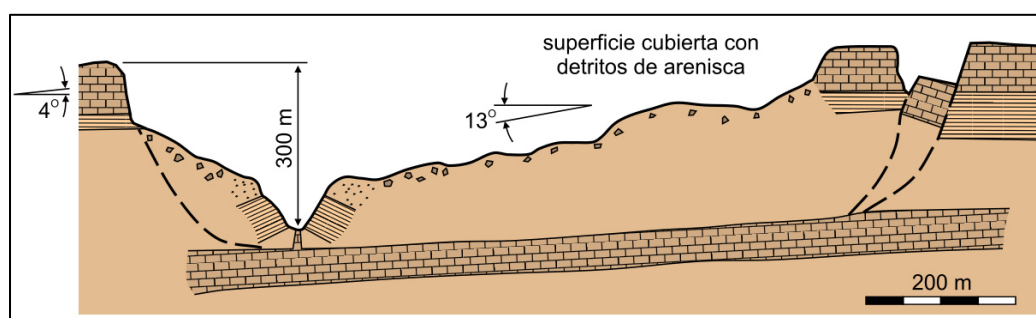


Nota. Tomado (Proyecto Mundial Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas, 2007).

- **Deslizamiento compuesto**

Según Hutchinson (1988) citado en (Proyecto Mundial Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas, 2007) en estos casos el plano de ruptura se da a lo largo de los estratos, ya sean deformados o en las intersecciones de los estratos con diaclasas y otros planos de debilidad. Es necesario que ocurra una falla cortante significativa en el cuerpo para que desarrolle el desplazamiento por las superficies compuestas (Figura 8).

Figura 8 Deslizamiento compuesto



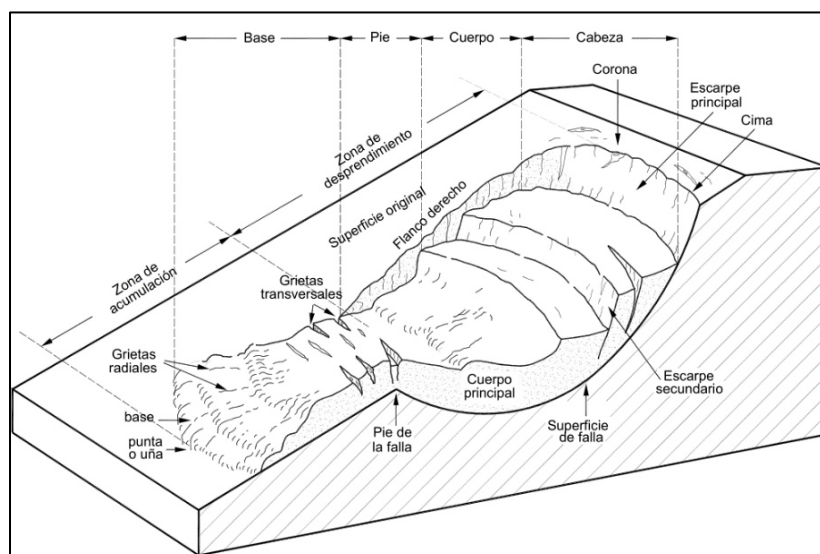
Nota. Deslizamiento compuesto en rocas sedimentarias Cretáceas Valle Scatter, BC, Canadá (Hungur et al., 1984) tomado de (Proyecto Mundial Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas, 2007).

- **Partes de un deslizamiento**

Las siguientes partes son de acuerdo con la nomenclatura de IAEG Commission on Landslides (1990) citado en el (Proyecto Mundial Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas, 2007) y dice:

- **Cabeza (head)** es la parte superior del cuerpo principal del deslizamiento a lo largo del contacto entre el material desplazado y el escarpe principal. (Pag. 128)
- **Corona (crown)** es la zona adyacente arriba del escarpe principal del deslizamiento que prácticamente no ha sufrido desplazamiento ladero abajo. En esta suelen presentarse algunas grietas paralelas o semi paralelas conocidas como grietas de tensión o de tracción. (Pag. 130)

Figura 9 Block de diagrama de deslizamiento complejo

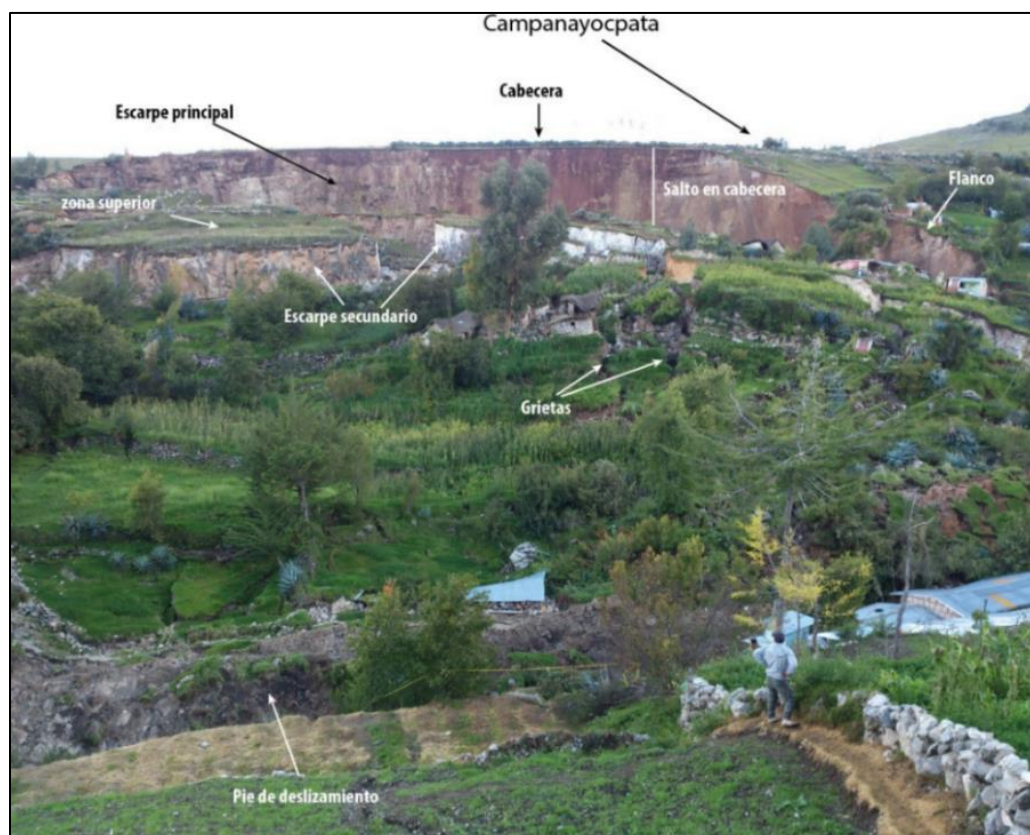


Nota. Block de diagrama de deslizamiento de tierra complejo (Cruden & Varnes, 1996) modificado por Suarez (2009).

- **Cima (top)** es el punto más alto del contacto entre el material desplazado y el escarpe principal. (Pag. 129)
- **Escarpe principal (main scarp)** es la parte superior vertical o semi vertical del plano de falla que queda expuesta en superficie por el movimiento ladera abajo del cuerpo principal. (Pag. 137)
- **Cuerpo (main body)** es la parte del material desplazado que yace sobre la superficie de falla, entre el escarpe principal y el pie de la superficie de falla. (Pag. 132)
- **Escarpe secundario (minor scarp)** son los planos de falla secundarios que ocurren por el rompimiento diferencial del cuerpo del deslizamiento y quedan parcialmente expuestos en superficie. (Pag. 137)
- **Pie de falla (foot)** es la parte que se mueve más allá de la superficie de falla y cubre la superficie original del terreno. (Pag. 150)
- **Superficie de separación (surface of separation)** Parte de la superficie original del terreno que actualmente se encuentra cubierta por el pie del deslizamiento. (Pag. 157)

- **Flancos Laterales (flank)** Costado izquierdo o derecho del cuerpo principal de un deslizamiento.
- **Punta o uña (tip)** es el punto sobre el perímetro del pie que se encuentra más alejado de la corona del movimiento en masa. (Pag. 151)

Figura 10 Deslizamiento en Lutto



Nota. Vista frontal del deslizamiento de Lutto tomado de (García, Aguilar, Huanca, & Albinez, 2018).

- **Superficie de falla (surface of rupture)** es el plano más débil a lo largo del cual se rompe el material debido a que las fuerzas que actúan sobre él son superiores a la resistencia interna del material a lo largo de ese plano. (Pag. 156)
- **Zona de desprendimiento (zone of depletion)** es el área dentro de la cual el material desplazado se encuentra por debajo de la superficie original del terreno. (Pag. 159)

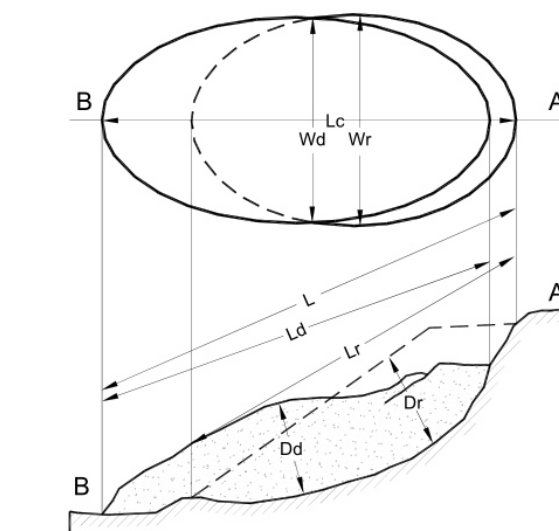
- **Zona de acumulación (accumulation zone)** es el área en la cual el material desplazado queda sobre la superficie original del terreno. (Pag. 159)

- **Dimensiones del deslizamiento**

La Commission on Landslides IAEG (1990) citado en Suarez (2009) dimensionó las siguientes partes:

- **Ancho de la masa desplazada (Wd - width of the displaced mass)** es el ancho máximo de la masa desplazada que se mide en dirección perpendicular a la longitud Ld.

Figura 11 Dimensiones de un deslizamiento

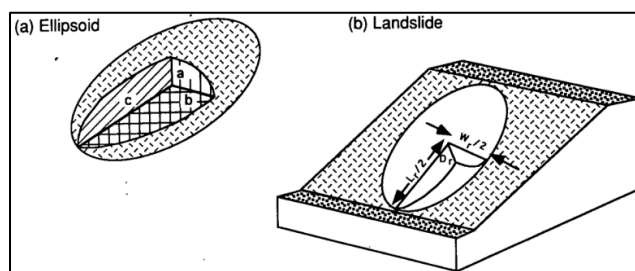


Nota. Dimensiones de un deslizamiento de acuerdo con IAEG Commission on Landslides (1990) citado en Suarez (2009).

- **Ancho de la superficie de falla (Wr - width of the surface rupture)** es el ancho máximo entre los flancos de un deslizamiento, medido en sentido perpendicular a la línea Lr.
- **Longitud de la masa desplazada (Ld - length of displaced mass)** es la distancia mínima desde la punta a la cima.

- **Longitud de superficie de falla (Lr - length of surface of rupture)** es la distancia mínima desde el pie de la superficie de falla y la corona.
- **Profundidad de la masa desplazada (Dd - Depth of the displaced mass)** Máxima profundidad de la masa movida perpendicular al plano conformado por Wd y Ld.
- **Profundidad de la superficie de falla (Dr - Depth of the ruptura surface)** Máxima profundidad de la superficie de falla con respecto a la superficie original del terreno, medida perpendicularmente al plano conformado por Wr y Lr.
- **Longitud total (L)** Distancia mínima desde la punta a la corona del deslizamiento.
- **Longitud de la línea central (Lc)** Distancia que hay desde la punta (o uña) hasta la corona del deslizamiento, a lo largo de los puntos ubicados sobre la superficie original y equidistantes de los bordes laterales o flancos. (Suarez, 2009, pág. 6)

Figura 12 Semi elipsoide para estimar volumen de deslizamiento



Nota. Block de diagrama del semi elipsoide para estimar el volumen de deslizamiento, tomado de (Cruden & Varnes, 1996).

Las partes descritas de presentan en la Figura 12.

$$VOL_{des} = \frac{1}{2} \left(\frac{4}{3} \pi D_r \frac{W_r}{2} \frac{L_r}{2} \right) \rightarrow VOL_{des} = \frac{1}{6} \pi D_r W_r L_r \dots\dots A$$

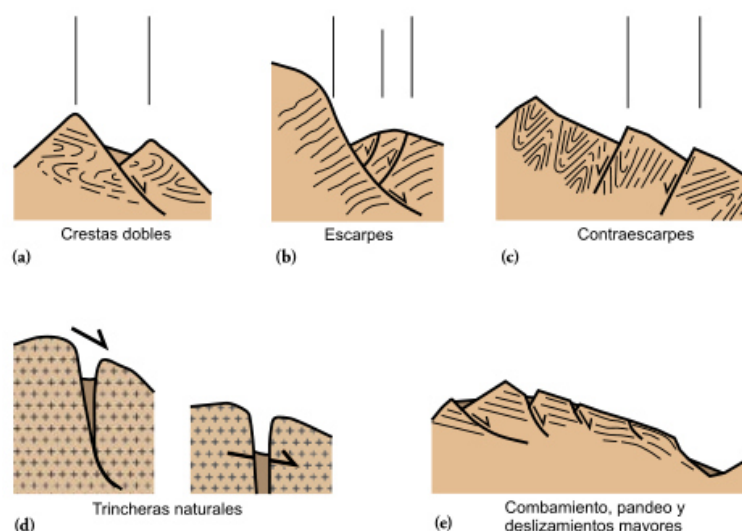
$$VOL_{des} = \frac{1}{6} \pi D_d W_d L_d \dots\dots B$$

Con la ecuación **A** se puede calcular el volumen del semi elipsoide, una aproximación matemática del volumen de material antes del movimiento y la ecuación B, después del movimiento, según WP/WLI 1990 citado en (Cruden & Varnes, 1996).

3.2.2.3. Deformaciones gravitacionales

Según Hutchinson (1988) en (Proyecto Mundial Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas, 2007) incluyen distintos procesos y podrían llamarse deformaciones de ladera o deformaciones gravitacionales profundas (Figura 13).

Figura 13 Esquemas de deformaciones gravitacionales profundas



Nota. Bosquejo de deformaciones gravitacionales profundas (Agliardi et al., 2001)
Tomado de PMA GCA (2007, pág. 29).

A diferencia de los anteriores tipos, aquí no se distingue un plano de ruptura definida y es común que sean de muy baja velocidad de desplazamiento. Algunas de ellas serían como las promotoras de deslizamientos a mayor escala. El rango de velocidad va de 10^{-8} a 10^{-9} mm/s, muy lentas.

3.2.2.4. Flujo (flow)

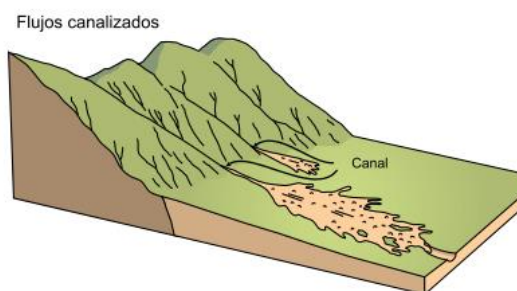
Según (Proyecto Mundial Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas, 2007) este tipo de movimiento durante su desplazamiento exhibe comportamiento similar al de un fluido que puede ser rápido o lento, saturado o seco. En este mismo Varnes (Varnes, 1978) la mayoría de los flujos se originan de otros movimientos como caídas o deslizamientos.

Hungr et al (2001) en PMA GCA (2007) clasificaron varios tipos de flujos según: “material involucrado, la humedad, la velocidad, el confinamiento lateral y otras características que lo hacen distinguibles” (Pag.32). ara este estudio se ha tomado en cuenta la clasificación de PMA GCA (2007) quienes citaron a los autores como Varnes (1978), Hungr et al. (2001), Hungr (2005).

Clasificación de flujos

- **Flujos secos:** Según Varnes (Varnes, 1978) hay registros de un gran número de flujos grandes y catastróficos con material seco granular. Los flujos secos en las pendientes forman los conos de talud, por ello son importantes, según Evans y Hungr (1993) citados en PMA GCA (2007).

Figura 14 Flujos canalizados y no canalizados



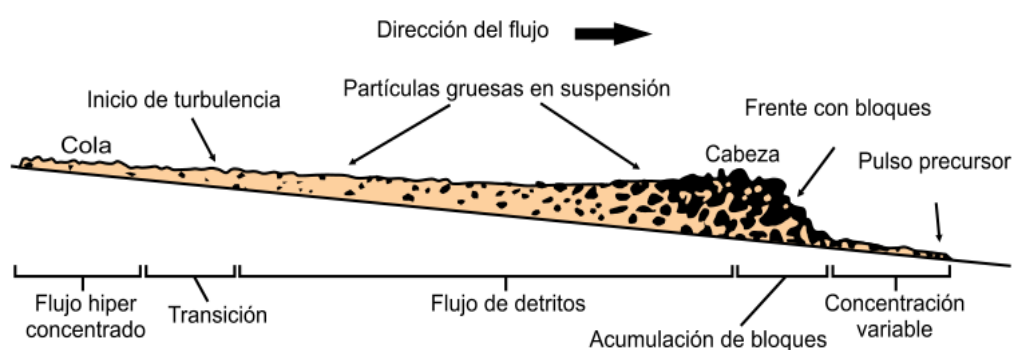
Nota. Esquema de flujos canalizados y no canalizados, según (Cruden & Varnes, 1996)

- **Flujo de detritos (Debris Flows):** según PMA GCA (2007) constituye de materiales saturados, muy baja plasticidad (índice de plasticidad menor al 5%) y se desplaza por un

cauce o canal de fuerte pendiente (Figura 14). Por lo general inicia con algunos deslizamientos superficiales de detritos en la cabecera o en los cauces de canales de pendientes pronunciada. En el transcurso pueden arrastrar bloques rocosos o grandes bloques individuales y depositan en abanico de detritos, un ejemplo de la sección del depósito de flujo de detritos.

Los flujos de detritos pueden alcanzar velocidades hasta extremadamente rápido y por naturaleza son capaces de producir la muerte de personas.

Figura 15 Esquema de un flujo de detritos



Nota. Corte esquemático típico de un flujo de detritos. Frente con bloques de un pulso del flujo de detritos de diagrama de Pierson (1986) en (Proyecto Mundial Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas, 2007)

- **Crecida de detritos (Debris floods):** También comunmente llamado flujos hiperconcentrados por Hungr et al. (2001). Según PMA GCA (2007) porque es un flujo muy rápido y con un incremento de agua que ayuda a llevar mayor carga de detritos a lo largo del cauce. Este potencial y caudal puede llegar a ser 2 ó 3 veces mayor que una inundación, estas características ayudan a distinguir con el flujo de detritos. Por lo general, contiene grava, arena gruesa uniformemente gradada sin matriz e imbricación de clastos y bloques a diferencia de los depósitos de flujo de detritos.

Figura 16 Flujo no canalizado



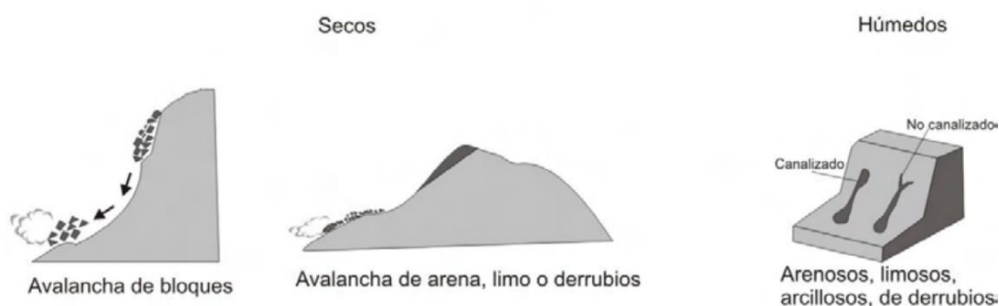
Esquema de flujo no canalizados, según Cruden y Varnes (1996) en PMA GCA (2007).

- **Flujo de lodo (Mud Flow):** Para PMA GCA (2007) se trata de un flujo encausado de detritos saturados (índice de plasticidad mayor a 5%) que van muy rápido a extremadamente rápido. Se podría parecer a flujo de detritos, pero el flujo de lodo lleva mayor contenido de arcilla. También podría confundirse con deslizamiento por flujo, pero el flujo de lodo tiene agua superficial durante el movimiento a diferencia del deslizamiento por flujo.
- **Flujo de tierra (Earth Flow):** Según Hungr et al (2001) en PMA GCA (2007) son movimientos intermitentes, rápido o lento, en suelos arcillosos plásticos. Las velocidades medidas normalmente están en el intervalo de 10^{-5} a 10^{-8} mm/s quiere decir que son lentos o extremadamente lentos. El volumen de flujos de tierra puede llegar hasta cientos de millones de metros cúbicos.
- **Deslizamiento por flujo (deslizamiento por licuación) (Flow slide):** Para PMA GCA (2007) Casagrande (1936) introdujo el término "Flow slide" haciendo referencia a aquellos deslizamientos que en etapas después a su iniciación se comporta como un flujo, (Varnes, 1978) por resultado de licuación. Así también citan a Hungr et al (2001) quienes describen como un flujo de masa de suelo con estructura granular ordenada o desordenada como en arenas, limos o detritos de velocidad muy rápida o extremadamente rápida.

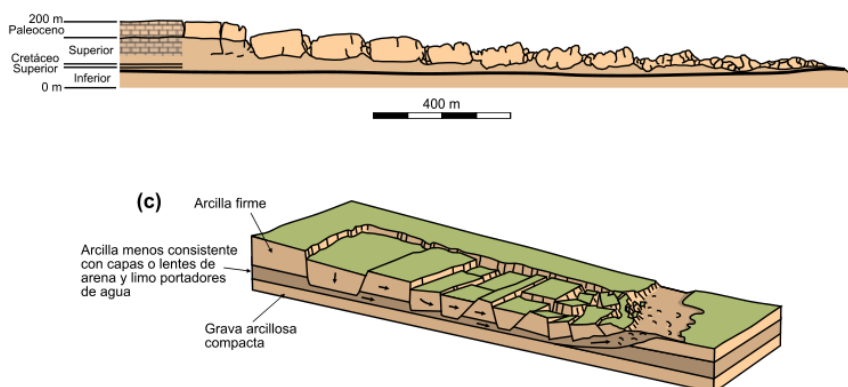
Normalmente detona en taludes de pendiente moderada, con alta presión de poros o licuación del material en la zona de desprendimiento y luego de un desplazamiento importante.

- **Avalancha de detritos (debris avalanches):** PMA GCA (2007) es un flujo de detritos parcial o completamente saturados, superficiales, sin canalizar y van muy rápidos a extremadamente rápidos. Generalmente inician con un deslizamiento poco profundo de una masa de detritos y en su trayectoria se genera una alta distorsión interna y genera condición de flujo. Las avalanchas desarrollan una rotura más rápida que los deslizamientos. Pueden licuarse por efecto de la pendiente y/o contenido de agua; fluir y depositarse mucho más lejos del pie de la ladera, según lo descrito por Varnes (1978) en PMA GCA (2007).
- **Avalancha de rocas (rock avalanches):** Para PMA GCA (2007) son flujos de roca fracturada, que alcanzan grandes longitudes y son muy rápidos, inicia con deslizamientos de roca de gran dimensión. Estos depósitos podrían llegar a volúmenes de orden de kilómetros cúbicos y alcanzar grandes distancias. Las avalanchas de rocas son muy peligrosas, pero poco frecuentes y podrían represar ríos, generar amenazas secundarias como rompimiento o colmatación de la presa. Las velocidades pico que llegan son de orden de 100m/s y las velocidades medias por el rango de 30 a 40m/s.

Figura 17 Tipos de flujos



Nota. Tipos de flujo según Ayala-Carcedo y Olcinas (2002) citado por Villacorta (2007)

Figura 18 Expansiones laterales

Nota. Esquema de expansiones laterales, según Varnes (1978) en (Proyecto Mundial Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas, 2007)

3.2.2.5. Propagación lateral (lateral spread)

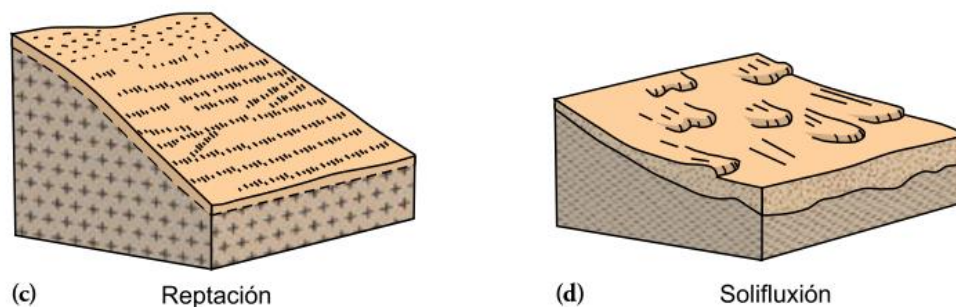
Según PMA GCA (2007) se desarrolla principalmente por deformación interna (expansión) del material. En los deslizamientos y flujos se nota cierto grado de expansión. Es posible denominar la propagación lateral como la etapa final de una serie de desplazamiento en el cual la deformación interna predomina notoriamente sobre otros mecanismos de movimiento (Figura 17).

3.2.2.6. Reptación

Para PMA GCA (2007) la reptación son aquellos movimientos lentos del terreno donde no se distingue la superficie de falla, ejemplo Figura 19. Este movimiento puede ser estacional cuando está asociado a cambios climáticos o de humedad del terreno. Movimientos continuos cuando el desplazamiento es constante durante el tiempo.

El PMA GCA (2007) incluye en este tipo de movimiento a la solifluxión y gelifluxión (aplica en ambientes periglaciares) a causa de la variación del volumen de las capas superficiales, pero de forma estacional en orden 1 a 2 metros de profundidad, combinado con el movimiento lento del material ladera abajo.

Figura 19 Esquema de reptación y soliflujión

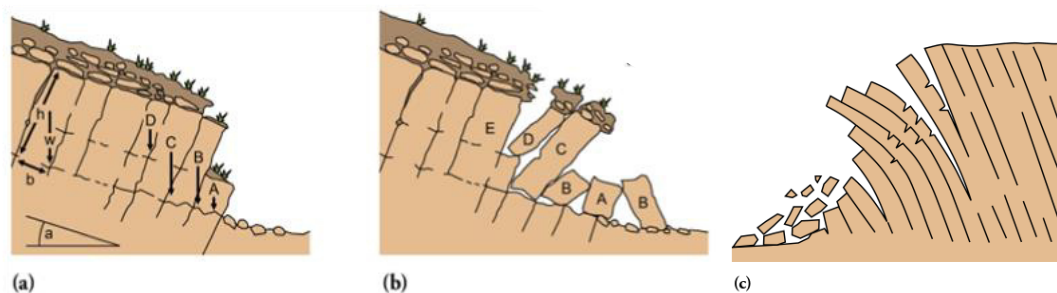


Nota. Esquemas de reptación y soliflujión, según Corominas Dulcet y García Yagué, 1997 en (Proyecto Mundial Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas, 2007)

3.2.2.7. Volcamientos (toppling)

El PMA GCA (2007) denomina a la rotación normalmente hacia adelante de uno o más bloques de roca o suelo, alrededor de un punto de giro en su parte inferior. Se da por el efecto de la gravedad, por empujes de las unidades adyacentes o por la presión de fluidos en grietas, según Varnes (1978). Según Goodman y Bray (1976) citados en PMA GCA (2007) diferencian del vuelco en bloques y vuelco flexural es que el primero se da en rocas más competentes mientras que el segundo en rocas con bastante diaclasa.

Figura 20 Esquemas de vuelco



Nota. Los esquemas (a) y (b) Esquemas de vuelco en bloque (De Freitas y Waters, 1973 en Varnes, 1976), (c) Esquema de vuelco por flexión según Corominas y Yagué (1997) en PMA GCA (2007).

3.2.3. Susceptibilidad

Según Brabb (1984) citado en Dominguez (2003) la susceptibilidad es la probabilidad que suceda un evento en una zona específica, en función de la correlación de los factores condicionantes de la inestabilidad con la distribución de los movimientos pasados.

Así también Van Westen et-al (1997) en Domínguez (2003) se puede determinar el lugar susceptible a una rotura, pero, es difícil crear la relación entre deslizamientos y periodos de retorno, en otras palabras, es posible establecer con mayor certeza el dónde, pero no el cuándo.

(UN/ISDR, 2004) en Sosa (2016) “la susceptibilidad se refiere al grado de propensión que tiene una zona a que en ella se genera o a que resulte afectada por un fenómeno de remoción en masa...”

3.2.4. Análisis de la susceptibilidad

Según Corominas (1987) en Sosa (2016) las metodologías de análisis de susceptibilidad pueden ser:

mapas con base geomorfológica (inventario de eventos), basados en la susceptibilidad relativa (combinación de factores que estiman la susceptibilidad relativa según una ponderación o peso definido por la experiencia del autor, para cada factor considerado); mediante técnicas de tratamiento de datos (métodos estadísticos y probabilísticos) y mapas obtenidos de datos instrumentales (Pag, 102).

Hansen (1984) en Gonzales (2005) citado por Vilchez (2008) dividió los métodos de análisis en dos: método ingenieril y el método geomorfológico. Ojeda (1996) citado por Vilchez (2008) dividió en dos grandes grupos: los métodos implícitos que a su vez se subdivide en método implícito y método semi implícito y los métodos explícitos que a su vez se subdivide en explícitos empíricos, explícito semi analítico y explícito analítico. La Unión Internacional de Ciencias Geológicas

(IUGS, 1997) en Gonzales (2005) citado por Vilchez (2008) clasificó los métodos de análisis en dos grandes grupos: análisis cuantitativo y análisis cualitativo.

Tabla 2 Técnicas de análisis de susceptibilidad

Tipo de análisis	Técnicas	Uso recomendado de acuerdo a la escala		
		Regional 1:100.000	Media 1:25.000	Detallada 1:10.000
Inventarios	Análisis de distribución	Si	Si	Si
	Análisis de actividad	No	Si	Si
	Análisis de densidad	Si	No	No
Métodos heurísticos	Análisis geomorfológico Subjetivo	Si	Si	Si
	Ponderación de parámetros	Si	Si	No
Métodos estadísticos	Análisis estadístico divariado	No	Si	No
	Análisis estadísticos multivariados	No	Si	No
Métodos determinísticos	Aplicación de análisis de talud infinito (factor de seguridad)	No	No	Si

Nota. Técnicas de análisis para mapas de susceptibilidad, modificado de Soeters y VanWesten (1996) en (Proyecto Mundial Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas, 2007).

Corominas (1992) y Terlien (1996) en Irigaray et al., (2002) citados por Vilchez (2008) sugieren que tres grandes grupos de métodos para evaluar la susceptibilidad: métodos basados en tratamientos estadísticos de los parámetros de laderas (no determinísticos), modelos de cálculo de estabilidad (modelos determinísticos) y modelos conceptuales que sería la combinación de los anteriores métodos.

Soeters y Van Western (1996), Santacana (2001) sugieren 4 tipos de análisis de susceptibilidad: Análisis de inventarios, análisis heurístico, análisis estadístico y análisis determinístico (Tabla 2).

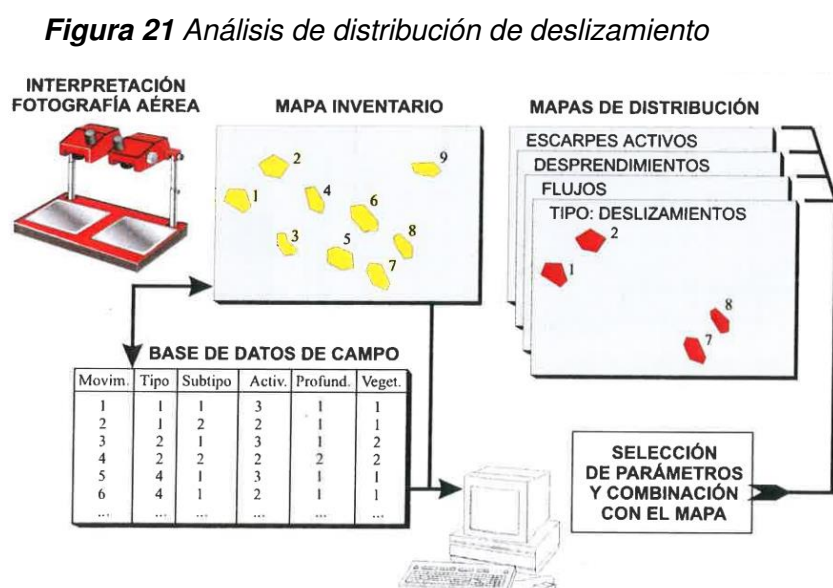
3.2.4.1. Análisis de Inventarios:

Este método es adecuado para escalas grandes y medias. La información que se necesita ingresar es un base de distribución de movimientos en masa obtenidos a partir de las

fotointerpretaciones y corroboradas en campo con una lista de chequeo. El SIG (Sistema de Información Geográfica) permitirá almacenar y mostrar la información de diferentes formas.

3.2.4.1. Análisis Heurísticos

Según Bonachea (2006) citado en Tacilla (2019) el método heurístico se basa en criterios de expertos para clasificar el mapa, entonces la subjetividad inherente a su elaboración (como consecuencia de la asignación de pesos). La escala de trabajo suele oscilar entre 1/100000 y 1/5000.



Nota. Uso de SIG para el análisis de la distribución de deslizamientos de tierra, Soeters y Van Western (1996) tomado de (Irigaray & Chacón, 2002).

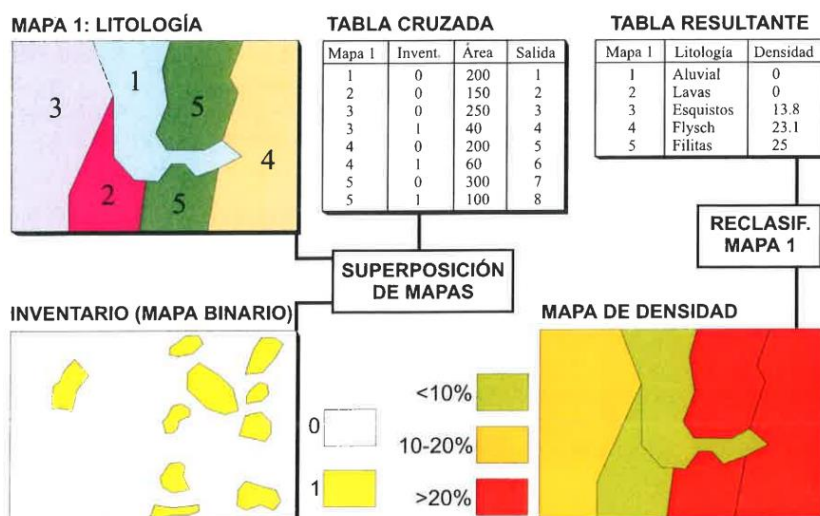
Para Soeters y Van Western (1996) el especialista decide qué mapas se utilizarán y qué valores de ponderación se asignarán sobre la base del conocimiento de campo de los factores causales (Figura 23).

Hay 2 tipos en el método heurístico:

a. Análisis geomorfológicos subjetivos:

para Soeters y Van Western (1996) aquí se emplea el método geomorfológico conocido también como método de asignación directa. El geomorfológico determina el peligro directamente en el campo. El proceso se basa en la experiencia individual y el uso del razonamiento por analogía.

Figura 22 Análisis de la densidad de deslizamientos

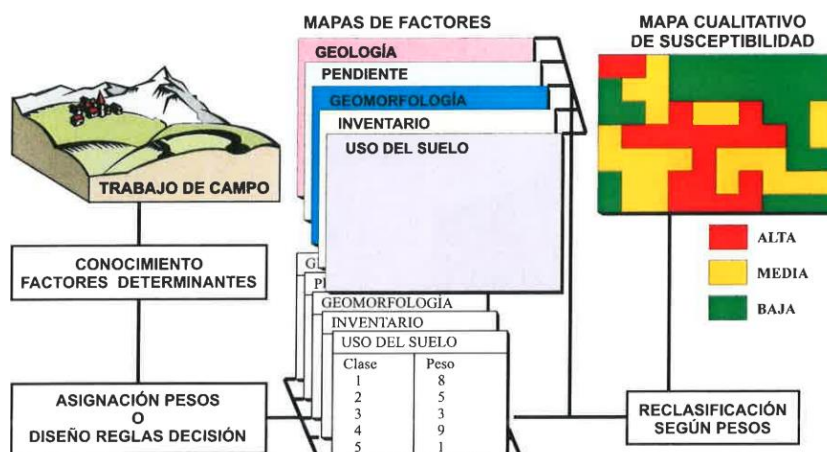


Nota. Uso de SIG para el análisis de la densidad de deslizamientos de tierra de Soeters y Van Western (1996) recuperado de (Irigaray & Chacón, 2002).

b. Ponderación de parámetros:

para este caso Soeters y Van Western (1996) dicen que se emplea el método de combinación de mapas cualitativos donde el especialista utiliza el conocimiento experto para asignar valores de ponderación para los mapas de parámetros. Las condiciones del terreno en un gran número de ubicaciones se suman según estos pesos, lo que conduce a valores de peligro que se pueden agrupar en clases de peligro.

Figura 23 Combinación de mapas cualitativos



Nota. Uso de SIG para combinación de mapas cualitativos de Soeters y Van Western (1996), recuperado de (Irigaray & Chacón, 2002).

Por otro lado, Tacilla (2019) empleó dentro del método heurístico el proceso analítico jerárquico para la evaluación de susceptibilidad a movimientos en masa.

3.2.4.2. Proceso de Análisis Jerárquico (PAJ)

Este método fue desarrollado por Saaty (1980), para resolver problemas complejos con criterios múltiples, a través de la creación de un modelo jerárquico. Permite combinar lo tangible de la ciencia clásica y lo intangible del comportamiento humano. Hizo su aplicación en áreas como: diseño urbano, planificación territorial, toma de decisiones, entre otras. Más tarde, diversos autores aplican para evaluar la susceptibilidad a movimientos en masa.

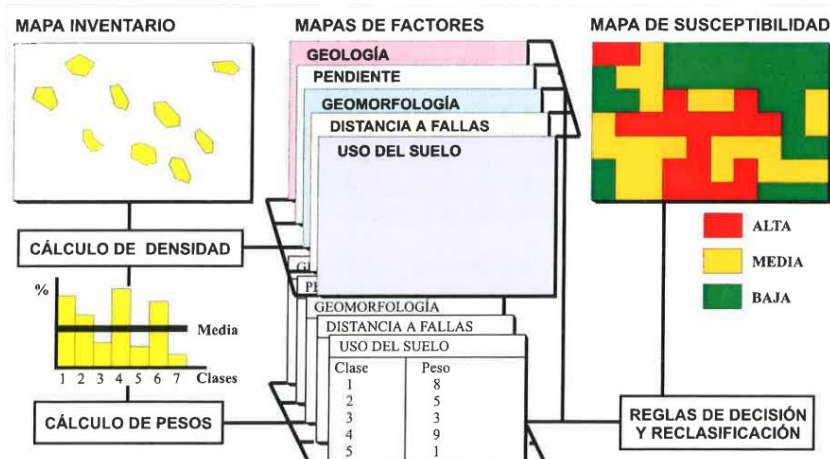
Según Hervás & Barredo (2001) citado por Tacilla (2019) este método es empleado en la evaluación de la susceptibilidad se requiere una base de datos de cartografía de los factores condicionantes de inestabilidad. Puede emplearse técnicas como la fointerpretación y el reconocimiento directo de campo.

3.2.4.3. Métodos estadísticos

Según Soeters y Van Western (1996) en este método las combinaciones de factores se determinan estadísticamente. La superposición de mapas de parámetros y el cálculo de densidades de deslizamiento de tierra forman el núcleo del análisis. La mayoría se basan en la relación entre la densidad del deslizamiento de tierra por clase de parámetro en comparación con la densidad de deslizamientos de tierra en toda el área.

La selección de parámetros también tiene un elemento subjetivo importante en este método. Sin embargo, el usuario puede probar la importancia de los mapas de parámetros individuales y decidir sobre los mapas de entrada finales de una manera iterativa.

Figura 24 Análisis estadístico bivariado



Nota. Uso de SIG para análisis estadístico bivariado de Soeters y Van Western (1996), recuperado de (Irigaray & Chacón, 2002).

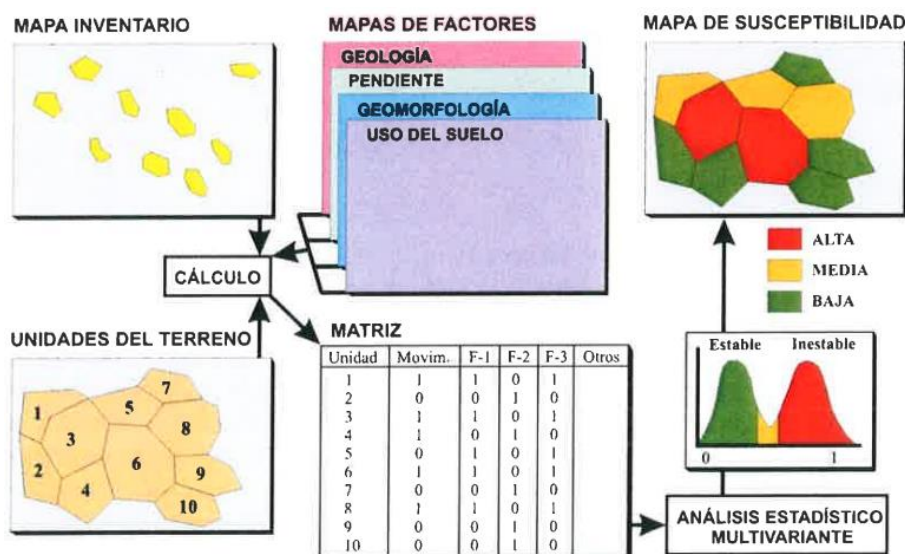
✓ Análisis estadístico bivariado:

Irigaray & Chacón (2002) cada mapa de factores (por ejemplo, pendiente, geología, uso del suelo) se combina con el mapa de distribución de deslizamientos de tierra y se calculan valores de ponderación basados en las sensibilidades por deslizamiento de tierra para cada clase de parámetro (por ejemplo, clase de pendiente, unidad litológica, tipo de uso de suelo).

✓ **Análisis estadístico multivariado:**

Aquí se resaltan los métodos como el análisis discriminatorio o la regresión múltiple, los cuales requieren el uso de paquetes estadísticos externos. Las técnicas SIG se utilizan para muestrear parámetros para cada unidad terrestre. Sin embargo, el gran volumen de datos puede convertirse en un problema. El método requiere un mapa de distribución de deslizamientos de tierra y un mapa de unidad terrestre. Se utiliza un gran número de parámetros, a veces hasta 50, Figura 25.

Figura 25 Análisis estadístico multivariante



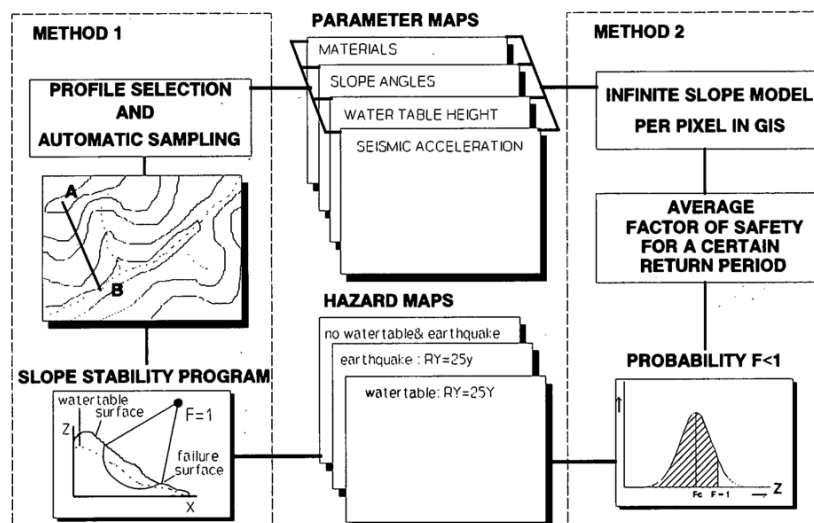
Nota. Uso de SIG para análisis estadístico multivariante de Soeters y Van Western (1996), recuperado de (Irigaray & Chacón, 2002).

3.2.4.4. Métodos determinísticos:

Soeters y Van Western (1996) son aplicables sólo cuando las condiciones geomorfológicas y geológicas son bastante homogéneas en toda el área de estudio y los tipos de deslizamientos de tierra son simples. Estos modelos se basan en modelos de estabilidad de taludes, lo que permite el cálculo de valores cuantitativos de estabilidad (factores de seguridad). El principal

problema con estos métodos es su alto grado de simplificación. Un método determinista que normalmente se aplica para deslizamientos de tierra traslacionales es el modelo de pendiente infinita según Ward et al. (1982); así también Okimura y Kawatani (1986) dicen que estos métodos deterministas generalmente requieren el uso de modelos de simulación de aguas subterráneas.

Figura 26 Análisis determinístico



Nota. Uso del GIS en análisis determinístico tomado de Soeters y Van Western (1996)

Aplicación de análisis de talud infinito (factor de seguridad): Soeters y Van Western (1996)

dicen que estos modelos requieren datos de entrada sobre el grosor de la capa del suelo, la resistencia del suelo, la profundidad debajo de la superficie del terreno a las posibles superficies deslizantes, el ángulo de pendiente y las condiciones de presión del poro que se esperan en las superficies deslizantes. Los siguientes mapas de parámetros deben estar disponibles para utilizar dichos modelos:

- Un mapa de materiales que muestra la distribución tanto en la superficie del suelo como en el perfil vertical con datos adjuntos sobre las características del suelo. Un mapa a nivel de aguas subterráneas basado en un modelo de aguas subterráneas o en mediciones de campo, y un

mapa detallado de ángulo de pendiente derivado de un DEM muy detallado. El uso de un modelo de pendiente infinita, que calcula el factor de seguridad para cada píxel. Selección de una serie de perfiles del DEM y los demás mapas de parámetros, que se exportan a modelos externos de estabilidad de taludes. Muestreo de datos en puntos de rejilla predefinidos y exportación de estos datos a un modelo de estabilidad de talud tridimensional.

Para Soeters y Van Western (1996) por lo general, los factores de seguridad y probabilidades resultantes no deben utilizarse como valores absolutos a menos que el análisis se realice en un área pequeña donde todos los parámetros son bien conocidos. Normalmente sólo son indicativos y se pueden utilizar para probar diferentes escenarios de superficies deslizantes y profundidades de aguas subterráneas. El método es aplicable sólo a gran escala y en áreas pequeñas.

IV. CARACTERÍSTICAS DE LA ZONA DE ESTUDIO

4.1. Ubicación y accesibilidad

El área de estudio se encuentra a 2.5km al Suroeste del centro poblado de Circamarca; políticamente pertenece al distrito de Huancaraylla, provincia de Víctor Fajardo, departamento de Ayacucho en Perú. Geográficamente, se encuentra sobre los 3500 m.s.n.m. a 4000 m.s.n.m. en los valles interandinos de la Cordillera Occidental, en la cuenca del río Pampas (Lámina 1, Anexo 3). Hasta la fecha hay varias vías de acceso y estas se detallan en la Tabla 3.

Tabla 3 Vías de acceso

OPCIÓN	TRAMO	DISTANCIA	CONDICIÓN	TIEMPO
		km		h
A	Lima - Ayacucho	543	Asfaltado, doble vía	8
	Ayacucho - desvío de Condorgocha	54.76	Asfaltado, doble vía	1
	Condorgocha - Huancapi	62	Asfaltado, una vía	1.5
	Huancapi - Circamarca	11.5	Afirmado, una vía	30min
	Total recorrido	671.26	Tiempo promedio	11
B	Lima - desvío de Alpachaca	502	Asfaltado, doble vía	7
	Alpachaca - Cusibamba	30	Afirmado, una vía	1
	Cusibamba - desvío Condorgocha	3.37	Asfaltado, doble vía	5min
	Condorgocha - Huancapi	62	Asfaltado, una vía	1.5
	Huancapi - Circamarca	11.5	Afirmado, una vía	30min
Total recorrido	608.87	Tiempo promedio	10	
C	Lima - Palpa	404	Asfaltado, doble vía	6
	Palpa - Carapo	185	Pavimento básico, una vía	5
	Carapo - Circamarca	51.5	Afirmado, una vía	1
	Total recorrido	640.5	Tiempo promedio	12
D	Lima - Puquio	601.7	Asfaltado, doble vía	9
	Puquio - Huancapi	260.5	Pavimento básico, una vía	7
	Huancapi - Circamarca	11.5	Afirmado, una vía	30min
	Total recorrido	873.7	Tiempo promedio	17
	Circamarca - Fin de la carretera	2.5	Afirmado - trocha	10min
Qda. Ucu Cocha: Millpu, Aguas Turquesa	1	Camino de herradura	30min	

4.1.1. Clima

Según los estudios presentados en el informe de Zonificación Ecológica Económica Ayacucho, el rango de precipitación multianual de la zona de estudio varía 800 a 1000 mm/año, pero es importante recordar que el periodo de lluvia es de diciembre a marzo. La temperatura máxima multianual varía de 16 a 20°C mientras que la temperatura mínima multianual varía de 4 a 8°C.

Por otro lado, la zona presenta un índice de severidad de sequía meteorológica moderada que varía de 0.3 a 0.4. La frecuencia de heladas meteorológicas va de 180 a 270 días/año.

4.1.2. Fauna y flora

A partir de las observaciones de campo, así también Cucho (2022) describió parte de la flora y fauna en los alrededores de la comunidad de Circamarca; se corroboró con la descripción de la ficha de inventario del recurso turístico en la plataforma Geo Perú.

La fauna silvestre no permanece en un solo lugar sino, están en continuo traslado en busca de su alimento, en este grupo se encuentran el venado, el puma, la vizcacha, la lagartija, el loro, , la perdiz, la paloma, el gavián, , gorriones entre otras.

La flora silvestre varía con la altitud, se encuentran el sancay, el huarango y la tuna, a más altura se encuentra retama, guinda y chamana, con abundante mezcla de gramíneas y hierbas perennes. Y a más altura están los pastos naturales en una asociación de especies de ichus, calamagrostis, poas y festucas.

4.1.3. Demografía

El Distrito de Huancaraylla hasta el 2017 contaba con 1278 habitantes; dentro de ella 384 pertenecen a la Comunidad de Circamarca, esta comunidad es la población más cercana a la zona de estudio. Es por ello por lo que se amplió algunos detalles de la población según el CENSO del 2017 del INEI. Del total de 384 habitantes; el 54% son mujeres y 46% varones; según su ciclo de vida, el 20.5% son de primera infancia y niñez (0 a 11 años), 12.5% están en la adolescencia, 11% son jóvenes de 18 - 29 años, 35% son adultos y 21% adultos mayores a 60 años. Hasta dicha fecha se registró que el 49% contaba con servicio de agua permanente y 43% con alumbrado eléctrico. El 93% de la población aprendió hablar el quechua, el 66% sabe leer y escribir y el 28% de la población contaba con teléfono celular. El 95% de la población vive permanentemente en el distrito y el 94% de la población trabaja dentro del distrito.

No se encontró aún información detallada de las actividades económicas, pero a grandes rasgos es posible señalar que casi el 90% de la población de la población de Circamarca se dedica a la producción agrícola de autoconsumo, el resto está entre profesionales y pequeños comerciantes y la actividad del turismo. Esta comunidad cuenta con un puesto de salud, además, con centros educativos de nivel inicial, nivel primario y nivel secundario, uno de cada uno según la información recabada en la Plataforma Nacional de Datos Georreferenciados Geo Perú.

Circamarca es el pueblo con creciente número de emprendedores en la provincia de Víctor Fajardo, destacando provisión de carne de ovino, cereales, venta de truchas y actividades relacionadas con el principal centro turístico las Aguas Turquesas y las cascadas de Millpu, pero también están en prospecciones arqueológicas en la quebrada superior del río Millpu.

4.1.4. Actividad turística

Las condiciones geológicas, geomorfológicas y climáticas permiten encontrar las pozas naturales de Huancaraylla, si bien algunos pobladores tenían conocimiento del sitio, alguno menores de edad eran prohibidos acercarse demasiado por lo accidentado de la zona, es decir altas pendientes. El interés de parte del público nació cuando el sr. Javier Hueillcahuari Arotoma y familia realizaron tomas fotográficas y compartieron por las redes sociales en el 2015 (fuente oral tomada de la agencia de viajes Huancaraylla Tours Perú). Posteriormente, este trabajo fue reconocido mediante una Resolución de alcaldía N°075-2017-MDH/A en cumplimiento de sus funciones. La primera ficha de inventario fue elaborada por Sardón (2019) quien registró con el nombre de Piscina natural de Millpu en el 2018, categoría de sitio natural, tipo como aguas minero – medicinales y además señaló que hasta entonces no tenía administración pública ni señalización turística y el ingreso era libre por una trocha carrozable.

A fines del 2017, el acondicionamiento para la actividad turística era deficiente, tal se aprecia en la Figura 27 donde el camino era angosto, y accidentado, no había señalización apropiado. Esto cambió con el tiempo, en el 2020 ya se encuentra caminos más amplios, escaleras con barandas,

casas temporales donde descansar o protegerse del sol o lluvia, señalización, pero aún hay aspectos que mejorar.

Figura 27 Condiciones del acceso en 2017 y 2020

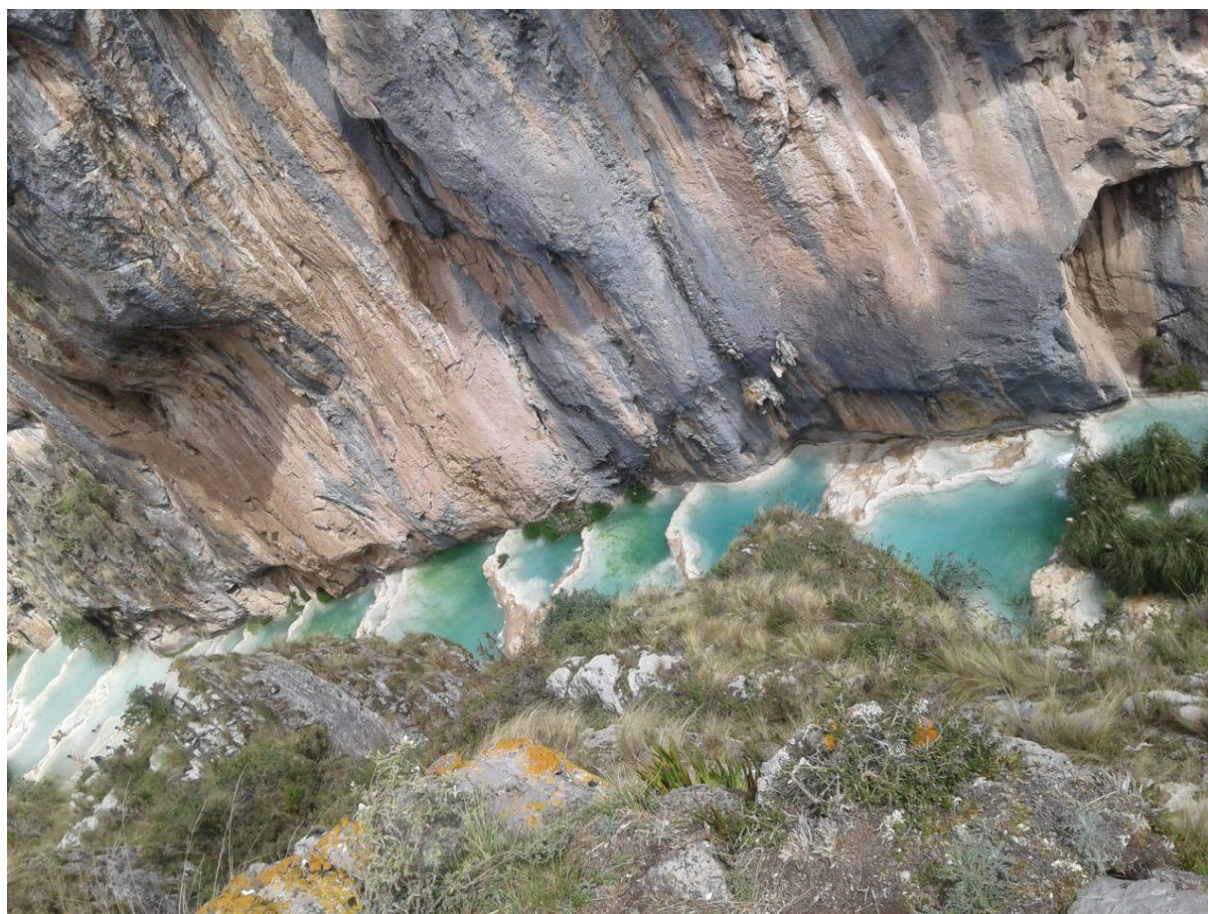


Gamboa (Gamboa, 2022) afirma que tanto el sector privado como el sector público van realizando acciones para que el flujo turístico se mantenga; concluye que falta una mayor coordinación entre las instituciones y autoridades para una buena gestión turística en el circuito de Millpu. Por otro lado, Desposorio y Huisa (2022) encontraron que la población de Huancaraylla y comunidad de Circamarca muestran un nivel de conciencia medio respecto al conocimiento y actitud del poblador con el turista.

Actualmente, al 2022, ya se puede encontrar información en la Plataforma Nacional de Datos Georreferenciados Geo Perú, en la pestaña de Turismo. En la ficha de recurso turístico esta denominada como Aguas Turquesas de Millpu (código 11029), categoría de Sitio Natural y tipo corriente de agua. En la descripción se dice "Sus aguas nacen en el encuentro de dos ríos denominados Pichqa Puquio y Arpanqa, que se encuentra a medio kilómetro del lugar, donde ingresa por una bocatoma denominado "Millpu". Estas aguas atraviesan un conducto subterráneo de 600 metros aproximadamente y luego brotan por una pequeña laguna, cuyas aguas discurren

por una espectacular cascada que tiene la forma de un velo de novia, con varios altos de diversas alturas que oscilan de 10 a 20 m. Desde ahí las aguas del río son de color turquesa y/o verde transparente, las cuales recorren por un cañón conformado de treinta y tres pozas de diversos tamaños”. De la misma ficha se sabe que el 2019 llegaron a visitar 27256 personas. El ingreso cuesta 5 soles (tarifa general). Las actividades que se pueden realizar son: caminatas, observación de aves, fauna, flora, paisaje, compra de artesanías y toma de fotografías y filmaciones.

Figura 28 *Principal atractivo turístico, pozas escalonadas en travertino*



4.2. Geología regional

Se ha tomado como base la información de los mapas escaneados a escala uno en cincuenta mil que está colgada en el GEOCATMIN, de la cual se muestra una ampliación de la zona de estudio en la Lámina 2, también se puede visualizar en el Anexo 3.








En la zona de estudio y alrededores se encuentran rocas bastante antiguas que son del Grupo Pucará (Triásico superior-Jurásico inferior) constituido de calizas grises mudstone y presentan pliegues con sentido andino. La Formación Labra (Jurásico Superior) aflora al sur oeste de la zona de estudio, está constituida de areniscas cuarzosas parduscas y blanquecinas intercaladas con delgados niveles de limoarcillitas y sobreyace mediante una falla inversa sobre la Formación Murco.

La Formación Murco (Cretaceo inferior) también aflora al sur oeste y consta de limoarcillitas y areniscas. La Formación Arcurquina (Cretaceo inferior-superior) aflora al sur oeste de la zona de estudio y gran extensión con pliegues sentido andino, está constituido de calizas mudstone a wakestone de color grises con nódulos de chert. La Formación Castrovirreyna (Paleógeno – Neógeno) aflora al noreste de la zona de estudio y por medio de una falla inversa se sobrepone al Grupo Pucará, está constituido de conglomerados subredondeados en matriz areno tobácea. Unidades de origen volcánico como Jello Jasa aflora un área considerable al oeste de la zona de estudio, constituido de intercalaciones de lavas andesíticas porfíricas con lavas vitrofídicas con fenocristales de plagioclasas; mientras que la unidad Yanamachay aflora en un área muy pequeño al norte del área de estudio, constituido de toba de cristales con abundantes cristales de feldespato potásico y cuarzo. También se encuentran depósitos glaciares, fluviales y depósitos químicos de travertino al oeste del área de estudio.

4.3. Geología local

Para conocer la geología local se contó con información de campo y estudios de geología regional. En la Figura 29 se muestra un resumen de las unidades estratigráficas, la posición y tiempo cronológico.

Figura 29 Columna cronolitoestratigráfica

EÓN	ERA	PERIODO	ÉPOCA	EDAD	Ma	UNIDAD LITOESTRATIGRÁFICA	LITOLOGÍA	DESCRIPCIÓN
FANEROZOICO	CENOZOICO	Cuaternario	Holoceno	Megalayense	0.012	Qh-al Depósito Aluvial		Son laminas onduladas con limos, arcillas y arenas finas deleznales.
				Norgripiense		Qh-col Depósito Coluvial		Compuesto de bloques, fragmentos grandes, medianos, detritos tanto de rocas carbonatadas y volcánicas que en algunas zonas con relleno de materiales finos.
				Groenlandiense		Q-qm-tr Depósito Químico Travertino		Las tobas calcáreas son bastante porosa, forma agregados radiados, contiene abundantes restos de algas, plantas y gran parte son deleznales. Los travertinos son materiales más compacto, estan en agregado botroidal, estratificado y de textura cristalina.
			Superior	Q-de Depósito Deluvial			Está compuesto en mayor proporción de material fino como gravas, arenas, limos y escasos bloques. Son deleznales, salvo algunas zonas que esta con cemento calcareo.	
			Medio		Np- jj/andp Unidad Jello Jasa			La base con brecha es de color rojo grisáceo con clastos angulosos de andesita porfírica y bloques de 0.5 a 1m de andesita compacta gris rojizo; al centro y superior esta constituido de andesitas rojizas bien compacto.
			Calabriense			PN-ca Formación Castrovirreyna		Compuesto principalmente de clastos, cantos, bloques de calizas y margas en mayor proporción que las limolitas y areniscas calcáreas; estos están sostenidos en matriz limoarenosa y en unos casos en matriz de toba cristalolítica.
		Gelasiense	23.03	Mioceno	Messianiense			
		Tortoniense						
		Serravalliense						
		Langhiense						
		Burdigaliense						
		Aquitaniense						
		Paleógeno	Eoceno	Chattiense				
				Rupeliense				
				Bartoniense				
		MESOZOICO	Triásico	Superior	Rhaetiense			
					Noriense			
					Camienense			
					-237	Ts-ch Fm. Chambará		Compuesto de calizas, margas y algunos niveles de estratos muy delgados de areniscas calcáreas. Va de bancos de 2 m a estratos muy delgados de 10cm, con bordes ligeramente sinuosos. La mayoría de las rocas calcáreas contienen nódulos de sílice paralelos a la estratificación.

Nota: Elaboración propia.

4.3.1. Grupo Pucará

Esta unidad fue estudiada por primera vez por Mc Lauglin, D.H. (1924); Mergard, F. (1968) diferenció las tres formaciones: Chambará, Aramachay y Condorsinga pero Palacios, O. (1994) describió como un grupo indiviso en el cuadrángulo de Paras. Según (Asociación LAGESA, 1996) en el cuadrángulo de Huancapi y otros, el Grupo Pucará (Triásico superior – Jurásico inferior) fue cartografiado como una serie indivisa. Distinguieron que la parte inferior consta de calizas con proporciones subordinadas de areniscas y lutitas; En la parte superior presenta

calizas brechoides con matriz y elementos de la misma naturaleza y presencia de cherts y cineritas. También mencionan que en la zona de Huancaraylla, las calizas de parte inferior son claro blanquecinas y la parte superior son gris criptocritalinas, en bancos medianos que forman estructuras replegadas caóticas. Esporádicamente presentan lutitas calcáreas abigarradas y margas en capas delgadas, con desarrollo de micropliegues.

Esta investigación permitió describir al Grupo Pucará como una unidad carbonatada de estratos sinuosos muy deformada con pliegues hasta bancos de 3m. Dichas características permite considerar como la Formación Chambará.

4.3.2. Formación Chambará (Ts-ch)

Reyes et al. (2012) describen los últimos 250 m de espesor de la Formación Chambará en la sección Chinchao; principalmente como una sucesión de biomicrita gris claro a gris con concentraciones de chert, laminaciones sub paralelas, venillas de calcitas, estructuras estilolíticas, alternándose con niveles de intraesparita con clastos de carbonatos angulosos.

Por otro lado, Castañeda (2013) describe a la Formación Chambará calizas con estratificación paralela, superficies onduladas a irregulares; las calizas bien resistentes con apariencia maciza; pero, en algunos lugares se observan abundantes cuevas y depresiones. La parte inferior presenta capas de 1 a 3 metros de grosor, dichos estratos presentan gran cantidad de nódulos e inclusiones silíceas de forma irregular.

También Ramos et al (2021) describen que la Formación Chambará en la parte superior presenta nódulos de chert y ocasionalmente, presenta en la base niveles de areniscas calcáreas.

Figura 30 Afloramientos de la Formación Chambará



Nota. (A) estratos subverticales de la Formación Chambará. (B) concreciones elípticas de sílice. (C) calizas wackestone con parte nódulos de sílice. (C, F) fósiles reemplazados por sílice. (E) Escaso nódulos de hulla. Todo en la margen izquierda de la quebrada.

Las características observadas en la quebrada Ucucocha son similares a lo que describieron los autores mencionados. La Formación Chambará está constituido de calizas, margas y algunos niveles de estratos muy delgados de areniscas calcáreas. Va de bancos de 2 m a estratos muy delgados de 10cm, con bordes ligeramente sinuosos (Figura 30 A). La mayoría de las rocas calcáreas contienen nódulos de sílice (B, C) y escasos nódulos de hulla (E) paralelos a la estratificación (B).

Figura 31 Litologías de la Formación Chambará



Nota. (A) caliza microcristalina de dos tonalidades, gris oscuro y gris claro. (B) margas gris verdoso. (C) Estratos medios a gruesos de margas y calizas con nódulos de chert paralelos a la estratificación y fósiles reemplazados por sílice. Todo en la margen derecha de la quebrada.

Se observa la ausencia de estos nódulos en estratos delgados y en los afloramientos al sur oeste de Millpu. Los nódulos de sílice son formas muy irregulares, algunos algo elípticos (en ambos márgenes de la quebrada) y otros más alargados y plegados (principalmente al margen derecho de la quebrada, Figura 31). Cabe mencionar que en algunos estratos se encuentran restos fósiles de gasterópodos dispersos en bancos (Figura 30 D, F) que están reemplazados por sílice. Hay zonas como en la margen izquierda que unidad está fuertemente fracturada pero todavía se ve algo de la estratificación, las fracturas rellenas de sílice y calcita. También se encuentra

estructuras de brecha con matriz calcárea en algunos niveles de la estratificación. En la zona de estudio no se ve la base de esta unidad, le sobreyace en discordancia angular los conglomerados de la Formación Castrovirreya, andesitas de la Formación Jello Jasa y los depósitos químicos de travertino, además, buena área se encuentra expuesta a la intemperie.

La edad de la formación Chambará es del Noriano -Triásico datada en los Andes Centrales. (Reyes R., Cotrina, & Del Águila, 2012)

4.3.3. Formación Castrovirreya (PN-ca)

Esta unidad fue descrita por Salazar y Landa (1993) como una secuencia sedimentaria piroclástica constituida de areniscas, calizas tobas, brechas tobáceas y lavas que tiene su localidad típica al Norte de la laguna Nunya en la parte noreste del cuadrángulo de Tupe.

Figura 32 Afloramientos de la Formación Castrovirreya 3



Nota. Conglomerados cubiertos por conglomerados en matriz de toba.

Figura 33 Afloramientos de la Formación Castrovirreyna



Nota. (A y B) Conglomerados con clastos sub angulosos con cemento, al sur oeste de la cascada Millpu. (C) conglomerados al margen derecho de la quebrada Ucucocha.

Los conglomerados que se ha encontrado son pequeños afloramientos (Figura 33). Está compuesto principalmente de clastos, cantos y bloques de calizas y margas en mayor proporción que las limolitas y areniscas calcáreas, estos están sostenidos en matriz limoarenosa y en unos casos en matriz de toba cristalolítica (Figura 32). Presenta niveles con ligera alineación de clastos, niveles donde las gravas son angulosas y pequeñas. Están moderadamente litificados en los afloramientos que están cementados por carbonatos, mientras que son deleznable en las zonas con alto grado de meteorización.

Sobreyace en discordancia la Grupo Pucará, está cubierto de depósitos deluviales y expuesto a la intemperie.

Figura 34 Afloramientos de la Formación Castrovirreyna 2



Nota. Conglomerados en la margen izquierda de la quebrada Ucucocha, presenta clastos sub redondeados hasta bloques 1m de largo de caliza, margas, calizas brechadas y limolitas en matriz limo arenosa.

4.3.4. Unidad Jello Jasa (Np-jj/andp)

La Asociación LAGESA-C.F.G.S (1996) lo nombraron como Grupo Barroso; sin embargo, en el trabajo de revisión de este cuadrángulo por Quispesivana y Navarro (2003) consideraron el criterio de fuentes de emisión volcánica lo que justificó para que lo nombraran como unidad Jello Jasa que consta principalmente de lavas andesíticas. Esta unidad aflora en la margen izquierda de la quebrada y forma una altiplanicie. A la base presenta brecha (B, C en Figura 35) que luego cambia a depósito de lava. La brecha es de color rojo grisáceo contiene clastos angulosos de lava de andesitas con algunas vesículas alineadas y bloques de 0.5 a 1m de lava compacta gris rojizo bien compacto. Hacia el centro y tope consta de lavas violáceas de textura afanítica con escasos fenocristales de plagioclasa. Presenta las típicas disyunciones columnares (Figura 35). Yace discordante sobre el Grupo Pucará y los conglomerados de la Formación Castrovirreyna y con superficie completamente expuesta a la intemperie.

Figura 35 Unidad Jello Jasa



Nota. Unidad Jello Jasa a la margen izquierda de la quebrada Ucucocha.

4.3.5. Depósito Deluvial (Q-de)

Figura 36 Depósito deluvial



Nota. Depósito deluvial (Q-de) a la margen izquierda de la quebrada Ucucocha.

Son todo los sedimentos y bloques que cubren las laderas que resultan de la acumulación de fragmentos de los macizos rocosos y transportados ya sea por gravedad y o agua, el agua es uno de los agentes que descompone y transporta. Es la que cubre mayor área en la zona de estudio. Está compuesto en mayor proporción de material fino como gravas, arenas, limos y en partes con cemento calcáreo, no está consolidado (Figura 36), salvo las zonas en que hubo gran concentración de carbonato están cementados. Yace en discordancia sobre el Grupo Pucará y los conglomerados de la Formación Castrovirreyna.

4.3.6. Depósito Químico Travertino (Q-qm-tr)

Esta unidad se ha cartografiado durante la actualización de los cuadrantes de la hoja 28ñ en un mapa preliminar (Andía, Torres, Ayala, Coaquira, & Valdivia, 2015) a 3km al oeste de Millpu, más en esta zona de estudio no se ha cartografiado. Para entender mejor este tipo de depósitos se revisó diferentes bibliografías. Se encontró que Rodríguez (2017) explica sobre estos tipos de depósitos: Los travertinos y tobas son depósitos que se formaron por la precipitación de carbonato cálcico, en ambiente continental (no marino) relacionado a manantiales (sub aéreo y subacuáticos) y medios fluviales.

Tabla 4 Características de tobas y travertinos

CARACTERÍSTICAS	TOBAS	TRAVERTINOS
Etimología	Griego "tophus" porosidad y poco consolidado. Ojo en inglés tufa=toba calcárea; tuff=roca volcánica porosa.	Latín "lapis tiburtinus" piedra del Tibur, actual Tívoli.
Porosidad	Alta	baja
Microorganismos	Evidente presencia de microorganismos y restos vegetales (vegetales encostrados por CaCO ₃ , in situ, acumulados, oncoides y estromatolitos.	bajo
Forma		Dendritas y plaqueta
Facies	Elementos vegetales encostrados por carbonato de calcio, oncoides y estromatolitos entre otras.	Dendritas, plaquetas y entre otras

T° del agua de cual precipitan	Menor a 20°C, algunas veces a temperatura del aire.	Variado: >95°C (lago Bogoria, Kenia); 72°C (Mammot Hot Spring); 35°C (Pammukale, Turquía); 23°C (TAívoli, Italia)
PH	Mayores a 7 y muy frecuente entre 8 a 8.5	6 a 7.5, aunque 9 a más en Bogoria.
Señal isotópica	Los valores isotópicos de $\delta^{18}O$ muestran señales isotópicas de las aguas meteóricas de la zona de recarga del acuífero. El valor isotópico de $\delta^{13}C$ en las tobas es en general negativo, en los travertinos es frecuente positivo, pero no es absoluto.	
Mineralogía		Calcita, aragonítico-calcítica (aragonito domina en el manantial proximal y la calcita en la zona distal)
Sustrato rocoso	Carbonáticos y acuíferos del este mismo sustrato. Pero no son exclusivos.	Variado, común en rocas carbonáticas y volcánicas.
Presión parcial de CO2	La p (CO2) en el agua ($4 \text{ y } 8 \times 10^{-4}$ atmósferas) es más alta que la p(CO2) en la atmósfera (3.16×10^{-4}). Aguas termógenas (contienen CO2 disuelto de origen profundo) y aguas meteógenas (CO2 disuelto de origen meteórico)	

Nota. Características de las tobas y travertinos, extraído de Rodríguez (2017) y los autores que citó.

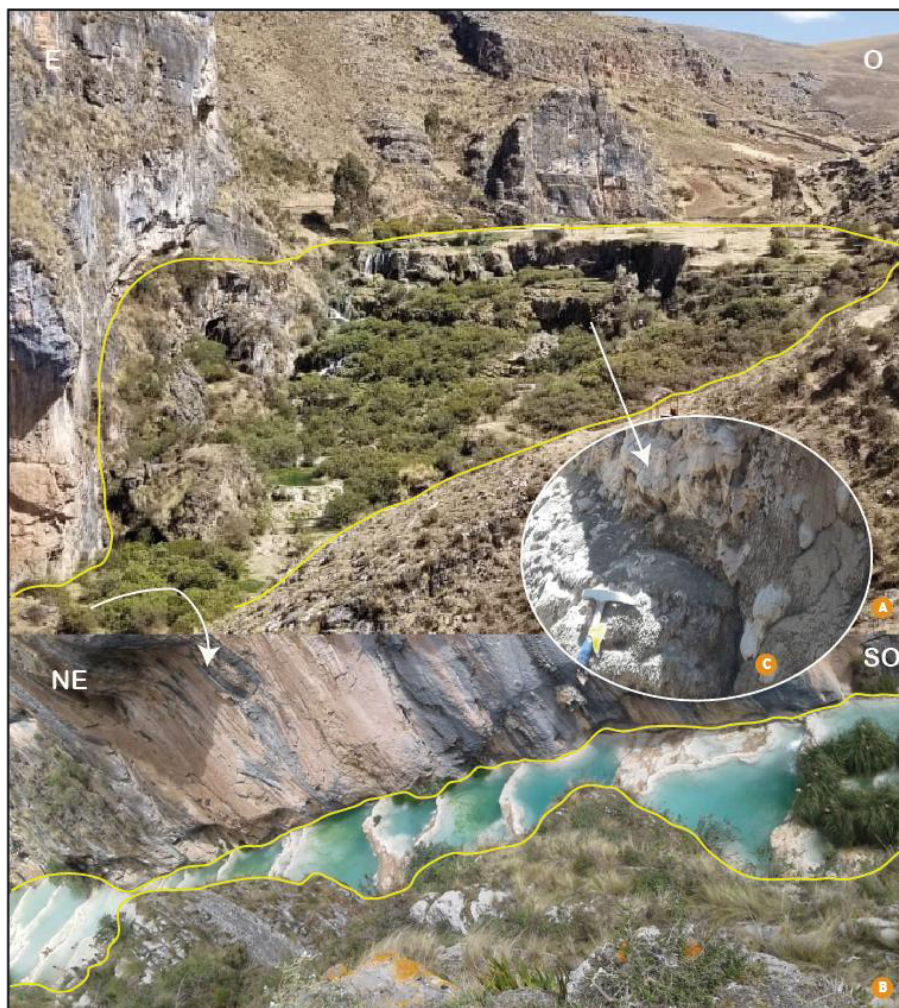
Rodríguez (2017) también concluye que hasta la fecha en la comunidad científica no había una sola definición ni clasificación de este tipo de depósitos. Las características evaluadas son diversas; los más frecuentes son los criterios de facies (campo) de temperatura del agua y recientemente los basados en el origen del CO2. Una sencilla distinción visual enfocada en características como facies, porosidad, contenido fósil o tamaño cristalino sería una forma más práctica e intuitiva de distinguir y clasificar estos depósitos.

Por otro lado, el IGME (Instituto Geológico y Minero de España) define al travertino como “Caliza de color claro, con textura a menudo porosa o tubular, resultado de la precipitación de carbonato cálcico en el seno del agua, muchas veces sobre restos vegetales.” (Díaz, Gallastegui, González, & Mancebo, 2019, pág. 126) y los sinónimos son caliza travertínica, masa travertínica y toba calcárea.

Los depósitos químicos de travertinos y tobas en la zona de estudio se observan desde una laguna de 357 m² (Royllocucho) y se forma una terraza de 9750m² (casi 1ha). La terraza termina en una escarpa donde presenta bloques de un reciente colapso y más abajo abundan pozas escalonadas (Figura 37; **Error! No se encuentra el origen de la referencia.**). Predomina las tobas calcáreas, ya que son bastante porosa, forma agregados radiados, contiene abundantes restos de algas, plantas y son deleznales. Este tipo de terraza se vuelve a ver a 640m lineal

aguas abajo, donde tiene una mayor extensión. Es decir, presenta zonas escarpadas con bloques de tobas calcáreas caídas. De forma similar se observa agregados fibrosos algo radiado que acumulados están algo bandeados, así también es posible encontrar tobas con abundantes restos de vegetales (Figura 38).

Figura 37 Depósitos químicos de travertino



Nota. Depósitos químicos de travertino, en la zona de la cascada de Millpu.

A medida que aparecen las pozas escalonadas se ve el material tipo travertino porque el material es más compacto y en agregado botroidal. Las pozas escalonadas con bordes de travertino se extienden 415m de largo del río Millpu; vuelve aparecer a los 760m en línea recta aguas abajo, después de la segunda terraza en toba calcárea.

Por las características de campo la segunda terraza es la más antigua ya que el agua ya no discurre por todas sus cavidades. Además, en la zona de confluencia con la quebrada Choccuihualcca, se presenta travertinos bandeados horizontales microcristalino (A).

Figura 38 Depósitos químicos de travertino 2



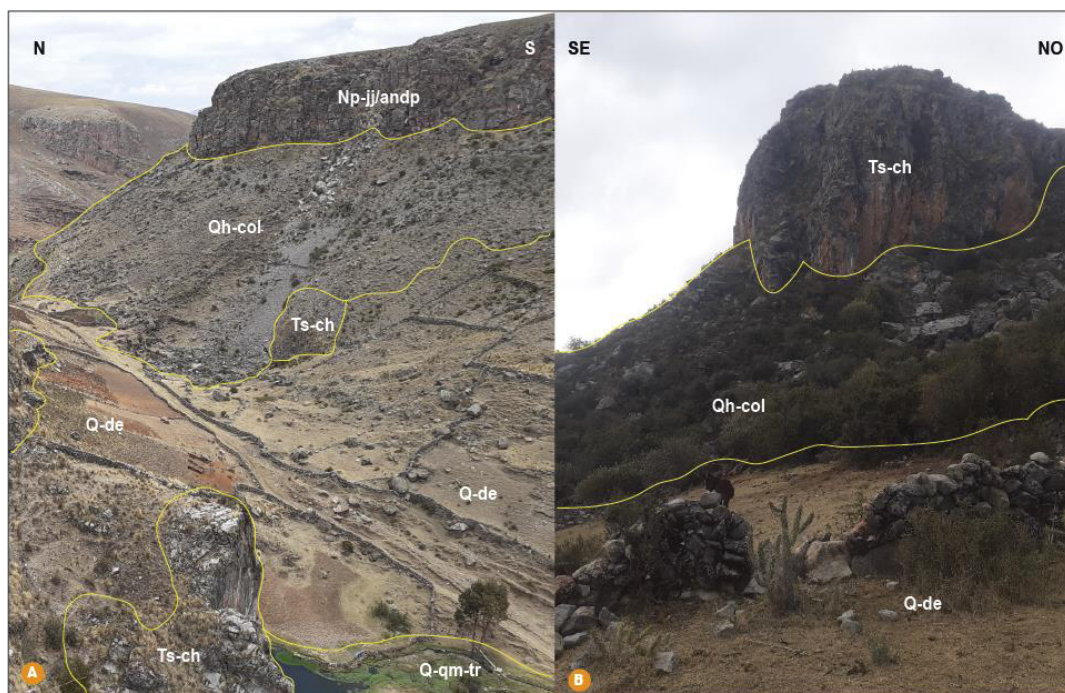
Nota. Depósitos químicos de travertino, en la zona de Pataqocha.

4.3.7. Depósito Coluvial (Qh-col)

En la zona de estudio se describe a todo material que se acumula al pie de los cerros, producto del desprendimiento y transporte principalmente por la gravedad. Está compuesto en gran parte por bloques, fragmentos grandes, medianos, detritos tanto de rocas carbonatadas y volcánicas. Puede o no estar relleno por materiales finos, decir que no está compactado y ello hace que

sea más propenso a que se desplacen ya sea por rotación o rebote (Figura 39). Sobreyace en discordancia sobre el Grupo Pucará, los conglomerados de la Formación Castrovirreyna y parte de los depósitos deluviales.

Figura 39 Depósito coluvial



Nota. Depósitos coluviales al pie de afloramientos rocosos volcánicos y sedimentarios.

4.3.8. Depósito Aluvial (Qh-al)

Se presentan al sur oeste de la zona de estudio. Es resultado de la acumulación de los sedimentos que provienen de dos quebradas, cuyos componentes fueron transportados por las escorrentías y temporadas de alto caudal. En esta zona pierden velocidad por que los conglomerados de la Formación Castrovirreyna forman un dique que impide el paso, el agua filtra por un tragadero que se formó en las rocas de la Formación Chambará (Figura 40). Los sedimentos estn dispuestos en laminas onduladas de limos, arcillas y arenas finas, son deleznales porque no estn compactados (B en Figura 40).

Figura 40 Depósito aluvial



Nota. Formación Chambará y Castrovirreyna que permiten la acumulación del depósito aluvial.

El plano de la geología local se encuentra en el Anexo 3, Lámina 3.

4.4. Geología estructural

4.4.1. Estratificación

Es el plano borde de los estratos. Estos pueden ser planos rectos, sinuosos y límites difusos. La estratificación se refleja en las unidades de la Formación Chambará (Figura 30 A, Figura 31 C), Castrovirreyna y los depósitos químicos de travertino. Los estratos de la Formación Chambará tiene más variación en su inclinación a diferencia de las otras formaciones mencionadas.

4.4.2. Discordancias

Es el límite interrumpido entre dos unidades litológicas. Es el caso ente las Formaciones Chambará y Castrovirreyna (40), unidad Jello Jasa y Formación Chambará, los depósitos químicos de travertino sobre la Formación Chambará y otros depósitos.

4.4.3. Pliegues

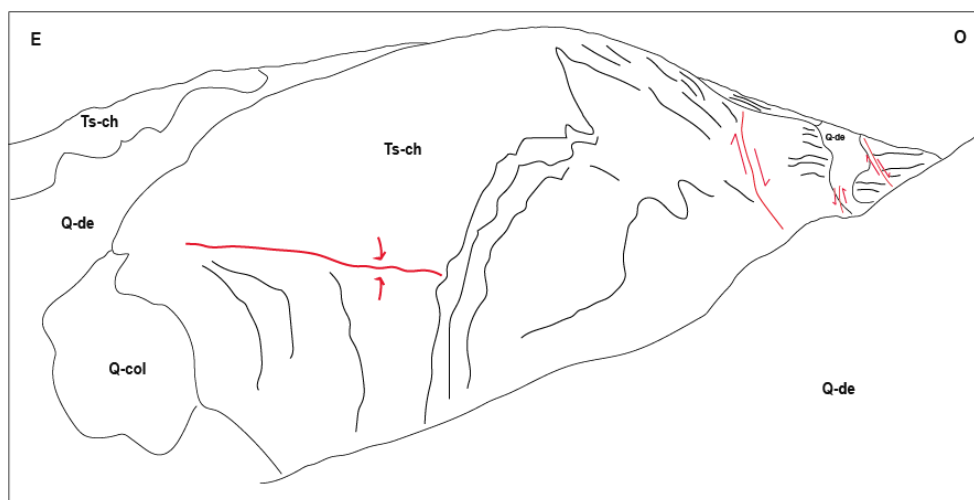
Son la deformación de los estratos. En la zona de estudio la unidad lito estratigráfica deformada es la Formación Chambará. La mayoría de los pliegues interpretados a partir de los datos estructurales tienen sentido NE-SO y son muy locales. La estructura más importante de este tipo, observado en campo es el anticlinal de la Figura 41 y Figura 42.

Figura 41 Anticlinal



Nota. Anticlinal al margen derecho de la quebrada del río Millpu.

Figura 42 Esquema del anticlinal



4.4.4. Fallas geológicas

Es el desplazamiento relativo entre dos bloques, se ha interpretado a partir de los datos de campo, es decir cambio abrupto de los rumbos y buzamientos y fotointerpretación de las geoformas. Las fallas inversas inferidas en el sentido SO-NE y las fallas de rumbo con ligero movimiento en la vertical con sentido norte – sur, se muestran en los esquemas de la Figura 43 a la Figura 46.

Figura 43 Fallas de rumbo



Nota. Fallas de rumbo en la margen derecha de la quebrada del rio Millpu.

Figura 44 Esquema de fallas de rumbo

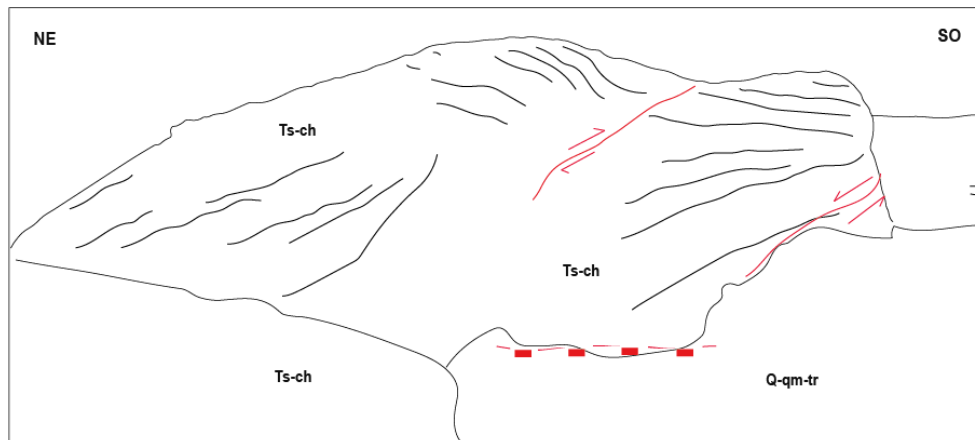
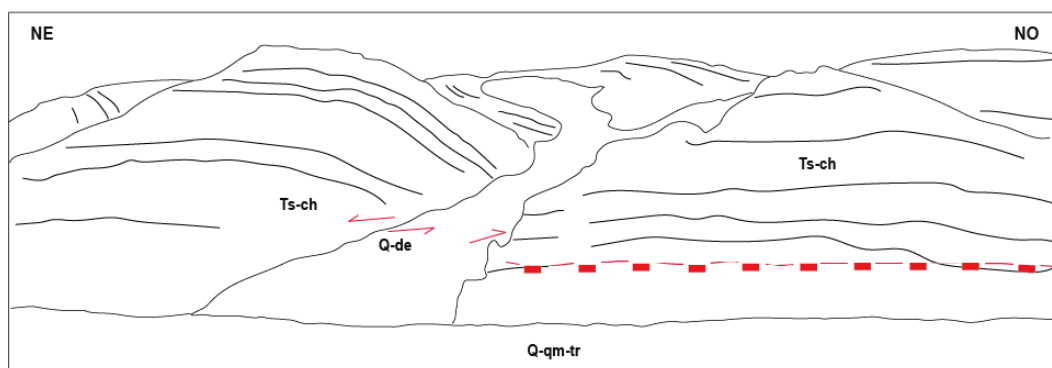


Figura 45 Falla normal y fallas de rumbo



Nota. Falla normal y fallas de rumbo al lado derecho de la cascada Millpu.

Figura 46 Esquema de fallas normal y fallas de rumbo



4.5. Geomorfología

4.5.1. Colinas

4.5.1.1. Colina abrupta en roca sedimentaria (RCA-rs)

Es una geoforma que resulta del proceso denudacional y degradacional de las rocas sedimentarias de la Formación Chambará lo que ha dejado relieves abruptos, laderas con pendientes mayores a 45°.

4.5.1.2. Colina abrupta en roca volcánica lávica (RCA-rvl)

Es una geoforma que resulta del proceso denudacional y degradacional de las rocas volcánicas de la unidad Jello Jasa lo que ha dejado relieves abruptos, laderas con pendientes de mayores a 45°.

Figura 47 Unidades geomorfológicas 2



Nota. Unidades geomorfológicas: Colina abrupta en sedimentaria (RCA-rs), Terraza en travertino (T-tr) y Colina en roca sedimentaria (RC-rs). El plano de unidades geomorfológicas se encuentra en el Anexo 3, Lámina 4.

4.5.1.3. Colina en roca sedimentaria (RC-rs)

Es una geoforma que resulta del proceso denudacional y degradacional de las rocas sedimentarias de la Formación Chambará que ha dejado como resultado laderas con pendientes entre 5° a 45°.

4.5.1.4. Colina en roca volcánica lávica (RC-rvl)

Es una geoforma que resulta del proceso denudacional y degradacional de las rocas volcánicas de la unidad Jello Jasa que ha dejado como resultado laderas con pendientes entre 5° a 45°.

4.5.2. Laderas

4.5.2.1. Ladera en depósito coluvial (L-co)

Es una geoforma que resulta del proceso depositacional y agradacional de abundante bloques, fragmentos y detritos que se acumulan en los piedemontes, dan resultado a laderas con pendientes muy variadas, pero resalta entre 25°-45°.

Figura 48 Unidades geomorfológicas 1



Nota. Unidades geomorfológicas: Meseta en roca volcánica lávica (RM-rvl), Colina abrupta en roca volcánica lávica (RCA-rvl), Colina en roca volcánica lávica (RC-rvl), Colina en roca sedimentaria (RC-rs), Ladera en depósito coluvial (L-co), Llanura o planicie en depósito deluvial (PI-de), Llanura o planicie inundable (PI-i) y Terraza en travertino (T-tr).

4.5.2.2. Ladera en depósito deluvial (L-de)

Es una geoforma que resulta del proceso depositacional y agradacional de bloques, fragmentos, detritos y material fino por gravedad y/o escorrentías que se acumulan en los

piedemontes, dan resultado a laderas con pendientes muy variadas, pero resalta entre 5°-45°.

4.5.2.3. Ladera en roca volcano sedimentaria (L-rvs)

Es una geoforma que resulta de proceso denudacional y degradacional de las rocas volcano sedimentarias. Son áreas muy reducidas. La pendiente está en el rango de 25° a 45°.

4.5.2.4. Ladera en travertino (L-tr)

Es una geoforma que resulta de proceso depositacional en un tiempo y luego denudacional y degradacional de los depósitos de travertino y toba calcárea que deja pendientes que va de 25° a más.

4.5.3. Llanuras

4.5.3.1. Llanura o planicie en depósito deluvial (PI-de)

Es una geoforma que resulta del proceso depositacional y agradacional de bloques, fragmentos, detritos y material fino por gravedad y/o escorrentías que se acumulan en los piedemontes. Al estar en medio de una quebrada y el río pasa por debajo de las rocas, dió dan resultado a pendientes bajas menor a 25°.

4.5.3.2. Llanura o planicie inundable (PI-i)

Es una geoforma que resulta del proceso depositacional de los ríos de dos quebradas y gracias a los procesos kársticos el agua continúa de manera subterránea. Además, los conglomerados de la Formación Castrovirreyna yacen en medio de la quebrada lo que permite ser una presa para que el agua baje la velocidad y todos los sedimentos se depositen. Esto permitió que se forme la llanura inundable.

4.5.3.3. Meseta en roca volcánica lávica (RM-rvl)

Es una geoforma que resulta de proceso degradacional de las rocas de la unidad Jello Jasa. Pero este proceso no es tan fuerte por ello no se ve tanta variación en la pendiente, solo varía de 0° a 15°.

4.5.3.4. Terraza en travertino (T-tr)

Es una geoforma que resulta de proceso depositacional depósitos químicos de travertino y tobas calcáreas que deja pendientes que varía entre 0° a 15°.

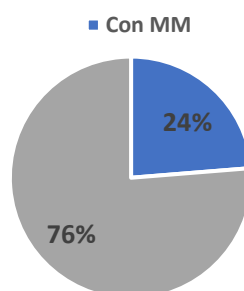
4.5.4. Presas en travertino (Pr-tr)

Es una geoforma que resulta de proceso depositacional de depósitos químicos de travertino que deja un relieve formado por pozas de diferentes tamaños que almacenan agua, en general las pendientes varían entre 0° a 45°.

4.6. Inventarios de movimiento en masa

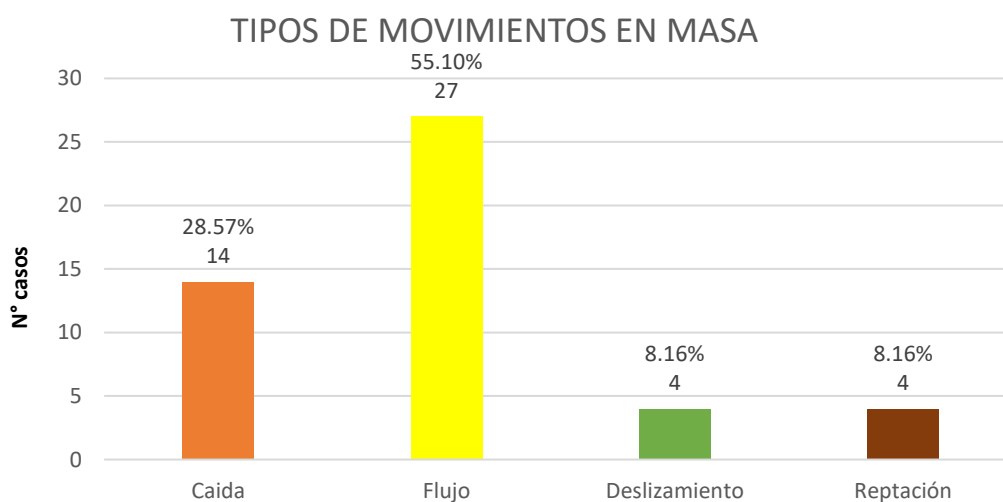
Se trabajó con un formato para inventario de movimientos en masa dado como guía por el PMA (2007) el cual se adaptó a los tipos de movimientos que se esperó encontrar. En este inventario se cuenta con datos de localización geográfica, actividad de movimiento, litología y estratigrafía, la clasificación de movimiento, morfometría, causas del movimiento, cobertura y uso del suelo, efectos y daños. Estas fichas se encuentran en el Anexo 2.

Figura 49 Proporción de áreas



En el área de estudio se ha cartografiado y foto interpretado 49 zonas con movimientos en masa tanto antiguos como recientes; de los cuales 23 cuentan con fichas de inventario y 26 son resultados de la fotointerpretación sobre una ortofoto en la zona de estudio. En la Figura 49 Proporción de áreas se comprenden que el 24% del área total de la zona de estudio presenta movimientos en masa. Estas 49 zonas con movimientos en masa son de diferentes dimensiones, es posible distinguir en tres grupos: muy pequeñas que tienen áreas menores a 200 m², pequeñas que tienen áreas entre 200 m² – 2000 m², medianas que tienen áreas entre 2000 m² – 20000 m² clasificación según Cornforth (2005). La extensión y ubicación de estos movimientos en masa se encuentran detallados en el plano de inventario de movimientos en masa en el Anexo 3, Lámina 5.

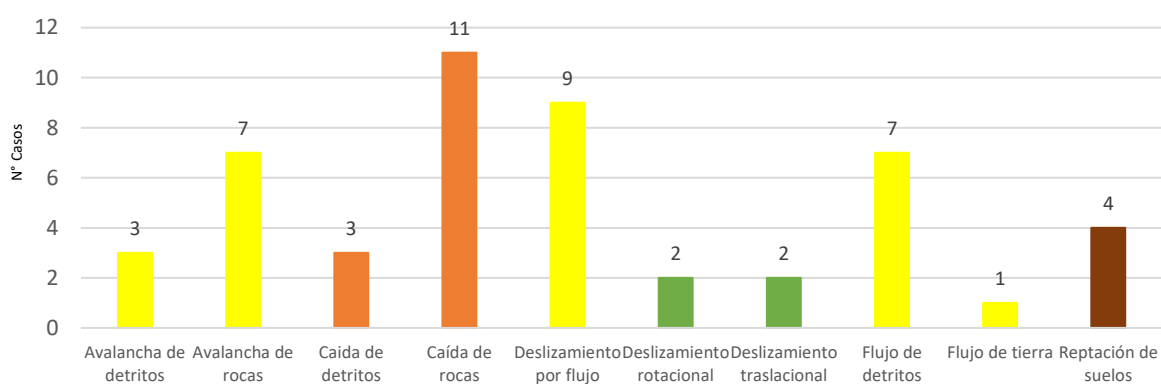
Figura 50 Número de casos por tipo de movimiento de masa



Los tipos de movimiento en masa encontrados en la zona de estudio son 4 tipos: caída, flujo, deslizamiento y reptación, los números de casos por tipo son variados y se grafica en la Figura 50. De los 49 casos el 28.57% son de tipo caída con 14 casos, 55.10% son de tipo flujo con 27 casos, 8.16% de tipo reptación y otro 8.16% son de tipo deslizamiento cada uno con 4 casos.

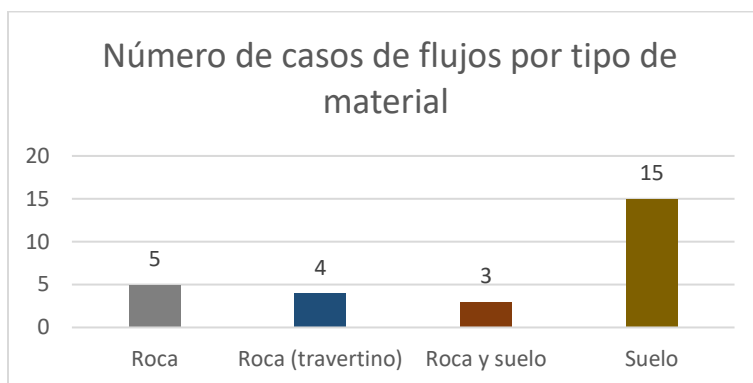
Los 4 tipos de movimientos en masa se abren en 10 subtipos de movimientos en masa (Figura 51): el flujo en avalancha de detritos, avalancha de rocas, flujo de detritos y flujos de tierra; la caída en caída de detritos y caída de rocas; el deslizamiento en rotacional y traslacional y por último la reptación solo se encontró de suelos. El área que han ocupado y/o ocupan los movimientos en masa es muy variado siendo el área más pequeña de 35 m² y el área más grande de 73 817 m².

Figura 51 Número de casos en cada subtipos de movimiento en masa



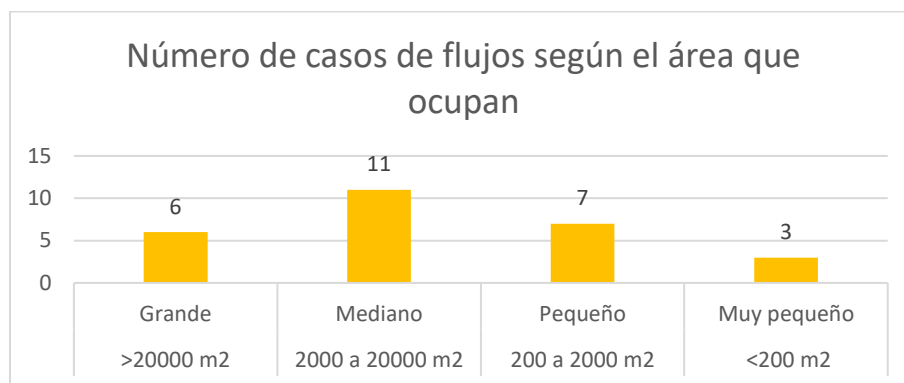
4.6.1. Flujos

Los flujos es el tipo de movimientos en masa con mayores casos dentro del inventario, representa el 55%. Se da en suelos y rocas, (ver Figura 52) se tiene que cinco casos ocurrieron en roca muy fracturada, por el material se le conoce un tipo de flujo conocido como avalancha de rocas. Cuatro casos en roca tipo travertino, se diferencia porque este tipo de roca presenta partes deleznales; sus características califican en un tipo de flujo llamado deslizamiento por flujo. Tres casos sobre fragmentos rocosos heterogéneos en tamaño y suelo; estos pueden clasificarse como avalancha de rocas o avalancha de detritos, según predomine el tipo de material. Otros quince casos desarrollaron en suelo con bajo contenido de fragmentos rocosos. En este último hay varios tipos de flujo como flujo de detritos, flujo de tierra, avalancha de detritos y deslizamiento por flujo.

Figura 52 Tipos de flujo inventariado

El GD06 (Figura 53) es un caso de flujo tipo deslizamiento por flujo, es decir que se inició con un pequeño deslizamiento del bloque, luego los materiales del bloque deslizante fueron desintegrando y se prestan para generar flujos de detritos y tierra. En total los 27 casos ocupan áreas muy diversas en tamaño, desde muy pequeños (menor a 200 m²) hasta grande (mayor a 20 000 m²) se muestra gráficamente en la Figura 54.

Figura 53 GD06 Deslizamiento por flujo

Figura 54 Tipo flujo según tamaño

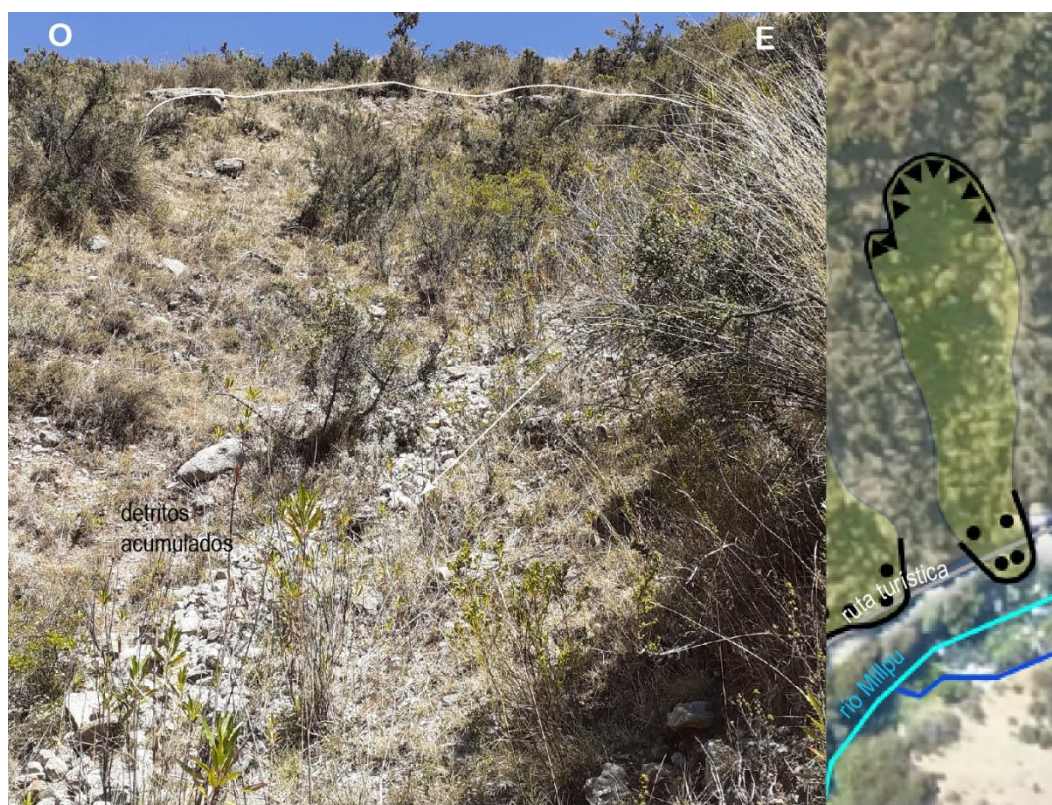
De los 27 casos, se encontró que los casos más críticos por las consecuencias que podría llevar son: GD07, GD08, GD10 y GD11. Se describen a continuación.

Figura 55 GD07 flujo de detritos

El GD07 se encuentra en la parte superior de la “ruta turística”, al margen izquierdo del río Millpu. Se desarrolla sobre depósito coluvial, se encuentra suspendido por que se activa en las

temporadas de lluvia. El estilo es compuesto por que se observa que en la parte de la cabeza sucedieron pequeños deslizamientos, lo que a la fecha se ven las escarpas y el bloque desplazado se fue desintegrando gracias al acción meteórica del agua. Del cual los últimos en ser desplazados son los bloques, bolones y gravas de mayor densidad. Entonces el tipo de movimiento es el flujo de detritos, la cantidad de material fino es menos del 10% en la superficie porque varia a profundidad del depósito. El material se clasifica como grava mal graduada (GP). La pendiente en la escarpa principal es 80° , en las escarpas laterales baja a 60° , en el cuerpo y zonas acumuladas varía de 30 a 40° . El factor condicionante para que se continúe dado este fenómeno es el material agrietado y fisurado (Figura 55), mientras que el detonante principal es la erosión superficial.

Figura 56 GD08 Flujo de detritos



Algunas partes está cubierta por matorrales, ichu y algunas espinas, por ellos los pobladores dejan caminar a sus animales para que busques su alimento. Los daños se consideran de tres

tipos: infraestructura, en este caso podría ser un daño leve en el camino “ruta turística”; actividades económicas, se verían perjudicados un número de turistas y un número menor de ganados por la pérdida de pastos naturales, ambos grupos con daños leves; mientras que el daño ambiental, sería modificación del paisaje natural, variación del caudal del río Millpu y/o desviación del cauce de manera leve.

El GD08 se encuentra en la parte superior de la “ruta turística”, al margen izquierdo del río Millpu. Se desarrolla sobre depósito coluvial, se encuentra suspendido y es de estilo compuesto. Similar al GD07 es de tipo flujo y se encuentra al Este (Figura 56). El material del depósito coluvial tiene alto contenido de grava, bolones y bloques, pero a partir del tamaño de gravas a menos permite clasificar como grava mal graduada. La escarpa principal tiene una pendiente de 70° mientras que en el cuerpo varía de 30 a 60° . El factor condicionante son el material agrietado y el factor desencadenante es la erosión superficial por el agua tanto como la lluvia, granizo y escorrentía. Presenta zonas cubierta de matorrales, ichu y espinas, salvo la zona de escarpa. El uso que dan a esta área es para pastoreo. Los daños son leves y de tres tipos: infraestructura, interrupción del camino “ruta turística”; actividades económicas, interrupción del paso a cierto número de turistas y otro número de ganados desplazados por la pérdida de pastos naturales; mientras que el daño ambiental, sería modificación del paisaje natural, variación del caudal del río Millpu y/o desviación del cauce de manera leve.

El GD10 es un movimiento tipo flujo de detritos y se encuentra al igual que el GD12 en la parte superior del camino “ruta turística”. Se desarrolla sobre depósito coluvial, los bloques desprendidos, gravas y detritos se acumulan a media ladera, estos avanzan por acción de la gravedad o son arrastrados por las escorrentías, entonces se activa en cada temporada de lluvia. El material fino está conformado de limo y arena, con baja cantidad de arcilla. En la parte de la cabeza presenta una escarpa principal menor a 2 metros de 70° promedio, mientras que en la parte del cuerpo varía de 30 a 60° (Figura 57).

Figura 57 GD10 Flujo de detritos



La causa condicionante es el material fallado por corte, cuya superficie de escarpa están siendo meteorizada; es decir primero son desalojados los materiales finos, luego las gravas, detritos y bloques, algunos quedan a media pendiente y luego son removidos por volúmenes considerables de escorrentía. Se encuentra cubierta por un poco de Ichu, pastizales, espinas y arbustos de 0.1 a 1m de altura, pero las escarpas se encuentran sin vegetación. En la cabeza se encuentra seco, pero cerca al pie se encuentra húmedo, es decir filtra agua, los registros de campo se realizaron en mes de noviembre cuando la lluvia todavía no es constante. Esta área y los alrededores suelen dejar caminar los ganados para que busquen su alimento.

El flujo de detritos llega hasta el río Millpu, pero antes cruza el camino "ruta turística" (Figura 58). Entonces los daños se consideran de tres tipos: infraestructura, en este caso podría ser un daño moderado al camino "ruta turística"; actividades económicas, se verían perjudicados cierto número de turistas como daños leves; mientras que el daño ambiental, sería modificación del paisaje natural, variación del caudal del río Millpu y/o desviación del cauce de manera leve.

Figura 58 GD10 Esquema del flujo de detritos



El GD11 de manera similar al GD10 es un movimiento tipo flujo de detritos y se encuentra a costado del GD10, en la parte superior del camino “ruta turística” (Figura 59). Se desarrolla sobre depósito coluvial y su estado es reactivo es decir por esta cubierto con mayor cantidad de vegetación tanto de matorrales, espinas e ichu, la erosión es baja, pero si podría activarse si es que hay un cambio fuerte en el talud, por el contexto de estar cerca al camino, la actividad humana podría ser un factor detonante. El material en la parte de la cabeza se encuentra seco, mientras que al pie hay filtración de agua, los datos de campo corresponden al mes de noviembre, la lluvia todavía no era constante. El material fue clasificado como grava pobremente graduada. La pendiente varia de 20 a 70° en la cabeza hasta la mitad del cuerpo luego varia solo de 20 a 50°. La profundidad de las escarpas es menos de 1m. El factor condicionante es el material fallado por corte y el factor detonante es la erosión superficial, sin embargo, es importante resaltar que ante una modificación abrupta de la pendiente podría activarse un deslizamiento. Por la cobertura vegetal que abunda, suelen entrar los animales a buscar sus alimentos.

Los daños se consideran de tres tipos: infraestructura, en este caso podría ser un daño moderado al camino “ruta turística”; actividades económicas, se verían perjudicados cierto número de

turistas como daños leves; mientras que el daño ambiental, sería modificación del paisaje natural, variación del caudal del río Millpu y/o desviación del cauce de manera leve.

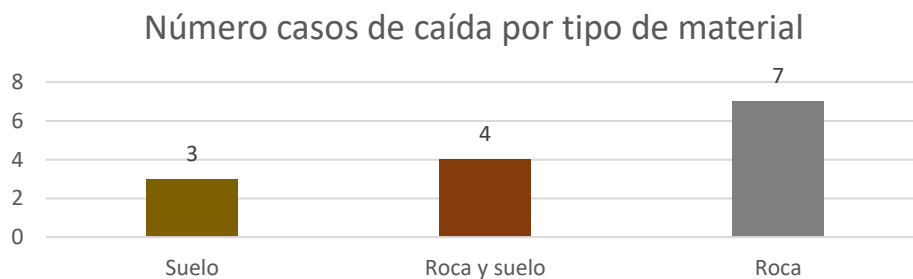
Figura 59 GD11 Esquema de flujo de detritos



4.6.2. Caídas

Las caídas representan el 29% del inventario de movimientos de masa en el presente estudio. Es un tipo de movimientos en masa que se da tanto en materiales de roca y suelo. En el área de estudio dos casos de caídas se dan sobre suelos, contiene fragmentos rocosos, pero en menor porcentaje. Cuatro casos se desarrollaron sobre un sustrato de roca fracturada con suelo y los 7 casos restantes se desarrollaron sobre sustrato rocoso fracturado, en total 13 casos (Figura 60).

Figura 60 Tipos de caída inventariado

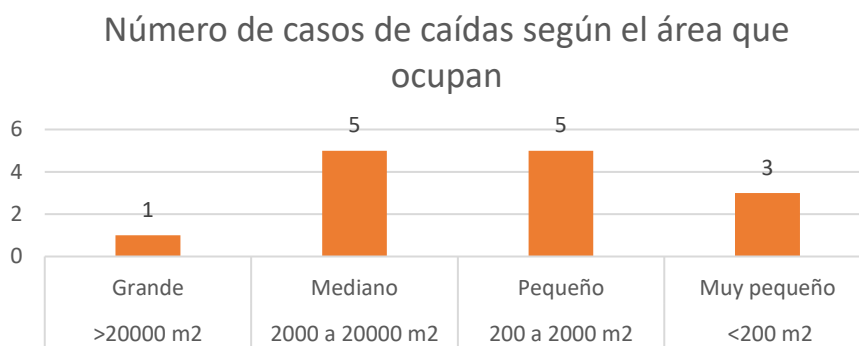


Se puede encontrar en 3 tipos de materiales: En suelos que son materiales sueltos, sin consolidación, compuesto de detritos y abundante grava, limo y arena (Figura 63); En sustrato rocoso, se trata de material consolidado, pero con moderado a fuerte grado fracturación (Figura 61); y en un material que contienen ambos, bloques rocosos y suelo como material de relleno. Además, el área que ocupa cada caso de caída es variado van desde muy pequeños (menor a 200 m²) a grande (mayor a 20 000 m², Figura 62).

Figura 61 GD18 y GD38 Caída de roca



Figura 62 Tipo caída según tamaño



Dentro de los 13 casos inventariados, el GD23, GD24, GD38 y GD51 son los importantes por el área de influencia con la actividad económica, pero el GD51 es más crítico.

Figura 63 GD24 Caída de tierra



El GD51 es un área donde se generan caída de cantos rodados y bloques (Figura 64). Se desarrolla sobre depósito coluvial, en la parte alta del camino “ruta turística”, en la margen izquierda del río Millpu. El estado del movimiento es activo, es decir a medida que la erosión avanza se van despendiendo los materiales finos, luego las gravas, cantos rodados hasta bloques 0.7m de diámetro. Los materiales de tamaños menores a la grava clasifican como grava bien graduada con limos y se encuentra seco. La pendiente varía de 80° a 90° con una altura que llega hasta los 5m. No está cubierto de vegetación, salvo cuando cambia la pendiente menor a 80°. Por el ángulo de la pendiente solo es habitado por los animales silvestres, y el pastoreo es a los alrededores.

El daño principal se considera en las actividades económicas, se verían perjudicados uno o dos turistas si es que un canto rodado los alcanza en el cuerpo de forma moderada o severo y la acumulación de estos materiales cerca al camino de la “ruta turística” sería un daño leve.

Figura 64 GD51 Caída de cantos rodados



4.6.3. Deslizamientos

En el caso de los deslizamientos presenta solo el 8% del inventario, se diferencia de los otros tipos de movimiento en masa porque este siempre desarrolla un plano de ruptura y pueden ser de 2 tipos; deslizamiento traslacional y deslizamiento rotacional. El deslizamiento traslacional cuando el plano de ruptura es “plano” mientras que el deslizamiento rotacional es cóncavo o ligeramente. El deslizamiento traslacional es común ver en sustratos rocosos, porque los planos de estratificación o diaclasas condicionan a este tipo de movimiento, es el caso del GD39 porque se desarrolla sobre los estratos rocosos del Grupo Pucará, además la estratificación se inclina

entre 45° a 68° hacia la quebrada Millpu. La forma cóncava de superficie de falla se visualizó mejor en el GD12 (Figura 65). De los 4 registros de deslizamiento, 3 casos que se han desarrollado sobre suelo y uno sobre sustrato rocoso. Además, los casos de deslizamiento pueden ser de áreas muy pequeñas (<200 m²) hasta medianos (2000 a 20 000 m²), el GD39 es el más grande en área. De los 4 casos, el más crítico es el GD12 y GD31 por encontrarse en el talud superior al camino de “ruta turística”.

Figura 65 GD12 Deslizamiento rotacional



El GD12 es un deslizamiento suspendido en depósito coluvial en la parte superior de camino “ruta turística”. El deslizamiento es tipo rotacional ya que la superficie de ruptura es algo curvo y presenta varias deformaciones en el cuerpo principal. La pendiente en la escarpa principal es de 70° promedio y en el resto del cuerpo del deslizamiento varía de 20 a 40°. La altura de la escarpa es menor a 2m, un ancho de superficie de falla de 20m (Wr) y longitud de 55m (L).

La causa condicionante es que ya existe material fallado con corte por donde infiltra el agua de lluvia, satura el suelo, entonces el bloque con más peso tiende a desplazarse unos centímetros, el detonante es la erosión superficial, ya que, si la mayor erosión sucede al pie de este deslizamiento, perdería el equilibrio en la que aparentemente se encuentra entonces ayudaría al

desplazamiento del bloque. Esta área presenta cobertura vegetal tipo ichu, matorrales por ello la población realiza actividades de pastoreo. Esta área se encuentra propensa a reactivar el deslizamiento y también a generar flujo de detritos ya que el material acumulado en los escalones del deslizamiento sería movidos por los flujos de un volumen alto de escorrentía.

En caso se active el deslizamiento rotacional, llegaría afectar un tramo promedio de 10m del camino “ruta turística”, perder áreas de pastoreo y cambiar el curso de agua del río Millpu.

La vegetación de más ichu ayudaría a reducir la erosión superficial, mientras que los arbustos pequeños cargarían más peso, pero si se reforesta arboles con raíces que van a profundidad, unos 20 a 25m en la cabecera y cuerpo principal, ayudaría a sostener la pendiente.

Figura 66 Partes del GD12



4.6.4. Reptación

El movimiento tipo reptación también representa el 8% del inventario de movimientos en masa, es uno de los tipos que se desarrolla a velocidades muy lentas a lentas tanto en suelos y rocas. Estos se desarrollaron sobre suelo material suelto y por el tipo de material que se encontró en la zona de estudio se conoce como tipo reptación de suelos. Son 4 casos inventariados, según la extensión varían entre áreas muy pequeñas (< 200 m²) medianas (2000 a 20 000 m²). De los 4

casos, el GD09 es el más importante por la extensión que involucra y encontrarse en el talud superior de camino “ruta turística”.

Figura 67 GD09 Reptación de suelos



El GD09 (Figura 67) se encuentra al margen izquierdo del río Millpu, es un área con reptación suspendido porque el desplazamiento es muy lento y el cambio más notorio se dan durante las temporadas de lluvia, ya que es cuando se saturan los suelos y tiene más carga. Es un movimiento compuesto considerando el GD07 y GD08 porque en ellos se desarrolla el movimiento tipo flujo. La reptación se desarrolla sobre depósito coluvial, grava arenosa con limos y bloques de diferentes tamaños, hasta 1m de diámetro, sub angulosos a redondeados. Se encontraron escarpas en la parte superior, con 70° de inclinación y son de 0.3m a 0.5m (Figura 68). La pendiente es variada, pero predominan en el rango de 30° a 60°.

El factor condicionante es el material fallado y el factor detonante es la erosión superficial. Se encuentra cubierto más del 80% con matorrales, ichus y espinas por ello es un área de partoreo. Es importante porque este movimiento a lo largo de los años podría afectar alrededor de 190m de longitud del camino “ruta turística”.

Figura 68 GD09 Indicios de reptación de suelos

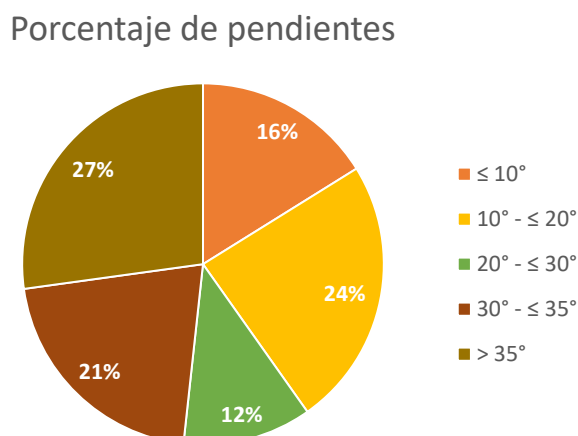


4.7. Rango de pendientes

El plano de pendientes se construyó a partir de un DEM ráster local de 1x1m de píxel, mediante las herramientas de QGIS. El DEM fue creado a partir de una topografía a detalle que se levantaron en el mes de agosto del 2020, la separación de cada curva de nivel es de 1m.

La pendiente de una ladera es posible medir en porcentaje o grados, se optó trabajar con rangos en grados para un tratamiento práctico. El número de grupos al que se clasificó son 5: rango 1: < 10°; rango 2: de 10° a 20°; rango 3: de 20° a 30°; rango 4: de 30° a 35° y por último rango 5: > a 35°. Si bien se puede dividir en más grupos, se tuvo en cuenta estos cinco grupos ya que hay una mejor relación con el inventario de movimientos en masa.

Dentro de QGIS se cargó el ráster, en la caja de herramientas se seleccionó *análisis del terreno ráster*, la opción *pendiente*. Luego se realizó una reclasificación a cinco (5), con la herramienta *reclasificar por tabla*, que se encuentra en *la caja de herramientas – análisis ráster*. Una vez el ráster con los rangos determinados, se cambió los colores con la herramienta simbología en propiedades. El plano se encuentra en el Anexo 3, Lámina 6.

Figura 69 Porcentaje de pendientes

4.7.1. Pendientes muy bajas

Son pendientes menores a 10°, muy poca inclinación del terreno. La mayor parte se presenta en las litologías de rocas volcánicas, depósitos químicos de travertino y depósito aluvial; comprende geoformas como llanuras y mesetas. También hay áreas más pequeñas y dispersas se encuentran sobre los depósitos deluviales y coluviales donde la geoforma principal son laderas. Este rango de pendientes representa el 16% del área de estudio, ver Figura 69.

4.7.2. Pendientes bajas

Son pendientes que varía de 10° a 20°. Se encuentra principalmente sobre los depósitos deluviales y en menor proporción sobre las rocas carbonatadas, rocas volcánicas, depósitos químicos de travertino y depósitos coluviales. La geoforma principal es ladera y este rango de pendientes representa el 24% del área de estudio, ver Figura 69.

4.7.3. Pendientes medias

Son pendientes que comprenden de 20° a 30° de inclinación del terreno. Se encuentra principalmente sobre los depósitos deluviales y rocas carbonatadas, en menor proporción sobre depósitos coluviales, depósitos químicos de travertino y rocas volcánicas. Las geoformas

resaltantes son laderas y colinas. Este rango de pendientes representa el 12% del área de estudio, Figura 69.

4.7.4. Pendientes altas

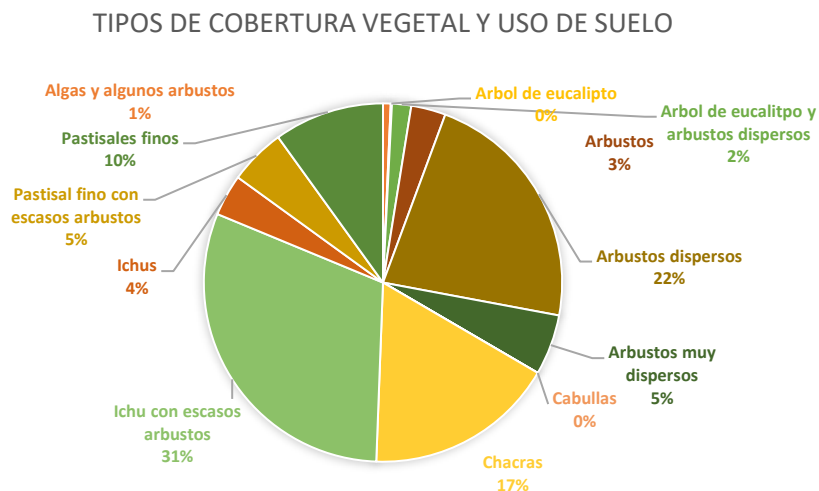
Son pendientes que comprenden de 30° a 35° de inclinación de terreno. Se encuentra en las rocas carbonatadas, depósito coluvial, depósito deluvial y muy pocos casos en rocas volcánicas. Las geoformas resaltantes son laderas y colinas. Este rango de pendientes representa el 21% del área de estudio, Figura 69.

4.7.5. Pendientes muy altas

Son pendientes mayores a 35° de inclinación de terreno. Se encuentra en mayor proporción en las rocas carbonatadas; menor proporción en depósito coluvial, depósito deluvial, rocas volcánicas y depósito químico de travertino. Las geoformas resaltantes que forman son laderas y colinas abruptas. Este rango de pendientes ocupa el 27% del área de estudio, Figura 69.

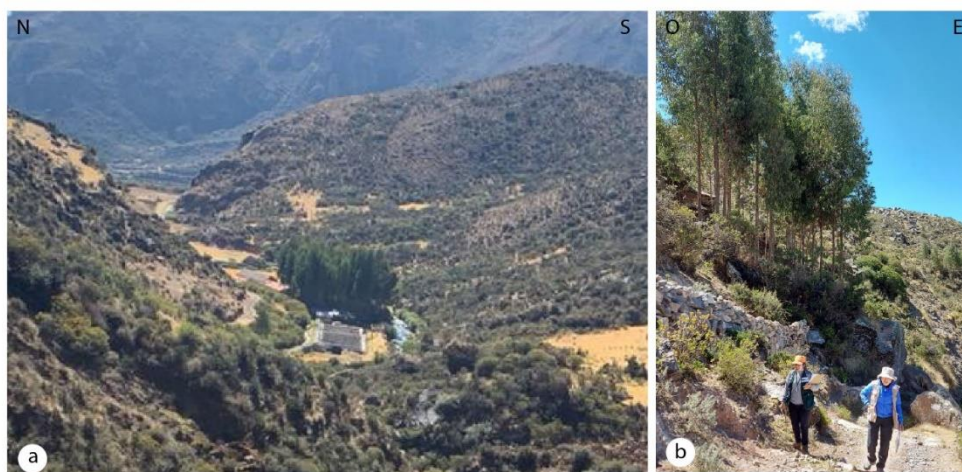
4.8. Cobertura vegetal

El plano de cobertura vegetal fue elaborado a partir de los datos de campo y el trabajo de fotointerpretación sobre una ortofoto que fue tomada por medio Drone en el mes de agosto del 2020. Se distinguieron 12 tipos de cobertura vegetal y uso de suelo (Figura 69). Se consideró uso de suelo porque existen áreas cultivables.

Figura 70 Tipos de cobertura vegetal

4.8.1. Áreas con árboles de eucalipto

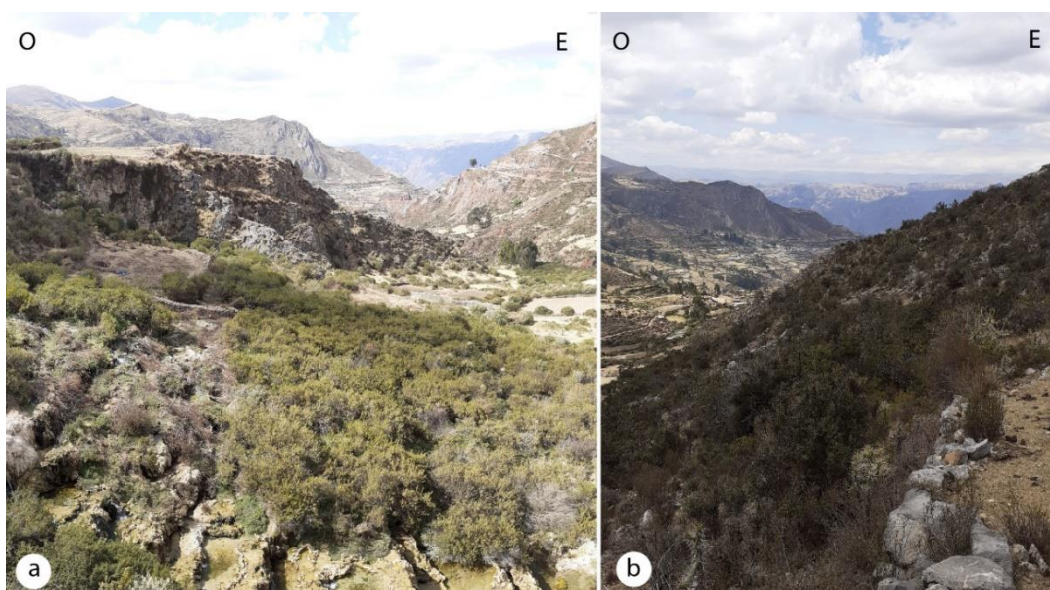
Comprende áreas de dos tipos; unas áreas muy densas de plantaciones de eucalipto (AEu) y la segunda con plantaciones de eucalipto, pero más dispersos y algunos arbustos de la zona (AEuAD). Ambos tipos de cobertura vegetal comprende casi el 2% del área de estudio. En Figura 61, en el centro de (a) se muestran árboles de eucalipto bastante densos en un relieve llano y en (b) árboles de eucalipto dispersos con un poco de arbustos sobre la geofoma de ladera en depósito deluvial.

Figura 71 Áreas con árboles de eucalipto

4.8.2. Áreas con arbustos

Comprende áreas con arbustos que varían de 1 m a 2m de altura, estos se subdividieron en 3 grupos: arbustos (A), arbustos dispersos (AD) y arbustos muy dispersos (AmD). El primer tipo hace referencia las áreas donde los arbustos son regularmente densos. Estos tres subgrupos suman el 30% del área de estudio, distribuidos 3% del área con arbustos, 22% de arbustos dispersos y 5% de arbustos muy dispersos (Figura 70). En (a) de la Figura 72, se observan arbustos moderadamente densos (A) sobre geoforma de presas en travertino, mientras que en (b) arbustos dispersos y muy dispersos (AmD) están sobre laderas en depósito deluvial.

Figura 72 Áreas con arbustos



4.8.3. Áreas cultivables Chacras

Comprende áreas donde aprovechan la tierra mediante el cultivo, en la mayoría se encuentran cercados con pircas, arbustos y/o árboles de eucalipto. Los cultivos comunes que son la papa, oca, olluco, maíz, habas, cebada, alfa alfa, verduras y entre otros. Esta área representa el 17% del área de estudio (Figura 70). En la Figura 73 se muestran fotos con cultivos relieves ondulados de depósito deluvial y llanos de la terraza en travertino.

Figura 73 Áreas cultivadas



4.8.4. Áreas con ichus

Figura 74 Áreas con ichu



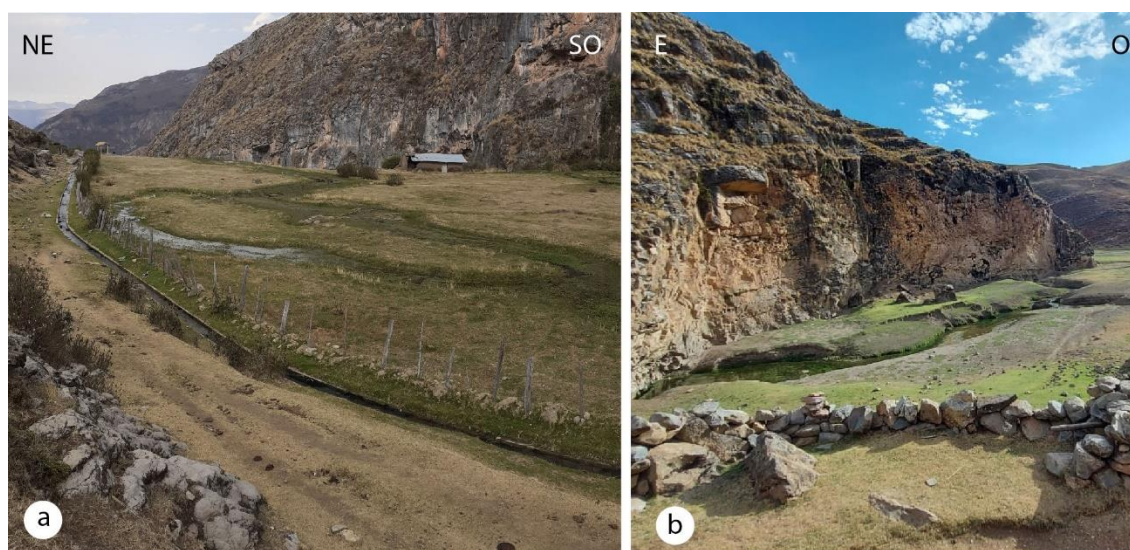
Comprende áreas donde se aprovechan para el pastoreo de animales mayores y menores. Estos animales pueden ser ovejas, cabras, vacas, caballos, mulas y también animales silvestres como vicuñas. La zona se subdivide en dos subtipos: una el área de Ichus con escasos arbustos (IeA)

y el segundo de simplemente Ichus (I), ambos suman el 34% del área de estudio. Estas áreas predominan al sur y en las partes más altas del área de estudio, sobre las colinas en rocas sedimentarias como se ve en la Figura 74.

4.8.5. Áreas de pastizales finos

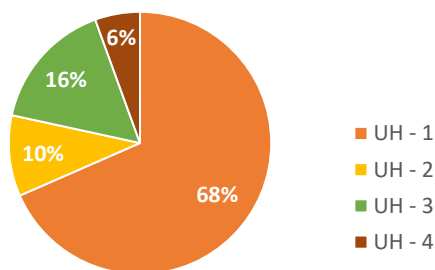
Comprende áreas con pastizales bastante pegados al terreno, con altura menor a 20cm, sobre relieves llanos y ondulados, en algunas partes con algo de arbustos de 1.5m promedio de altura. Se divide en dos grupos; una de pastizales finos con escasos arbustos (PFeA) y el segundo son pastizales finos (PF). Representa el 15% del área de estudio, en la Figura 75 se muestran ejemplos de pastizales sobre terraza en travertino (a) y sobre depósitos aluviales (b).

Figura 75 Áreas con pastizales



4.9. Hidrogeología

En la zona de estudio se ha considerado 4 unidades hidrogeológicas. Esta clasificación se elaboró a partir del plano litológico a los cuales se le asignó un rango de permeabilidades y porosidad teórica tomado de Dessargues (2019). En la Tabla 5 se muestra los rangos de permeabilidad y porosidad tomados para cada litología de la zona de estudio. El plano de las unidades hidrogeológicas se encuentra en el Anexo 3, Lámina 8.

Figura 76 Unidades hidrogeológicas**Tabla 5** Unidades hidrogeológicas

UNIDAD HIDROGEOLÓGICA	UNIDADES GEOLÓGICAS	RANGOS DE PERMEABILIDAD (K) EN m/s	RANGO DE POROSIDAD	REFERENCIA
UH - 1	Depósito aluvial	Arenas: 1×10^{-6} a 1×10^{-2} ; limos: 1×10^{-7} a 1×10^{-4} ; arcillas: 1×10^{-13} a 1×10^{-7}	Arenas: 15 a 35%; limos: 30 a 45%; arcillas: 40 a 70%	pg. 66 y 76 de Dessargues (2019)
	Depósito coluvial	Grava: 1×10^{-4} a 1×10^{-1} ; limos: 1×10^{-7} a 1×10^{-4}	Gravas: 15 a 25%; limos: 30 a 45%	pg. 66 y 76 de Dessargues (2019)
	Depósitos deluviales	Grava: 1×10^{-4} a 1×10^{-1} ; limos: 1×10^{-7} a 1×10^{-4}	Gravas: 15 a 25%; limos: 30 a 45%	pg. 66 y 76 de Dessargues (2019)
	Formación Castrovirreyña	Grava: 1×10^{-4} a 1×10^{-1} ; limos: 1×10^{-7} a 1×10^{-4}	Gravas: 15 a 25%; limos: 30 a 45%	pg. 66 y 76 de Dessargues (2019)
UH - 2	Depósito químico travertino	Calizas carstificadas: 1×10^{-5} a 1×10^{-1}	Travertinos: menor a 30%; tobas calcáreas: mayor a 40%	pg 3 Capezuoli et al (2014)
UH - 3	Formación Chambará	Caliza y dolomita fisuradas: 1×10^{-9} a 1×10^{-3}	Calizas y dolomitas: 0.5 a 15%	pg. 66 y 76 de Dessargues (2019)
UH - 4	Unidad Jello Jasa	Basalto con fisuras: 1×10^{-7} a 1×10^{-3}	Basalto: 5 a 30%	pg. 66 y 76 de Dessargues (2019)

4.9.1. Unidad hidrogeológica 1 (UH-1):

Se consideró las unidades geológicas de depósito aluvial, coluvial, deluvial y la Formación Castrovirreyña; están compuestas de arenas, limos, arcillas laminadas, bloques, detritos rellenos con limos y conglomerados de medio a bajo grado de litificación, es decir depósitos no

consolidados. Pero si pueden presentar pequeñas zonas con mayor compactación debido a la precipitación de carbonatos. El rango teórico de permeabilidad varía de 1×10^{-13} a 1×10^{-1} m/s y la porosidad varía de 15% a 70% (ver Tabla 5). Esta unidad es la más grande, representa el 68% del área de estudio, ver figura 76.

4.9.2. Unidad hidrogeológica 2 (UH-2):

Se consideró la unidad geológica de depósito químico travertino; está compuesta de tobas calcáreas y travertinos. Las tobas son más deleznales mientras los travertinos tienen un mayor grado de cristalización. El rango teórico de permeabilidad se consideró como referencia las calizas carstificada, cuya permeabilidad varía de 1×10^{-5} a 1×10^{-1} m/s y la porosidad es mayor a 40% en las tobas calcáreas y menor a 30% en los travertinos (ver Tabla 5). Esta unidad representa el 10% del área de estudio, ver figura 76.

4.9.3. Unidad hidrogeológica 3 (UH-3):

Se consideró la unidad geológica de la Formación Chambará del Grupo Pucará; está compuesta de calizas, margas y delgados estratos de arenisca calcárea, es decir rocas carbonatadas. Estas rocas tienen moderado grado de fracturamiento y en algunas zonas estas presenta disolución de la roca. El rango teórico varía de 1×10^{-9} a 1×10^{-3} m/s y la porosidad de 0.5 a 15% (ver Tabla5). Esta unidad representa el 16% del área de estudio, ver figura 76.

4.9.4. Unidad hidrogeológica 4 (UH-4):

Se consideró la unidad geológica de Jello Jasa que comprende rocas volcánicas lávicas principalmente de andesita con abundantes fracturas tipo disyunción columnar. El rango teórico de permeabilidad varía de 1×10^{-7} a 1×10^{-3} m/s y la porosidad de 5 a 30% (ver Tabla5). Esta unidad es la más pequeña, representa el 6% del área de estudio, ver figura 76.

V. SUSCEPTIBILIDAD A MOVIMIENTOS EN MASA

5.1. Construcción del plano de susceptibilidad

El plano de susceptibilidad se elaboró a partir de 5 planos factores o parámetros: pendiente, litología, geomorfología, cobertura vegetal e hidrogeología. Cada factor se comparó con la capa de inventario de movimientos en masa. El proceso se llevó a cabo mediante el método estadístico bivariado, que considera la superposición de parámetros y el cálculo de densidades de movimientos en masa como base central del análisis; los valores de ponderación dentro de cada parámetro se basan en la sensibilidad de los subtipos de cada parámetro respecto a los movimientos en masa ocurridos. Sin embargo, la selección de parámetros tiene elementos subjetivos; entonces para disminuir la subjetividad se vio conveniente añadir un método multicriterio, proceso de análisis jerárquico (PAJ). Este proceso consiste en construir una matriz de comparación y se asigna valores de la escala de Saaty.

Se optó por el método estadístico bivariado y el proceso de análisis jerárquico porque se busca tener la mayor objetividad posible a partir de la información recabada; la asesoría de profesionales con experiencia en esta área favoreció al desarrollo de este método.

La densidad de movimientos se evaluó para las clases de cada parámetro, es en esta parte donde se encuentra el método estadístico; porque intersecó cada parámetro con la capa de inventario de movimientos en masa. Con ello se obtuvo los pesos para cada clase dentro de un parámetro. En el caso de los parámetros se consideró oportuno trabajar el Proceso de Análisis Jerárquico (PAJ) para reducir la decisión subjetiva.

Se emplearon cinco parámetros, estos son: litología (geología local), geomorfología, pendientes, cobertura vegetal e hidrogeología. Porque son los factores principales que causan movimientos en masa. El comportamiento del suelo coluvial no es el mismo que los sustratos de rocas carbonatadas o de rocas volcánicas, tampoco al de un suelo aluvial o del depósito de travertino.

Los tipos de rocas y depósitos presentan diferentes relieves al que se conoce también como geofomas, como laderas, terrazas, mesetas y colinas. Estos relieves son de diferentes ángulos de pendiente, que permite un mejor estudio y análisis de los fenómenos. Así también, dependiendo al grado de fracturamiento de las rocas y porosidad primaria de los depósitos permitirá el almacenamiento y flujo de agua que también afectan a la estabilidad del terreno. Por otro lado, la cobertura vegetal podría ayudar a que el agua de escorrentía infiltre en menor proporción, las raíces profundas estabilicen el terreno o a veces el peso de la cobertura vegetal inestabilice la ladera.

Con la ayuda del software libre de Qgis se preparó los archivos vectoriales de los 5 parámetros y el de inventario de movimientos en masa. En cada archivo vectorial de los parámetros trabajados anteriormente se creó un campo donde se ingresaron los datos de la columna de reclasificación de las tablas 6 al 10; por ejemplo, en el archivo vectorial de unidades litológicas se creó un campo con el nombre de susceptibilidad con propiedad entero para ingresar, en dicho campo se ingresó los datos de reclasificación de la Tabla 6. Luego de realizar el mismo proceso con los demás parámetros, cada archivo se convirtió a formato ráster mediante la herramienta Rasterizar del Qgis.

El proceso de rasterizar se hizo a través de campo de Susceptibilidad donde se asignaron los pesos. Este proceso permite convertir en píxeles. Cada píxel tiene el valor asignado en el campo de susceptibilidad.

Tabla 6 Escala de Saaty

ESCALA NUMERICA	ESCALA VERBAL	EXPLICACIÓN
9	Absolutamente o muchísimo más importante que ...	Al comparar un elemento con otro el primero se considera absolutamente o muchísimo más importante que el segundo.
7	Mucho más importante o preferido que ...	Al comparar un elemento con otro el primero se considera absolutamente o muchísimo más importante o preferido que el segundo.
5	Más importante o preferido que...	Al comparar un elemento con otro el primero se considera más importante o preferido que el segundo.
3	Ligeramente más importante o preferido que ...	Al comparar un elemento con otro, el primero es ligeramente más importante o preferido que el segundo.
1	Igual o diferente a ...	Al comparar un elemento con otro, hay indiferencia entre ellos.
1/3	Ligeramente menos importante o preferido que ...	Al comparar un elemento con otro, el primero se considera ligeramente menos importante o preferido que el segundo.
1/5	Menos importante o preferido que ...	Al comparar un elemento con otro, el primero se considera menos importante o preferido que el segundo.
1/7	Mucho menos importante o preferido que ...	Al comparar un elemento con otro, el primero se considera mucho menos importante o preferido que el segundo.
1/9	Absolutamente o muchísimo	Al comparar un elemento con otro el primero se considera absolutamente o muchísimo más importante que el segundo.
2, 4, 6, 8	Valores intermedios entre dos juicios adyacentes, que se emplean cuando es necesario un término medio entre dos de las intensidades anteriores.	

Saaty (1980) citado en el Manual para evaluación de riesgos originados por fenómenos naturales 02 versión (Dirección de Gestión de Procesos, 2014)

Tabla 7 Valores de índice aleatorio

n	3	4	5	6	7	8	9	10	11
IA	0.525	0.882	1.115	1.252	1.341	1.404	1.452	1.484	1.513

Aguarón y Moreno – Jiménez (2001) citado en Manual para evaluación de riesgos originados por fenómenos naturales 02 versión (Dirección de Gestión de Procesos, 2014).

5.2. Ponderación de los parámetros

La ponderación de los 5 parámetros se realizó con el proceso de análisis jerárquico, dado que unos parámetros tienen mayor influencia para generar un movimiento en masa. A continuación, se describen los pasos del proceso de análisis jerárquico (PAJ):

- A) Se elaboró una matriz de 5x5; que representan los cinco (5) parámetros: litología, pendiente, geomorfología, cobertura vegetal e hidrogeología. Según la importancia de

uno respecto al otro se asignó un valor de la escala de Saaty, así se muestra en la Tabla 8.

Tabla 8 Matriz de comparación de parámetros

PARÁMETROS	Litología	Pendientes	Geomorfología	Vegetación	Hidrogeología
Litología	1	1/3	1/2	9	8
Pendientes	3	1	4	7	6
Geomorfología	2	1/4	1	5	4
Vegetación	1/9	1/8	1/6	1	1/5
Hidrogeología	1/8	1/6	1/4	5	1

B) En la tabla 9 se muestran los valores en decimales. En cada fila se realiza la suma y se calcula la inversa de cada suma.

Tabla 9 Inversa de la suma total

PARÁMETROS	Litología	Pendientes	Geomorfología	Vegetación	Hidrogeología
Litología	1.00	0.33	0.50	9.00	8.00
Pendientes	3.00	1.00	4.00	7.00	6.00
Geomorfología	2.00	0.25	1.00	5.00	4.00
Vegetación	0.11	0.13	0.17	1.00	0.20
Hidrogeología	0.13	0.17	0.25	5.00	1.00
SUMA	6.24	1.88	5.92	27.00	19.20
1/SUMA	0.16	0.53	0.17	0.04	0.05

C) En la tabla 10 se construye la matriz de normalización, donde los valores de la tabla 9 se multiplicó por la suma inversa a cada columna correspondiente. La suma de cada columna debe ser igual a 1.

D) Luego se realizó la suma de cada fila al que se le conoce como vector priorización.

Tabla 10 Normalización y vector priorización

PARÁMETROS	Litología	Pendientes	Geomorfología	Vegetación	Hidrogeología	Vector priorización (ponderación)
Litología	0.16	0.18	0.08	0.33	0.42	0.23
Pendientes	0.48	0.53	0.68	0.26	0.31	0.45
Geomorfología	0.32	0.13	0.17	0.19	0.21	0.20
Vegetación	0.02	0.07	0.03	0.04	0.01	0.03
Hidrogeología	0.02	0.09	0.04	0.19	0.05	0.08
Suma	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

- E) Los valores de la matriz original fueron multiplicados por los valores de vector priorización según la fila correspondiente. Se realizó la suma de cada fila al que se conoce como suma ponderada.
- F) En cada fila de la Tabla 11 se realizó la división entre los valores de vector priorización y el vector suma, se obtuvo un promedio de estos datos, al que conocerá como el λ_{\max} .

Tabla 11 Cálculo de Lamda máximo

PARÁMETROS	Vector priorización (ponderación)	Vector suma Ponderada	λ máximo
Litología	0.23	0.18	0.76
Pendientes	0.45	0.52	1.16
Geomorfología	0.20	0.19	0.94
Vegetación	0.03	0.04	1.31
Hidrogeología	0.08	0.06	0.82
			1.00

- G) El índice de consistencia resulta de la división entre la diferencia del λ_{\max} menos 5 entre 4 (el número de pares menos uno). Por otro lado, La relación de consistencia (RC) es el cociente del índice de consistencia (IC) y el índice algebraico (IA). El valor de índice algebraico se obtiene de una tabla, esto depende del valor "n", donde "n" es el número de

pares evaluado en la matriz (ver Tabla 17 en el Anexo I). El índice de consistencia y la relación de consistencia para la matriz de 5x5 analizado se muestran en la tabla 10.

Tabla 12 Índice y relación de consistencia

IC	-1.000
RC	-0.897

El índice de consistencia (IC) es el cociente de la diferencia de λ_{max} y el número de pares comparados entre la diferencia de número de pares comparados menos uno.

Según (Dirección de Gestión de Procesos, 2014) recomiendan que la relación de consistencia (RC) sea menor a 0.1, lo que indicaría que los pares analizados son adecuados.

5.3. Ponderaciones dentro de cada parámetro

Se trabajó, como se mencionó anteriormente, con los resultados de la intersección de cada parámetro con la capa de inventario de movimientos en masa. Se preparó una tabla para cada parámetro y comprende de la siguiente manera: la primera columna (A) es el cálculo del área de cada subtipo, la segunda columna (B) es el área de cada subtipo pero ocupada con movimiento en masa, la tercera columna (C) es la probabilidad de encontrar un área con movimiento en masa en el subtipo del parámetro que se analiza, la cuarta columna (D) es la probabilidad de encontrar un subtipo del parámetro analizado respecto al área de estudio, la quinta columna (E) es el producto entre C y D, la sexta columna esta multiplicado por un múltiplo de 10 ya sea 1000 o 10 000 con el que se obtiene valores enteros, en la séptima columna se obtiene el logaritmo natural de la columna (E), si bien salen números pequeños, fue necesario hacer una clasificación por regla de tres simple, donde al valor más alto se le asignó cinco (5) y al valor más bajo como uno (1). Sin embargo, en algunos casos fue necesario reclasificar con la finalidad de distribuir los

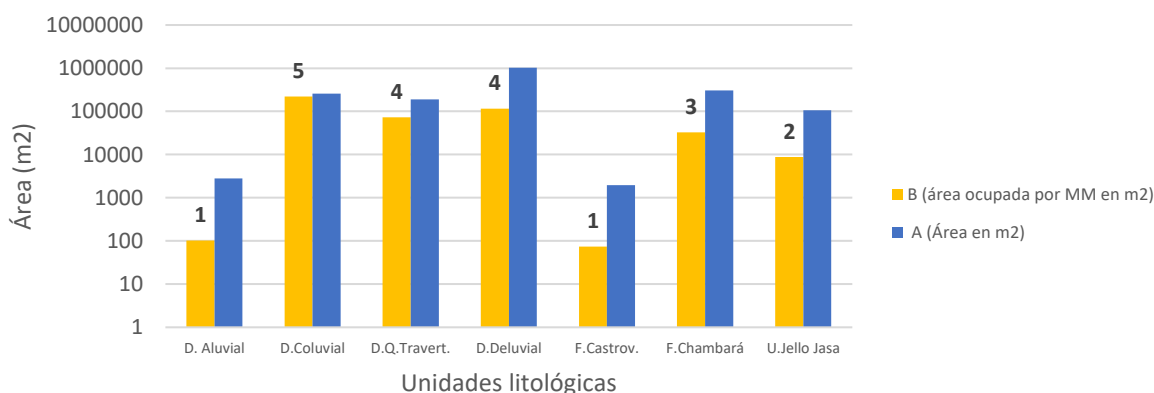
pesos de 1 al 5; de los cuales el 1 se considera como muy bajo, 2 bajo, 3 medio, 4 alto y 5 como muy alto grado de influencia para la susceptibilidad de movimientos en masa.

En la Tabla 13, se muestra el proceso mediante el cual se obtuvo los pesos para cada tipo de unidad litológica. Se calculó el área de cada tipo de unidad litológica (A), el área de intersección de inventario de movimientos en masa y las unidades litológicas (B), continuó el proceso explicado en el párrafo anterior. Los pesos para cada unidad litológica es la columna de Reclasificación con valores de 1 al 5.

Tabla 13 Ponderación de unidades litológicas

UNIDADES LITOLÓGICAS	A (Área en m ²)	B (área ocupada por MM en m ²)	C (Prob de B en A --> B/A)	D (prob de una A en el total)	E (total de prob) C*D	Normalización			Reclasificación
						100000/LN	1 a 5	1 al 5	
Depósito aluvial	2811.25632	102.45937	0.03645	0.00148	0.00005	5.39705	1.68585	1	1
Depósito coluvial	259937.30044	220832.95782	0.84956	0.13692	0.11632	11632.39304	9.36155	5	5
Depósito químico travertino	189289.79315	72899.97342	0.38512	0.09971	0.03840	3840.01171	8.25323	4	4
Depósitos deluviales	1034396.69212	114722.87432	0.11091	0.54487	0.06043	6043.03623	8.70666	5	4
Formación Castrovirreyna	1964.53759	74.41475	0.03788	0.00103	0.00004	3.91980	1.36604	1	1
Grupo Pucará	304766.65203	32838.04496	0.10775	0.16054	0.01730	1729.74654	7.45573	4	3
Unidad Jello Jasa	105264.78895	8803.66761	0.08363	0.05545	0.00464	463.73387	6.13931	3	2
Total	1898431.02062	450274.39226							

Figura 77 Ponderación de unidades litológicas



El resultado del proceso muestra que los movimientos en masa ocurren más en los depósitos coluviales, se representa entre la poca distancia entre la barra de color azul y el color amarillo oro en la Figura 77, entonces el peso para este subtipo será 5. Sigue los depósitos deluviales, los depósitos químicos de travertino; por último, el depósito aluvial y Formación Castrovirreyna;

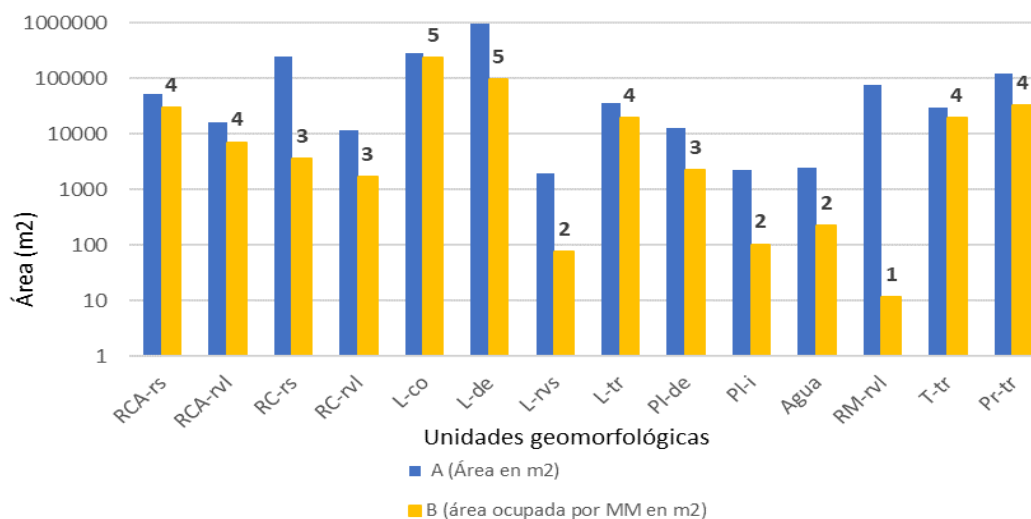
que muestran una mayor diferencia entre las columnas comparativas y les corresponde el peso de 1.

En la Tabla 14, se muestra el proceso mediante la cual se obtuvo los pesos para cada tipo de unidad geomorfológica. Se calculó el área de cada unidad geomorfológica (A), el área de intersección de inventario de movimientos en masa y unidad geomorfológica (B), continuó el proceso explicado en el primer párrafo. Los pesos para cada unidad geomorfológica es la columna de Reclasificación, con valores de 1 al 5.

Tabla 14 Ponderación de unidades geomorfológicas

UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS	A (Área en m ²)	B (área ocupada por MM en m ²)	C (Prob de B en A --> B/A)	D (prob de una A en el total)	E =C*D	Normalización			Reclasificación
						1000000	LN	1 a 5	1 al 5
Colina abrupta en roca sedimentaria	52182.85136	29279.18998	0.56109	0.02749	0.01542	15422.83243	9.64360	4	4
Colina abrupta en roca volcánica lávica	15948.91759	7113.54269	0.44602	0.00840	0.00375	3747.06326	8.22873	4	4
Colina en roca sedimentaria	252466.88414	3558.85328	0.01410	0.13299	0.00187	1874.62829	7.53617	3	3
Colina en roca volcánica lávica	11867.33625	1678.55918	0.14144	0.00625	0.00088	884.18214	6.78466	3	3
Ladera en depósito coluvial	289526.04496	237403.80723	0.81997	0.15251	0.12505	125052.61044	11.73649	5	5
Ladera en depósito deluvial	991968.43145	95929.88658	0.09671	0.52252	0.05053	50531.13038	10.83034	5	5
Ladera en roca volcánico sedimentaria	1964.47026	74.41475	0.03788	0.00103	0.00004	39.19802	3.66863	2	2
Ladera en travertino	35925.05455	19805.98816	0.55131	0.01892	0.01043	10432.81719	9.25271	4	4
Llanura o planicie en depósito deluvial	12931.51769	2222.15598	0.17184	0.00681	0.00117	1170.52212	7.06521	3	3
Llanura o planicie inundable	2225.92371	102.45929	0.04603	0.00117	0.00005	53.97050	3.98844	2	2
Masa de agua	2449.35131	219.35049	0.08955	0.00129	0.00012	115.54301	4.74964	2	2
Meseta en roca volcánica lávica	77448.63035	11.56622	0.00015	0.04080	0.00001	6.09251	1.80706	1	1
Presas en travertino	29334.05361	19655.72191	0.67006	0.01545	0.01035	10353.66435	9.24510	4	4
Terraza en travertino	122191.97213	33218.92639	0.27186	0.06436	0.01750	17498.09116	9.76985	4	4
Total	1898431.43936	450274.42212							

Figura 78 Ponderación de unidades geomorfológicas



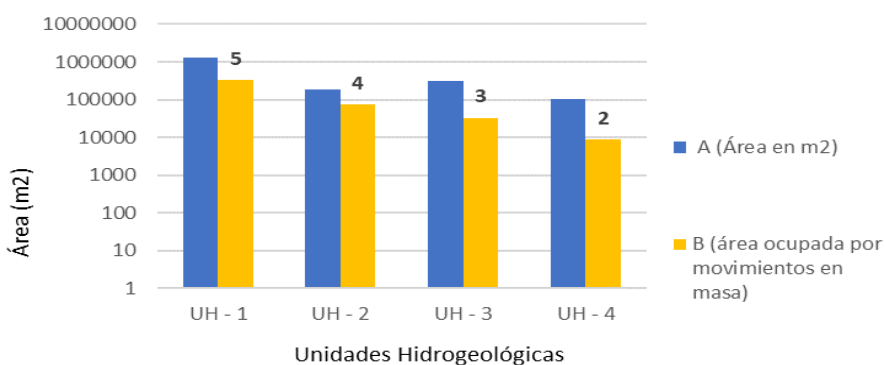
Estos datos permiten ver que los movimientos en masas son más recurrentes en geofomas tipo ladera en depósitos de coluvial y deluvial. La distancia de las barras azul y amarillo oro son las más cortas en esta geofoma que las demás (Figura 78), por ello el peso que les corresponde es 5. Le sigue las demás unidades geomorfológicas; por otro lado, la unidad con menor influencia es la unidad tipo meseta en roca volcánica lávica y le corresponde el peso de 1.

En la Tabla 15, se muestra el proceso mediante el cual se obtuvo los pesos que se asignaron para cada unidad hidrogeológica. Se calculó el área de cada unidad hidrogeológica (A), el área de intersección de inventario de movimientos en masa y unidad hidrogeológica (B), continuó el proceso explicado en el primer párrafo. Los pesos para cada unidad hidrogeológica es la columna de Reclasificación, con valores de 1 al 5.

Tabla 15 Ponderación de unidades hidrogeológicas

UNIDADES HIDROGEOLÓGICAS	A (Área en m ²)	B (área ocupada por movimientos en masa)	C (Prob de B en A --> B/A)	D (prob de una A en el total)	E =C*D	Normalización			Reclasifi- cación
						100000	LN	1 a 5	
UH - 1	1299109.776	335732.701	0.258	0.684	0.177	17684.746	9.780	5	5
UH - 2	189289.797	72899.958	0.385	0.100	0.038	3840.011	8.253	4	4
UH - 3	304766.656	32838.041	0.108	0.161	0.017	1729.746	7.456	4	3
UH - 4	105264.789	8803.663	0.084	0.055	0.005	463.734	6.139	3	2
TOTAL	1898431.018	450274.363							

Figura 79 Ponderación de unidades hidrogeológicas



De estos, los movimientos en masa ocurren más en la unidad hidrogeológica 1 (UH-1); la distancia de las barras azul y amarillo oro son las más cortas que las demás (Figura 79) por ello

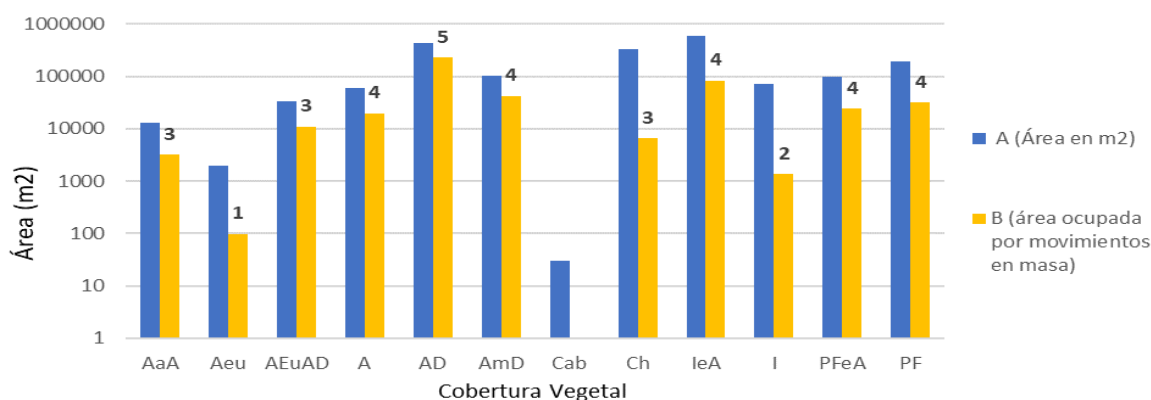
el peso que les corresponde es 5. Esta UH-1 comprende depósitos de aluvial, coluvial, deluvial y la Formación Catrovirreyña.

En la Tabla 16, se muestra el proceso mediante el cual se obtuvo los pesos que se asignaron para cada tipo de cobertura vegetal. Se calculó el área de cada tipo de cobertura vegetal (A), el área de intersección de inventario de movimientos en masa y tipo de cobertura vegetal (B), continuó el proceso explicado en el primer párrafo. Los pesos para cada tipo de cobertura vegetal es la columna de Reclasificación, con valores de 1 al 5.

Tabla 16 Ponderación de tipos cobertura vegetal

TIPOS DE COBERTURA VEGETAL	A (Área en m ²)	B (área ocupada por movimientos en masa)	C (Prob de B en A --> B/A)	D (prob de una A en el total)	E =C*D	Normalización			Reclasificación
						100000	LN	1 a 5	1 a 5
Algas y algunos arbustos	13150.6379	3205.2619	0.2437	0.0069	0.0017	168.8375	5.1289	3	3
Árbol de eucalipto	1991.2878	98.0037	0.0492	0.0010	0.0001	5.1624	1.6414	1	1
Árbol de eucalipto y arbustos dispersos	32942.6864	11055.7864	0.3356	0.0174	0.0058	582.3646	6.3671	3	3
Arbustos	59269.1339	19700.8457	0.3324	0.0312	0.0104	1037.7439	6.9448	4	4
Arbustos dispersos	423135.0663	226292.1959	0.5348	0.2229	0.1192	11919.9630	9.3860	5	5
Arbustos muy dispersos	103773.0451	42275.3859	0.4074	0.0547	0.0223	2226.8600	7.7083	4	4
Cabullas	30.6556				0.0000			0	1
Chacras	326320.0499	6627.2345	0.0203	0.1719	0.0035	349.0902	5.8553	3	3
Ichu con escasos arbustos	581694.0647	83615.8455	0.1437	0.3064	0.0440	4404.4727	8.3904	4	4
Ichus	71068.9252	1357.4691	0.0191	0.0374	0.0007	71.5048	4.2698	2	2
Pastizal fino con escasos arbustos	96218.3999	24288.4268	0.2524	0.0507	0.0128	1279.3952	7.1541	4	4
Pastizales finos	188836.3959	31757.9149	0.1682	0.0995	0.0167	1672.8512	7.4223	4	4
Total	1898430.348	450274.3703							

Figura 80 Ponderación de tipos cobertura vegetal



El resultado del proceso muestra que las áreas con movimientos en masa inventariados están principalmente cubiertas de arbustos dispersos (AD). En la Figura 80 se representa la poca distancia entre la barra de color azul y el color amarillo oro, del subtipo AD entonces el peso será

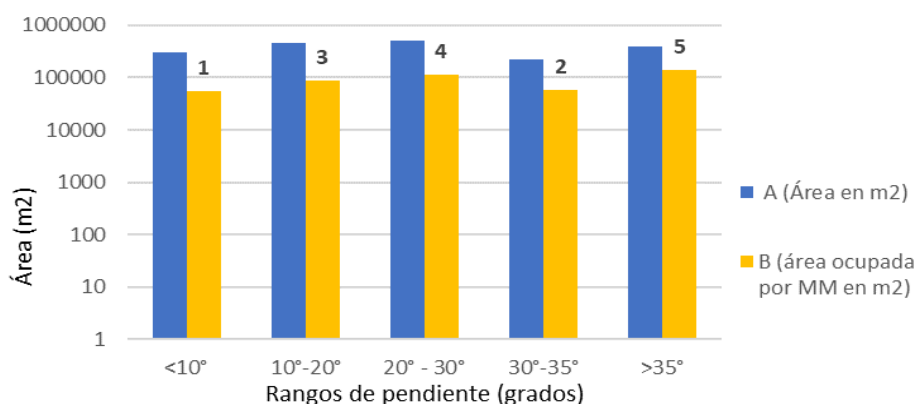
5. El que muestran una mayor diferencia entre las columnas comparativas son de las áreas con árboles de eucalipto y áreas con cabulla entonces les corresponde el peso de 1.

En la Tabla 17, se muestra el proceso mediante el cual se obtuvo los pesos que se asignaron para cada rango de pendiente. Se calculó el área que ocupa cada rango de pendiente (A), el área de intersección de inventario de movimientos en masa y cada rango de pendiente (B), continuó el proceso explicado en el primer párrafo. Los pesos para cada rango de pendiente es la columna de Reclasificación, con valores de 1 al 5.

Tabla 17 Ponderación de rangos de pendientes

RANGO DE PENDIENTE	A (Área en m2)	B (área ocupada por MM en m2)	C (Prob de B en A --> B/A)	D (prob de una A en el total)	E =C*D	Normalización			Reclasificación
						100000	LN	1 a 5	1 al 5
<10°	306482.245	53801.808	0.176	0.161	0.028	2834.019	7.949	4	1
10°-20°	456607.661	87720.166	0.192	0.241	0.046	4620.674	8.438	5	3
20° - 30°	516216.972	111682.740	0.216	0.272	0.059	5882.907	8.680	5	4
30°-35°	218938.245	58191.124	0.266	0.115	0.031	3065.227	8.028	5	2
>35°	400182.656	138878.170	0.347	0.211	0.073	7315.431	8.898	5	5
TOTAL	1898427.779	450274.007							

Figura 81 Ponderación de rangos de pendientes



De acuerdo con el DEM procesado, las áreas con movimientos en masa inventariados presentan áreas con pendientes mayores a 35°. De allí la gráfica 16, el rango >35° presenta poca distancia entre la barra de color azul y el color amarillo oro, entonces su peso será 5. El que muestran una mayor diferencia entre las columnas comparativas es el de rango <10°, les corresponde el peso de 1.

5.4. Álgebra de rasters

Una vez los 5 parámetros en formato ráster, se empleó la herramienta calculadora ráster del Qgis. En la expresión de la calculadora ráster se sumó los cinco (5) parámetros, pero a cada uno se multiplicó con valores de la columna de vector (ponderación) de la Tabla 9. Se verificó que la expresión sea válida y se asignó un nombre al archivo de salida en formato *tiff*.

Según la tabla 9, los parámetros que tienen valores altos de ponderación son las pendientes, seguido de la litología y geomorfología.

El archivo *tiff* resultante mostró valores que varían de 1.330 a 5.000 por lo cual se realizó una reclasificación en 5 grupos, mediante el menú procesos, caja de herramientas, reclasificar por tabla. Se reclasificó en 5 grupos, los cuales son: muy baja susceptibilidad (1.330 a 2.076), baja susceptibilidad (2.076 a 2.807), susceptibilidad media (2.807 a 3.538), susceptibilidad alta (3.538 a 4.269) y susceptibilidad muy alta (4.269 a 5). El archivo *tiff* reclasificado representa el plano de susceptibilidad, pero para calcular el área que suma cada rango de susceptibilidad, el archivo *tiff* se convirtió en un archivo vectorial, mediante El menú Ráster, conversión, la opción poligonizar (ráster a vectorial).

5.5. Plano de susceptibilidad

El resultado del desarrollo algebraico de los parámetros (ver Tabla 16) dio valores entre 1.330 a 5; el cual se reclasificó en 5 partes. Los valores de 1.33 y menor o igual a 2.08 representan muy baja susceptibilidad; mayores a 2.08 y menor o igual a 2.81 susceptibilidad baja; mayores a 2.81 y menor o igual a 3.54 susceptibilidad media; mayores a 3.54 y menor o igual a 4.27 susceptibilidad alta y por último los valores mayores a 4.27 hasta 5 como susceptibilidad muy alta. Esto quiere decir que el 35% del área de estudio son áreas de alta susceptibilidad (Figura 82) El plano de susceptibilidad está en el Anexo 3, lámina 9.

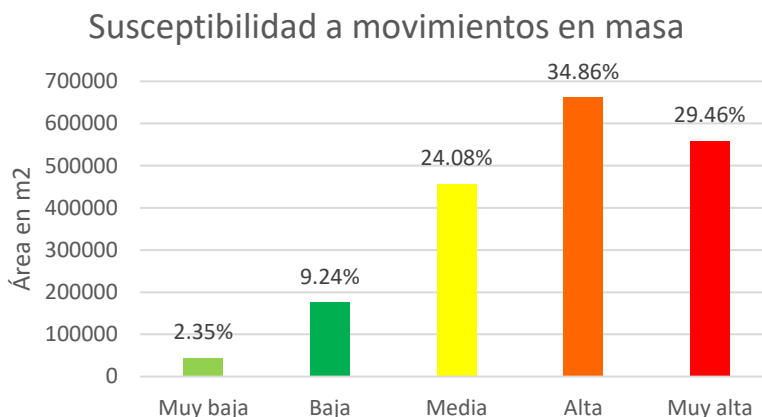
Tabla 18 Rangos de susceptibilidad

Susceptibilidad	Rango
Susceptibilidad muy alta	4.269 a \leq 5
Susceptibilidad alta	3.538 a \leq 4.269
Susceptibilidad media	2.807 a \leq 3.538
Baja susceptibilidad	2.076 a \leq 2.807
Muy baja susceptibilidad	1.330 a \leq 2.076

La zona de muy baja susceptibilidad esta al Oeste y representa el 2% del área de estudio, se da sobre la meseta en rocas volcánicas, es decir áreas con pendientes menor a 10°. En esta zona solo se desarrolla actividad de pastoreo.

Las zonas de baja susceptibilidad representan el 9%. Resalta al lado oeste después de la zona de muy baja susceptibilidad sobre rocas volcánicas; al Sur cerca de las cascadas de Millpu y al Noroeste cerca de Pataqocha, ambos sobre depósitos químicos de travertino. Mientras que zonas más pequeñas y dispersas se dan en la parte sur del área de estudio, también, las pendientes son menor a 10° pero están sobre depósitos químicos de travertino principalmente. Las zonas cerca a la cascada Millpu y por Pataqocha están ocupadas en mayor parte por la actividad turística como: áreas de esparcimiento, se encuentran instaladas 6 piscigranjas, áreas de estacionamiento, venta de comida, además usan como áreas de cultivo. Y en el resto de las áreas desarrollan actividad de pastoreo.

Las zonas de media susceptibilidad representa el 24% con ligera predominancia al sur del área de estudio. Se encuentra principalmente sobre depósitos coluviales, depósitos aluviales y el Grupo Pucará y en pendientes menores a 35°. Estas zonas son ocupadas principalmente por la actividad del pastoreo y áreas de cultivo.

Figura 82 Resultado de susceptibilidad

Las zonas de alta susceptibilidad representan el 35%, se distribuye en toda el área de estudio. Se encuentra principalmente sobre depósitos deluviales, depósitos coluviales y el Grupo Pucará y en pendientes mayores a 10°. Se lleva a cabo el pastoreo, hay áreas de cultivo, se encuentra gran parte de la zona turística, es decir pasa los caminos de acceso para el turismo; también pasan los canales de agua y caminos de herradura.

Las zonas de muy alta susceptibilidad representan el 30%, se distribuye en toda el área de estudio. Se encuentra principalmente sobre depósitos coluviales, depósitos aluviales y depósito químico de travertino y en pendientes mayores a 20°. Las infraestructuras que podrían verse afectadas son algunos tramos de los canales de agua, es especial de los canales que salen hacia la margen izquierda de la quebrada Ucucocha. Caminos de herradura, caminos de acceso para el turismo, tramos de la trocha que va desde Pataqocha hasta conectar con la Vía Nacional.

5.6. Validación

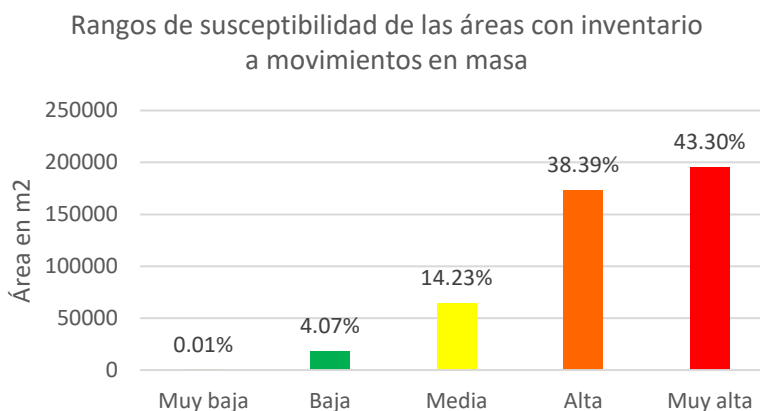
La validación del plano de susceptibilidad comprendió superponer la capa de inventarios de movimientos en masa sobre el plano de susceptibilidad, a partir de ello se realizó un cálculo de las áreas del mismo grado de susceptibilidad. Resultó que el 43% de las áreas que presenta un tipo de movimiento en masa son áreas de susceptibilidad muy alta; el 39% son áreas de

susceptibilidad alta; el 14% de susceptibilidad media y menos del 5% son de susceptibilidad baja a muy baja donde no se ha registrado ninguno de los cuatro tipos de movimientos en masa, ver Figura 84 mientras que el plano de esta validación está en Anexo 3, lámina 10.

En las observaciones de campo se vio que algunas zonas inventariadas se encuentran activas, latentes por lo cual se les considera como zonas propensas a desencadenar movimientos en masa. Por ello se buscó que las áreas con inventarios de movimientos en masa se representen con muy alta o alta susceptibilidad. Esta condición se cumplió con lo descrito en el párrafo anterior.

Entonces, el 43% de las áreas con registro de movimientos en masa son de muy alta susceptibilidad y el 39% con susceptibilidad alta. Es decir que estas áreas son más propensas a volver a generar el mismo u otro tipo de movimientos en masa.

Figura 83 Validación



Los movimientos en masa inventariado más importantes por sus consecuencias en caso de desencadenar son: GD12, GD31, GD10, GD11, GD51, GD07, GD08 y GD09 tienen casi toda el área con alta propensión a volver a desarrollar o activar otro tipo de fenómeno de remoción en masa. Estos se encuentran al margen izquierdo de la quebrada Ucucocha.

VI. DISCUSIÓN Y SÍNTESIS

6.1. Discusión

Carrillo (2015) determinó que el relieve abrupto y escarpado, es decir mayores a 30 y a 45° y suelos granulares limosos son factores que condicionan a la ocurrencia de deslizamiento de tierra. En su investigación obtuvo que los rangos de pendiente mayores a 35° sobre depósitos deluviales en el cual predomina la característica de grava limosa son las condiciones donde hay más registro de movimientos en masa. La pendiente del terreno es importante porque la energía cinética y potencial de una masa inestable depende de la altura que se encuentre respecto a un nivel de referencia; a la vez tiene una relación con el ángulo de pendiente. También la fuerza de erosión es mayor en pendientes altas. En este estudio se encontró también que las pendientes mayores a 35°, seguido de rangos 30° a 35° son donde se encuentran la mayoría de los casos de movimientos en masa inventariados.

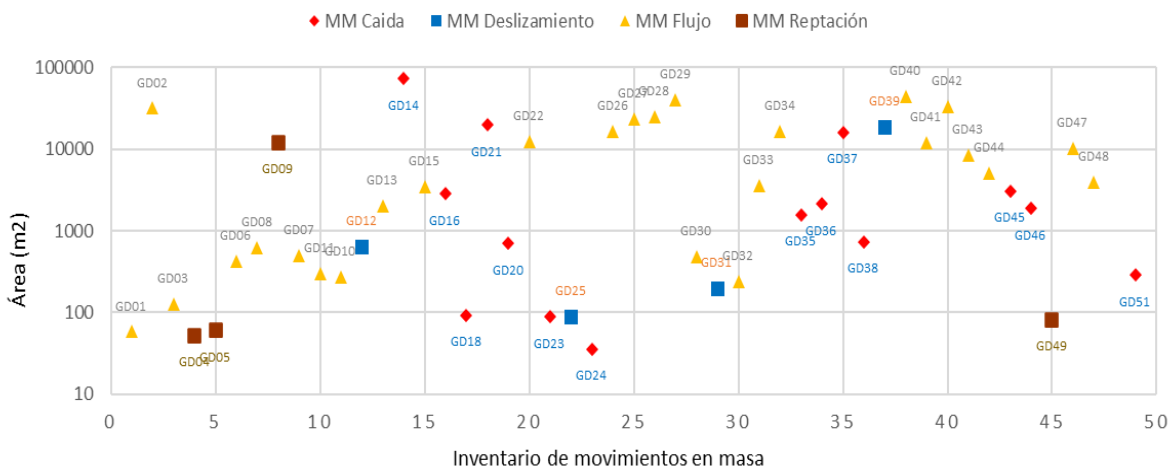
Sosa (2016) comenta que hay diversos autores quienes coinciden que las pendientes bajas y las altas son menos propensas a generar movimientos en masa. Por ejemplo, en la mayoría de las pendientes elevadas aflora substrato rocoso, entonces la posibilidad de rotura reduciría. A partir de las observaciones de campo, permite concluir que la posibilidad de rotura dependerá de los tipos de roca y el grado de fracturamiento tal como se puede ver en el caso de las rocas volcánicas de la Unidad Jello Jassa, tienen alto grado de fracturamiento, las principales son las disyunciones columnares que permiten el desprendimiento de fragmentos o bloques de roca y caen por la pendiente. La acumulación de estos fragmentos y bloques ha dejado huellas de flujo tipo avalancha de rocas como el GD03, GD28, y otros. Mientras que los afloramientos en rocas del Grupo Pucará son menos propensas porque la disolución y precipitación de carbonatos ayuda a sellar las discontinuidades. Las más propensas a desprenderse son donde hay modificación antrópica.

Tacilla (2019) trabajó con el método de evaluación multicriterio; concluyó que 3.78% de su área de estudio correspondía a áreas de mayor susceptibilidad, de un área estudiada de 357.34 Km². En el caso de Sosa (2016) empleó el método bivariante para elaborar mapa de susceptibilidad, con el cual obtuvo que el 15.06 % de área presenta muy alta susceptibilidad, en un área de estudio de 48.75 Km². Mientras que el presente estudio se empleó tanto el método bivariante y el multicriterio para la elaboración del plano de susceptibilidad en un área más reducido que comprende casi 2 Km², dónde el 30% presenta muy alta susceptibilidad. La diferencia con los estudios mencionados, el porcentaje alto es por la escala de estudio.

6.2. Síntesis

Los tipos de Movimientos en Masa inventariados se agruparon en 4 tipos, es decir que en los casos donde se observó más de un tipo de movimiento, se clasificó de acuerdo con el movimiento predominante. Estos son: flujo, caídas, deslizamientos y reptaciones.

Figura 84 Área ocupada según tipo de movimiento en masa



Estos llevan la codificación de “GD__” (ver gráfico 19) y pueden ser de diferentes áreas, el más pequeño como GD24 donde se desarrolló caída de detritos al margen superior de la trocha de acceso a Pataqocha y el que abarca más área, el GD14 donde se desarrolla caída de rocas

volcánicas al margen derecho y parte alta de la quebrada Ucucocha. La suma de estas áreas con movimientos en masa representa el 24% del área de estudio y están distribuidas tal como se muestra en la lámina 5, del Anexo 3. El mayor número de eventos inventariado se concentra en la margen izquierda de la quebrada Ucucocha y al norte de esta quebrada. De estos los más críticos son GD12, GD31, GD10, GD11, GD51, GD07, GD08 y GD09 porque la mayoría presenta estado de movimiento suspendido y algunos reactivos, además el principal daño sería el camino “ruta turística” y repercutirá en las condiciones de acceso a los turísticas. Los daños que podrían generar van de moderados a leves.

Como se describió en el apartado de rango de pendientes, se trabajó con 5 rangos como se describe en la Tabla 17, de los cuales predomina pendientes muy altas que van de 35° a 90° que representa el 27% del área de estudio, seguido de las pendientes bajas que van de 10° a 20° y representan el 24% del área de estudio. Estas pendientes altas se encuentran gran parte sobre las rocas calcáreas del Grupo Pucará, en menor proporción sobre depósitos deluviales, depósitos coluviales y rocas volcánicas. En geoformas como colinas abruptas, colinas tanto en rocas sedimentarias (específicamente Grupo Pucará) y volcánicas, y algunos tramos de las laderas en depósito coluvial y deluvial.

Tabla 19 Rangos de pendiente

Pendiente	Grados (°)	% en el área de estudio
Muy alta	>35°	27
Alta	30° - ≤35	21
Media	20° - ≤30	12
Baja	10° - ≤20°	24
Muy baja	≤10°	16

Por otro lado, la mayor cantidad de movimientos en masa inventariado se dio sobre pendientes muy altas (mayores a 35°) seguido de pendientes altas (30°-35°); abundan sobre los depósitos deluviales y coluviales. Entonces las condiciones donde se presentaron la mayoría de los

movimientos en masa son en depósitos deluviales, coluviales con pendientes muy altas a altas y presentan geoformas de ladera.

Las áreas que presentan uno de los cuatro tipos de movimientos en masa, la mayoría de ellos están cubierto por arbustos dispersos, es decir por plantas con tallos ligeramente gruesos y de altura variable entre 0.50m a 1.50 m, en los intermedios se encuentra con pastizales finos o ichus. La unidad hidrogeológica donde más movimientos en masa se encontró es la UH-1, donde prima la porosidad de 15 a 25% por su contenido de gravas y limos, tomado de tablas bibliográficas a partir de las características observadas en campo.

La elaboración del plano de susceptibilidad se realizó con el método estadístico bivariado y el método multicriterio. El primero considera la densidad de los movimientos en masa como base central del análisis para obtener datos de ponderación para cada subtipo dentro de un parámetro.

Mientras que el segundo consistió en realizar un proceso jerárquico entre los cinco parámetros para obtener datos de ponderación. El fin de trabajar con ambos métodos fue lograr la mayor objetividad posible a partir de la información recabada. Entonces el plano de susceptibilidad se construyó con los pesos de ponderación resumidas en la Tabla 20.

El 35% del área de estudio es de alta susceptibilidad, está distribuido en toda el área de estudio, se da en pendientes mayores a 10° , sobre depósitos deluviales, coluviales, químicos de travertino y sobre el sustrato rocoso del Grupo Pucará y rocas volcánicas. El 30% es de muy alta susceptibilidad, se da más en pendientes mayores a 20° . Ambos rangos son los más importantes por representar las áreas más propensas a reactivar, generar más movimientos en masa.

De acuerdo con las observaciones de campo la mayoría de los movimientos en masa que se encuentran activos y suspendidos son áreas con muy alta, alta a mediana susceptibilidad, es decir que muestra coherencia.

Tabla 20 Resumen de valores de ponderación

PARÁMETROS	CLASIFICACIÓN DENTRO DE CADA PARÁMETRO	PONDERACIÓN 1*	PONDERACIÓN 2*	PARÁMETROS	CLASIFICACIÓN DENTRO DE CADA PARÁMETRO	PONDERACIÓN 1*	PONDERACIÓN 2*
Unidades litológicas	Depósito aluvial	1	0.23	Unidades hidrogeológicas	UH - 1	5	0.08
	Depósito coluvial	5			UH - 2	4	
	Depósito químico travertino	4			UH - 3	3	
	Depósitos deluviales	4			UH - 4	2	
	Formación Castrovirreyna	1		Cobertura vegetal	Algas y algunos arbustos	3	0.03
	Grupo Pucará	3			Árbol de eucalipto	1	
	Unidad Jello Jasa	2			Árbol de eucalipto y arbustos dispersos	3	
Unidades geomorfológicas	Colina abrupta en roca sedimentaria	4	0.2	Arbustos	4		
	Colina abrupta en roca volcánica lávica	4		Arbustos dispersos	5		
	Colina en roca sedimentaria	3		Arbustos muy dispersos	4		
	Colina en roca volcánica lávica	3		Cabullas	1		
	Ladera en depósito coluvial	5		Chacras	3		
	Ladera en depósito deluvial	5		Ichu con escasos arbustos	4		
	Ladera en roca volcano sedimentaria	2		Ichus	2		
	Ladera en travertino	4		Pastizal fino con escasos arbustos	4		
	Llanura o planicie en depósito deluvial	3		Pastizales finos	4		
	Llanura o planicie inundable	2		Rango de pendientes	<10° - muy bajo	1	0.45
	Masa de agua	2			10°-20° - bajo	3	
	Meseta en roca volcánica lávica	1			20° - 30° - medio	4	
	Presas en travertino	4			30°-35° - alto	2	
	Terraza en travertino	4			>35° - muy alto	5	

1* Ponderación dentro de cada parámetro. 2* Ponderación entre los 5 parámetros (vector priorización).

VII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1. Conclusiones

✓ El 35 % del área de estudio son de alta susceptibilidad y 30% del área de muy alta susceptibilidad. Por otro lado, se tiene que más del 80% de las áreas donde ocurrió algún tipo de movimiento en masa presentan alto a muy alto grado de susceptibilidad, entonces se afirma la hipótesis que las áreas donde ocurrió uno o varios tipos de movimientos en masa son las más susceptibles, es decir hay una relación de dependencia. El plano de susceptibilidad es la lámina 9 del Anexo 3.

✓ En el inventario se encontró 49 áreas de ocurrencia de movimientos en masa es el 24% del área de estudio. La caída de rocas es el tipo de movimiento más representativo, seguido de flujos, luego de deslizamientos y en menor presencia el tipo reptación. Sin embargo, en números de casos, flujo es el tipo que presenta más casos respecto a los demás tipos de movimientos en masa (Ver Figura 84).

De estas ocurrencias, el GD12, GD31, GD10, GD11, GD51, GD07, GD08, GD09 y GD38 son zonas críticas. El GD12 y GD31 son deslizamientos cuya actividad está suspendida aparentemente, porque no se perciben cambios notorios; puede reactivarse de forma compuesta es decir un deslizamiento con flujo de detritos; llevaría a la interrupción de la ruta turística y/o podría causar daños personales, además cambiar el curso de agua del río Millpu. En el caso de los GD07, GD08, GD10, GD11 son flujos suspendidos, pero se activan en las temporadas de lluvia, desplazan las gravas y bloques que se encuentran a media ladera; estos flujos también afectan principalmente a la ruta turística. Mientras que en GD51 y GD38 son áreas propensas a desprendimiento y caída de fragmentos o bloques rocosos. En el GD51 son rocas sedimentarias tipo conglomerado pero muy meteorizadas y ello hace que sus componentes se desprendan fácilmente, llegaría afectar principalmente la ruta turística y/o causar daños personales. En el GD38 son rocas más compactas, sin embargo, los estratos están dispuestos entre 60° a 80° de inclinación hacia el NE, ello

favorece al desprendimiento de bloques hacia las pozas. El GD09 involucra una mayor área y el tipo de movimiento latente es de reptación de suelos, es un movimiento lento, por lo que a simple vista no causaría mucho peligro, pero a largo tiempo afectaría a la ruta turística, variación del cauce del río Millpu, las piscigranjas y restaurantes que se encuentran al pie de esta ladera.

- ✓ Según el procesamiento de ponderación, el rango de pendientes mayores a 35° es el que más influye y representan el 27% del área de estudio, continua e rango de 20° a 30° . Tienen geoformas de laderas de depósitos coluviales, depósitos deluviales, en roca volcánico sedimentaria y ladera en travertino.
 - ✓ La unidad litológica que comprenden son 7 entre rocas y depósitos no consolidados. De ellos el que más favorece a los movimientos de masa son los depósitos coluviales (ver Figura 78) por estar compuesto de materiales finos, granos hasta bloques y poco consolidados, es decir, se disgregan rápido. En el caso que pase agua por los intersticios, remueve a los materiales finos ya sea arcilla, limo o arena fina y con el tiempo los bloques donde se apoyan van perdiendo estabilidad.
 - ✓ Del proceso de validación se concluye que el método estadístico bivariado y el proceso de análisis jerárquico son confiable en la elaboración de planos de susceptibilidad. Porque permitió representar casi el 43% de las zonas registradas con algún tipo de movimiento como muy alta susceptibilidad, 39% de alta susceptibilidad, 14% de susceptibilidad media y 4% de susceptibilidad baja (Ver Figura 83). En estas áreas se encuentran las zonas críticas.
 - ✓ Se encontró que en las zonas de cobertura vegetal tipo arbustos ocurrió algún tipo de movimiento en masa y según el procesamiento de análisis jerárquico para los parámetros calculados (ver Tabla 8), este es el que menor influencia genera sobre el plano de susceptibilidad con un peso de 0.03. Tiene sentido ya que la cobertura vegetal en la mayoría de los casos se adapta a la forma del relieve, tipo de suelo, roca y clima.
-

-
- ✓ Por otro lado, el parámetro de hidrogeología tiene ligeramente mayor peso que el parámetro de cobertura vegetal de acuerdo con el proceso de análisis jerárquico realizado (Tabla 8). Este parámetro solo se clasificó en 4 tipos de unidades hidrogeológicas, según el rango teórico de sus permeabilidades (ver Tabla 5). Entonces se encontró que las unidades hidrogeológicas 1 y 2 son las más propensas a generar movimientos en masa.

7.2. Recomendaciones

- ✓ Se recomienda reconocer, comunicar, preparar alertas tempranas por movimientos en masa por caídas, flujo, deslizamientos y reptaciones a los pobladores de la zona y personas que trabajan en áreas de esparcimiento, transitan por los caminos cerca de las zonas de muy alta o alta susceptibilidad a movimientos en masa.
 - ✓ Realizar investigaciones geotécnicas a detalle en las áreas donde se pretenda construir alguna infraestructura que estén próximo a las áreas de alta y muy alta susceptibilidad a movimientos en masa. También añadir los estudios de análisis de estabilidad de las condiciones actuales y considerando la nueva infraestructura o cambio del terreno.
 - ✓ Considerar medidas de sostenimiento en caso de realizar cortes de talud, en especial en los depósitos deluviales y coluviales, para mantener la estabilidad de los taludes, así reducir casos como los GD23, GD24 y GD25.
 - ✓ Evitar incrementar la carga sobre suelos de depósito químico de travertino, ni verter residuos que deterioren porque estas rocas carbonatadas podrían irse deteriorando.
 - ✓ Realizar estudios de capacidad portante de los depósitos químicos de travertino antes de construir alguna infraestructura.
 - ✓ Realizar estudios hidrológicos, hidrogeológicos e hidroquímicos para el control ambiental de las aguas.
 - ✓ Tomar decisiones para respetar la faja marginal del río Millpu, evitar su contaminación y exponer la vida de las familias.
-

BIBLIOGRAFÍA

- Alvarado Mercado, R. S., & Torres Fonseca, D. F. (2019). *Análisis de la estabilidad y estimación preliminar de riesgos por deslizamiento para el mejoramiento y ampliación del sistema de agua potable y desagüe en la localidad de Vilcabamba, distrito de Vilcabamba, provincia la Convención, departamento de Cusco*. Arequipa.
- Andía, J., Torres, D., Ayala, L., Coaquira, F., & Valdivia, W. (2015). *Mapa geológico del cuadrángulo de Huancapi 28ñ2 Escala 1:50 000*. Lima: INGEMMET.
- Arone Padilla, J. R. (2017). *Análisis de estabilidad de los deslizamientos de tierras con substratos pizarrosos caso localidad de Kelcaybamba-Ocobamba, provincia de la Convención, región Cusco*. Lima.
- Asociación LAGESA, -C. (1996). *Geología de los cuadrángulos de Huancapi, Chincheros, Querobamba y Chaviña. Hojas 28-ñ, 28-o, 29-o y 30-o*. Lima: INGEMMET.
- Ávila, D. (2018). *Estimación de la susceptibilidad a deslizamientos en la región sur este de la Reserva Biológica Montecillos a través del método Mora Vahrson*.
- Burga, J. D. (2011). *Diccionario Geológico*.
- Capezzuoli, E., Gandin, A., & Pedley, M. (2014). Decoding tufa and travertine (fresh water carbonates) in the sedimentary record: The state of the art. *Sedimentology*, 61; 1-21.
- Carrillo Elizalde, R. P. (2015). *Evaluación de zonas susceptibles a movimientos en masa del tipo deslizamiento en el centro poblado de Carampa, distrito de Pazos, provincia de Tayacaja, región Huancavelica, aplicando el protocolo de CENEPRED*. Piura.
- Castañeda Z., M. (2013). Geomorfología y estratigrafía del área de la cuenca del río Mishca (distrito Canarias, provincia de Víctor Fajardo, departamento de Ayacucho). *Rev. del instituto de Investigación (RIIGEO), FIGMMG-UNMSM vol.16 N°32*, 68-79.
- Cornforth, D. (2005). *Landslides in Practice*. New Jersey: John Wiley & Sons.
- Crozier, M. (1986). *LANDSLIDES: CAUSES, CONSEQUENCES AND ENVIROMENT*.
- Cruden. (1991). A SIMPLE DEFINITION A LANDSLIDE. *Of the International Aassotiation of Ingeenring Geology*, págs. 27-29.
- Cruden, D. (2011). The working Classification of landslide: material matters. *2011 Pan-Am CGS Geotechnical Conference*, 1-7.
- Cruden, D. M., & Varnes, D. J. (1996). Landslides Types and Processes. *Landslides investigation and mitigation: Washington D. C, National Academy Press, Transportation Research Board Special Report*, 36-75.
- Cucho S., V. (2022). *Prospección arqueológica en la quebrada superior del rio Millpu, Circamarca - Huancaraylla (Ayacucho)*. Ayacucho: UNSCH.
- Dassargues, A. (2019). *Hidrogeology ground water science and engineering*. Taylos & Francis Group.
- David M Cruden, D. J. (1996). Landslides Types and Processes. En *Landslides: Investigation and Mitigation* (págs. 36-75).
-

-
- Desposorio, A., & Huisa, J. (2022). *Conciencia turística de la población local del distrito de Huancaraylla, Ayacucho, respecto al recurso turístico aguas turquesas de Millpu, 2021*. Lima: Universidad Científica del Sur.
- Díaz, A., Gallastegui, M., González, L., & Mancebo, M. (2019). *Vocabulario de Rocas, Sedimentos y Formaciones Superficiales*. Madrid: Instituto Geológico y Minero de España.
- Dirección de Gestión de Procesos. (2014). *Manual para la Evaluación de Riesgos Originados por Fenómenos Naturales - 2da Versión*. Lima: CENEPRED.
- Dominguez C., M. J. (2003). *Geomorfología e inestabilidad de laderas en la Cuenca Carbonífera Central (Valle del Nalón, Asturias). Análisis de la susceptibilidad ligada a los movimientos superficiales del terreno*. Oviedo: Universidad de Oviedo.
- Edier Aristizábal, Y. V. (2011). *Caracterización geotécnica de perfiles de meteorización desarrollados sobre rocas ígneas en ambientes tropicales*. Medellín.
- Fine. (s.f.). Obtenido de Estabilidad de Taludes: <https://www.finesoftware.es/ayuda-en-linea/geo5/es/estabilidad-de-taludes-01/>
- Gamboa, E. (2022). *Análisis de la gestión turística para el desarrollo del turismo sostenible en el circuito turístico en Millpu, Ayacucho 2022*. Lima: Universidad César Vallejo.
- García. (1996). *Manual de estabilidad de taludes*. Instituto Nacional de Vías.
- García, B., Aguilar, R., Huanca, J., & Albinez, L. (2018). *Evaluación Geológica - Geodinámica al deslizamiento de Campanayocpata*. Lima, Perú: INGEMMET.
- Gonzales de Vallejo, L. (2004). *Ingeniería Geológica*. Madrid, España: Isabel Capella.
- Gutiérrez Elorza, M. (2008). *Geomorfología*. Madrid, España: Pearson Education S.A.
- Highland, L. (2004). *Landslide types and processes*. U.S. Geological Survey.
- Highland, L., & Bobrowsky, P. (2008). *Manual de derrumbes: una guía para entender todo sobre los derrumbes*. Virginia : Servicio Geológico de los EE.UU.
- Hurlbut, C. K. (1985). *Manual of Mineralogy*.
- INDECI. (2019). *BOLETIN ESTADÍSTICO VIRTUAL DE LA GESTIÓN REACTIVA*. Lima, Perú: INDECI.
- INDECI. (2020). *Compendio Estadístico Gestión Reactiva 2020*.
- Instituto Geológico Minero de España. (1971). *Riesgo Geológico*. Madrid: https://books.google.com.pe/books?hl=es&lr=&id=BhIDV88yvzWC&oi=fnd&pg=PA175&dq=mecanismos+de+deslizamiento&ots=F-HLOkEVft&sig=mJGyc0kj1mhSX5t5Phjp59ypPvc&redir_esc=y#v=onepage&q=mecanismos%20de%20deslizamiento&f=false
- Irigaray, C., & Chacón, J. (2002). Métodos de análisis de la susceptibilidad a los movimientos de ladera mediante S.I.G. *Fundamentos y aplicaciones en España, Instituto Geológico y Minero de España*, 21-36.
- Jiménez, D. (2005). *Análisis de vulnerabilidad de embalses frente a movimientos de ladera*. Granada.
- Metalúrgico, I. G. (2003). *Estudio de Riesgo Geológico del Perú Fanja N°3*. Lima, Perú: INGEMMET.
-

-
- Mizutori, M., & Guha, D. (2018). *Economic Losses , Poverty and Disasters 1998-2017*. UNISDR & CRED.
- Montero, J. (2017). *Clasificación de movimientos en masa y su distribución en terrenos geológicos de Colombia*. Bogotá, Colombia: Imprenta Nacional de Colombia.
- Peppoloni, S., & Di Capua, G. (2021). Geoethics to start up a pedagogical and political path towards future sustainable societies. *Sustainability*, 1-18.
- PLANAGER. (2014). *PLAN NACIONAL DE GESTIÓN DEL RIESGO DE DESASTRES*. Lima, Perú: SGRD.
- Proyecto Mundial Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas. (2007). *MOVIMIENTO EN MASA EN LA REGIÓN ANDINA*. Canadá.
- Quispesivana, L., & Navarro, P. (2003). *Memoria descriptiva de la revisión y actualización de los cuadrángulos de Guadalupe (28-l), Huancapai (28-ñ), Chincheros (28-o), Castrovirreyna (27-m), San Miguel (27-o), Tupe (26-l), Conaica (26-m), Huarochirí (25-k), Yauyos (25-l) y Huancayo (25-m)*. Lima: INGEMMET.
- Ramos C., W., Ticona T., P., & Valdivia V., W. (2021). *Geología del cuadrángulo de Querobamba hoja 29o, hojas 29o1, 29o4 Boletín serie L: Actualización Carta Geológica Nacional (Escala 1:50000)*. Lima: INGEMMET.
- Reyes R., L., Cotrina, J., & Del Águila, A. (2012). Columna estratigráfica del Grupo Pucará en la sección Chinchao - Huánuco. *Rev. del instituto de investigación (RIIGEO), FIGMMG-UNMSM Vol. 15 N°30*, 29-37.
- Rodríguez, Á. (2017). *Petrología, sedimentología y geoquímica de los travertinos y tobas del Barranco de Azuaje (Gran Canaria): Características e implicaciones*. Madrid: Universidad Complutense de Madrid.
- Ruíz, J. (2020). *Susceptibilidad a deslizamientos en el Valle de Joa*. .
- Salazar, H., & Landa, C. (1993). *Geología de los cuadrángulos de Mala, Lunahuana, Tupe, Conayca, Chincha, Tantara y Castrovirreyna Hojas 26-j, 26-k, 26-i, 26-m, 27-k, 27-i, 27-m*. Lima: INGEMMET.
- Santacana Q., N. (2001). *Análisis de susceptibilidad del terreno a la formación de deslizamientos superficiales y grandes deslizamientos mediante el uso de Sistemas de Información Geográfica. Aplicación a la cuenca alta del Río Llobregat*. Barcelona: Universidad Técnica de Cataluña.
- Sardón, J. (2019). *Recursos turísticos y posicionamiento de la región Ayacucho como destino turístico sostenible*. Puno: Universidad Nacional del Altiplano.
- Soeters, R., & VanWesten. (1996). Slope instability recognition, analysis and zonation. *Landslide investigation and mitigation: Washington D.C. National Academy Press, Transportation Research Board Special Report*, 129-177.
- Sosa Senticala, N. L. (2016). *Análisis de susceptibilidad a los peligros geológicos por movimientos en masa - poblados de Pampamarca y Acobamba, región Huánuco*. Puno.
- Suarez, J. (2009). Capítulo 1: Análisis Geotécnico. En J. Suarez, *Deslizamientos*. Bucaramanga, Colombia: Universidad Industrial de Santander.
-

-
- Tacilla J., R. (2019). *Estimación de áreas susceptibles por movimientos de masa en la cuenca hidrográfica del río Chonta – Cajamarca*. Cajamarca: Universidad Nacional de Cajamarca.
- Tacilla Juarez, R. (2019). *Estimación de áreas susceptibles por movimientos de masa en la cuenca hidrográfica del río Chonta – Cajamarca*. Cajamarca.
- UNISDR. (2009). *Terminología sobre reducción de riesgo de desastres para los conceptos de amenazas, vulnerabilidad y riesgo*. CIIFEN.
- Varnes, D. J. (1978). Slope movement types and processes. *Landslides analysis and control: Washington D. C, National Academy Press, Transportation Research Board Special Report, 9-33*.
- Vilchez M., M. (2008). *Evaluación de la susceptibilidad a los movimientos en masa en las áreas de Chachapoyas y Luya (Amazonas – Perú)*. Madrid: Red Desir.
- Vílchez Mata, M., Ochoa Zubiarte, M., & Pari Pinto, W. (2019). *Peligro Geológico en la Región de Ayacucho*. Lima, Perú: INGEMMET.
- Villacorta Chambi, S. (2007). *Aálisis de la susceptibilidad a los movimientos de ladera en la cuenca del río LLaminchán (Cajamarca, Perú)*. Red DESIR.
- Villacorta, S., Peña, F., Jaimes, F., Sosa, N., Elmer, C., Pari, W., . . . Rodriguez, C. (2019). *Evaluación Integral de la Cuenca del río Mariño (Abancay, Apurímac) para la prevención de desastres de origen geológico y geo-hidroológico*. Lima, Perú: INGEMMET.
- Zevallos, M. (2018). *Estimación de recursos minerales en la Mina Santa Fe Buenavista Alta – Casma – Ancash*.
-