

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

FACULTAD DE INGENIERIA GEOLÓGICA, MINAS Y METALURGICA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA



TESIS

**ESTUDIO GEOLOGICO, GEOTECNICO E HIDROLOGICO
PARA LA ESTABILIDAD DE TALUDES DEL TRAMO DE LA
LINEA FERREA QUEBRADA POMATALES, DISTRITO DE
HUAROCONDO, PROVINCIA DE ANTA, DEPARTAMENTO
DEL CUSCO**

PRESENTADO POR:

Br. FIDEL RONALD LOAYZA SERNA
Br. JOHN PACHACUTEC CHAMPI

**PARA OPTAR AL TITULO PROFESIONAL
DE INGENIERO GEOLOGO**

ASESOR:

Dr. RONALD LUIS LOPEZ ZAPANA

CUSCO-PERU

2025



Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco

INFORME DE SIMILITUD

(Aprobado por Resolución Nro.CU-321-2025-UNSAAC)

El que suscribe, el Asesor DR. RONALD LUIS LOPEZ JAPANA.....
..... quien aplica el software de detección de similitud al
trabajo de investigación/tesis titulada: ESTUDIO GEOLOGICO, GEOTECNICO E HIDROLOGICO
PARA LA ESTABILIDAD DE TAUDES DEL TRAMO DE LA LINEA FERREA QUEBRADA
POMATALES, DISTRITO DE HUAROCONDO, PROVINCIA DE ANTA, DEPARTAMENTO
DEL CUSCO.....

Presentado por: FIDEL RONALD LOAYZA SERRA..... DNI N° 46240291 ;
presentado por: JOHN PACHACUTEC CHAMPI..... DNI N°: 48224082

Para optar el título Profesional/Grado Académico de INGENIERO GEOLOGO.....

Informo que el trabajo de investigación ha sido sometido a revisión por 02 veces, mediante el Software de Similitud, conforme al Art. 6º del *Reglamento para Uso del Sistema Detección de Similitud en la UNSAAC* y de la evaluación de originalidad se tiene un porcentaje de10 %.

Evaluación y acciones del reporte de coincidencia para trabajos de investigación conducentes a grado académico o título profesional, tesis

Porcentaje	Evaluación y Acciones	Marque con una (X)
Del 1 al 10%	No sobrepasa el porcentaje aceptado de similitud.	X
Del 11 al 30 %	Devolver al usuario para las subsanaciones.	
Mayor a 31%	El responsable de la revisión del documento emite un informe al inmediato jerárquico, conforme al reglamento, quien a su vez eleva el informe al Vicerrectorado de Investigación para que tome las acciones correspondientes; Sin perjuicio de las sanciones administrativas que correspondan de acuerdo a Ley.	

Por tanto, en mi condición de Asesor, firmo el presente informe en señal de conformidad y adjunto las primeras páginas del reporte del Sistema de Detección de Similitud.

Cusco, 16 de Enero..... de 2026.....

Firma

Post firma RONALD LUIS LOPEZ JAPANA

Nro. de DNI 23923900

ORCID del Asesor 0000-0003-0148-6535

Se adjunta:

- Reporte generado por el Sistema Antiplagio.
- Enlace del Reporte Generado por el Sistema de Detección de Similitud: oid: 27259:546548274

Pachacute- Loayza

Estudio Geológico Geotécnico e Hidrológico para la estabilidad de taludes del Tramo

 Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid:::27259:546548274

158 páginas

Fecha de entrega

15 ene 2026, 3:43 p.m. GMT-5

28.378 palabras

Fecha de descarga

15 ene 2026, 3:53 p.m. GMT-5

166.990 caracteres

Nombre del archivo

Tesis Pachacute-Loayza(1).pdf

Tamaño del archivo

4.3 MB

10% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- ▶ Bibliografía
- ▶ Coincidencias menores (menos de 12 palabras)
- ▶ Base de datos de Crossref
- ▶ Base de datos de contenido publicado de Crossref

Exclusiones

- ▶ N.º de coincidencias excluidas

Fuentes principales

10%	Fuentes de Internet
0%	Publicaciones
3%	Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alerta de integridad para revisión

Texto oculto

108 caracteres sospechosos en N.º de páginas

El texto es alterado para mezclarse con el fondo blanco del documento.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

DEDICATORIA

La realización de esta tesis la ofrezco, en primer lugar, a Dios, por guiarme y fortalecerme en cada paso. Extiendo mi gratitud a mis padres, quienes me brindaron la vida, formación y un apoyo constante; a mis hermanos, a mis maestros y a mis compañeros de estudio. También agradezco profundamente a mi alma máter, la UNSAAC, y a la vida misma por colocar a las personas correctas en los momentos más complicados. A cada uno de mis seres queridos, por su respaldo incondicional, les expreso mi más sincero agradecimiento. Esta dedicatoria es para todos ustedes

Bach. PACHACUTEC CHAMPI JOHN

DEDICATORIA:

Esta tesis está dedicada a Dios, quien me ha permitido culminar mis estudios; a mis padres, quienes siempre me han apoyado y aconsejado para ser mejor persona; a mis hermanos y sobrinos, por sus palabras y compañía; a todos mis profesores y compañeros; a mi universidad, UNSAAC; y a la vida, por poner en mi camino a las personas adecuadas en los momentos difíciles. Les agradezco sinceramente a todos y cada uno de ellos. A todos ellos les dedico esta tesis.

Bach. LOAYZA SERNA FIDEL RONALD

AGRADECIMIENTOS

Al concluir esta maravillosa etapa de nuestras vidas, queremos expresar nuestro sincero agradecimiento a todos los que hicieron posible nuestro sueño, a todos los que nos apoyaron, animaron y fortalecieron a lo largo del camino. Estamos especialmente agradecidos a Dios, a nuestros padres, hermanos y familiares. Expresamos nuestro más sincero reconocimiento por habernos enseñado que el amor auténtico se manifiesta en el impulso natural de apoyar a otro en su crecimiento. Del mismo modo, extendemos nuestra gratitud a la Escuela de Ingeniería Geológica y a cada uno de los docentes, cuyas orientaciones y conocimientos han sido fundamentales en nuestra formación profesional. A todos, les manifiesto mi profundo agradecimiento.

INDICE

RESUMEN	X
ABSTRAC.....	XI
CAPITULO I.....	1
ASPECTOS GENERALES.....	1
1.1. UBICACIÓN	2
1.1.1. UBICACIÓN EN COORDENADAS UTM	3
1.1.2. UBICACIÓN POLITICA	3
1.2. ACCESIBILIDAD	3
1.3. PROBLEMA	4
1.3.1. Planteamiento del problema	4
1.3.2. Formulación del Problema.....	4
1.4.3 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACION	4
1.4.3.1 OBJETIVO PRINCIPAL.....	4
1.4.3.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	4
1.4.4 HIPOTESIS.....	5
1.5 MARCO TEORICO	6
1.6 MARCO REFERENCIAL	7
1.7 MARCO CONCEPTUAL.....	8
1.7.1 DEFINICIONES:.....	8
1.8 METODOLOGIA DE INVESTIGACION	10
1.8.1 Tipo de Documentación	10
1.8.2 Etapa Preliminar de Gabinete	10
1.8.3 Etapa de Campo.....	10
1.8.4 Etapa de Gabinete.....	10
1.9 ASPECTOS GEOGRAFICOS	10
1.9.1 CLIMA	10
1.9.2 VEGETACION	11
1.9.3 CARACTERIZACION ECOLOGICA	11
CAPITULO II.....	16
GEOMORFOLOGIA	16
2.1. GEOMORFOGENESIS	17
2.1.2. MORFOGENESIS CUATERNARIA	17
2.2. UNIDADES MORFOLOGICAS REGIONALES	18

2.2.1. CORDILLERA ORIENTAL	18
2.2.2. MONTAÑAS DEL PACHATUSAN.....	18
2.2.3. ALTIPLANICIES	18
2.2.4. VALLE DEL RIO VILCANOTA	19
2.2.5. DEPRESIÓN DE ANTA.....	19
2.2.6. ZONA SUBANDINA.....	19
2.2.7. MESETA DE COLQUEPATA.....	19
2.3.1. VALLE DE HUAROCONDO PACHAR.....	20
2.3.2. LADERAS.....	20
2.3.3. QUEBRADAS	20
2.3.4. TERRAZAS	20
2.3.5. ESCARPAS Y ASENTAMIENTOS	21
2.3.6. FONDO DE VALLE	22
2.4. RELACION DE LA GEOMORFOLOGIA CON LA DINAMICA DEL AREA DE ESTUDIO.....	23
CAPITULO III.....	26
LITOLOGIA	26
3.1. GEOLOGIA REGIONAL.....	27
3.1.1. FORMACION OLLANTAYTAMBO (C-o).....	27
3.1.2. FORMACION SANDIA (Os-s).....	27
3.1.3. FORMACION HUANCANE (Ki-hn)	27
3.1.4. GRUPO YUNCAYPATA.....	28
B. FORMACION MARAS (KI-MA).....	28
C. FORMACION AYAVACAS (KI- AY).....	28
3.1.5 GRUPO SAN JERONIMO (Peo – sj).....	29
3.2. GEOLOGIA LOCAL.....	29
3.2.2. FORMACION MARAS (Ki-ma)	29
3.2.1. FORMACION KAYRA (Peo – K).....	30
3.2.3. DEPOSITOS CUATERNARIOS RECIENTES	31
CAPITULO IV.....	34
GEOLOGIA ESTRUCTURAL	34
4.2. FALLAMIENTO	36
4.2.1. FALLA DE KAPCCA.....	36
4.2.2. SISTEMA DE FALLAMIENTO SO – NE	36
4.3. SISTEMA DE GRIETAS DE TENSION PARALELAS DE AFLORAMIENTOS ROCOSOS DEL VALLE DEL RIO HUAROCONDO	37
CAPITULO V.....	40

GEODINAMICA	40
5.1. MORFOGEODINAMICA Y MANIFESTACIONES ACTUALES DE LOS PROCESOS EROSIVOS	41
5.1.1. ESCURRIMIENTO SUPERFICIAL.....	41
5.1.2. EROSION EN SURCOS Y CARCAVAS	42
5.1.3. EROSION DE LADERAS.....	42
5.1.4. SOCAVAMIENTO DEL RIO	42
5.1.5. MOVIMIENTOS EN MASA.....	43
5.2. ANALISIS DE ESTABILIDAD Y RIESGO FISICO	60
5.2.1. AREAS ESTABLES (E)	61
5.2.2. AREAS LIGERAMENTE ESTABLES (LI)	61
5.2.3. AREAS MEDIANAMENTE INESTABLES (MI)	61
5.2.4. AREAS INESTABLES.....	61
MOVIMIENTO ROTACIONAL	64
5.3. PROPUESTAS Y ALTERNATIVAS PARA LA ESTABILIZACION DE LOS SECTORES CRITICOS.....	65
5.3 .1. SISTEMA DE EVALUACION DE AGUAS PLUVIALES.....	65
5.3.2. SISTEMA PARA EL CONTROL DE LA EROSION DE LAS QUEBRADAS	65
5.3.3. SISTEMA DE TERRAZAS O BANCOS	65
5.3.4. REFORESTACION MASIVA	65
5.4. GEODINAMICA INTERNA (SISMICIDAD)	66
5.4.1. ANTECEDENTES SISMICOS DE LA REGION CUSCO	68
5.4.2. PELIGROSIDAD SISMICA EN EL SUR DEL PERU	68
5.4.3. ZONIFICACION SISMICA SEGÚN RNC.....	69
CAPITULO VI.....	74
HIDROLOGIA.....	74
6.1. INTRODUCCION.....	75
6.2. CICLO HIDROLOGICO.....	79
6.3. TEMPERATURA.....	79
6.4. RADIACION SOLAR	80
6.5. HUMEDAD ATMOSFERICA	80
6.6. PRECIPITACION.....	81
6.6.1. FORMAS DE PRECIPITACION	81
6.6.2. MEDICION DE LA PRECIPITACIÓN	82
6.7. EVAPOTRANSPIRACION REAL (Er).....	86
6.7.1. EVAPOTRANSPIRACION POTENCIAL (Ep)	86
6.7.2. INFILTRACION.....	87
6.8. BALANCE HIDRICO.....	87

6.9. INVENTARIO DE RECURSOS HIDRICOS	89
6.10. ESCORRENTIA SUPERFICIAL	89
6.11. INFLUENCIA DE LAS AGUAS SUBTERRANEAS EN EL COMPORTAMIENTO GEODINAMICO.....	90
6.12. INCIDENCIA DEL AGUA EN LA INESTABILIDAD DEL TALUD	91
CAPITULO VII.	94
GEOTECNIA	94
7.1. INTRODUCCION.....	95
7.2. DESCRIPCION DEL MATERIAL DESLIZADO	95
7.3. PROPIEDADES MECANICAS DE LOS SUELOS	95
7.3.1. GRANULOMETRIA	95
7.3.2. LIMITES DE CONSISTENCIA DEL SUELO	96
7.4. CARACTERISTICAS Y RESISTENCIA DEL SUELO	97
7.4.1. ENSAYO DE CORTE DIRECTO	97
7.4.2. ENSAYO DE COMPACTACION PROCTOR	99
7.4.3. DETERMINACION DEL ANGULO DE FRICTION INTERNA Φ	99
7.4. ESTUDIO DE CAMPO	100
7.5.1. RESULTADOS	101
7.6. PARAMETROS GEOMECANICOS.....	102
7.7. PARAMETROS GEOTECNICOS.....	102
7.8. CONSTANTES DE PLASTICIDAD	102
7.9. CLASIFICACION DE SUELOS	103
7.10. COMPACTACION DEL TERRENO	104
7.11. ESTABILIDAD DE TALUDES	105
7.11.1. CONSIDERACIONES GEOTECNICAS	105
7.11.2. METODO PARA ESTABILIZAR TALUDES	106
CONCLUSIONES	123
RECOMENDACIONES.....	124
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	125
ANEXOS	126
A. FOTOGRAFIAS.....	127
B. ANALISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES.....	133
C. CALICATAS Y ANALISIS DE LABORATORIO.....	137
D. ESTRATIGRAFIA DE CALICATAS	145

LISTA DE FOTOGRAFIAS

Foto 1. Exposición de yesos de la Formación Maras en la ribera derecha del río Huarocondo.....	30
Foto 2. Presencia de grietas paralelas al valle.	37
Foto 3. Derrumbe ocurrido en el mes de marzo del 2013, dicho fenómeno se produjo a causa del material inconsolidado que existe en la zona.....	50
Foto 4. Zona de deslizamiento en el mes de noviembre del año 2018, lo cual se produjo a causade los flujos de agua en la zona.....	50
Foto 5. Vista del socavamiento del rio y en el lado derecho se observan que la zona es usada como un botadero de materiales.	52
Foto 6. Vista del deslizamiento Da3 que se originó dentro de la formación Maras. Se muestra también la presencia de reptación del suelo. Fuente: Propia.	53
Foto 7. Vista del deslizamiento DA4 parte lateral izquierda. Fuente: Propia.....	54
Foto 8. Deslizamiento DB1. No muestra actividad, el cual es utilizado como terreno de cultivo.....	54
Foto 9. Deslizamiento DB3 en proceso de reactivamiento a pesar de que ya se hizo el tratamiento de estabilidad.....	55
Foto 10. Vista del deslizamiento DB4 mostrando un deslizamiento del tipo traslacional.	56
Foto 11. Vista del gran deslizamiento DB5 donde muestra efectivamente la zona de arranque en contra de la estratificación.	57
Foto 12. Vista frontal del sistema 2 del conjunto DB5, se observa: tratamiento del deslizamiento con banqueo y geomebranas, en la parte superior e inferior hay la presencia de grietas de hasta 2 cm..	57
Foto 13. Nótese el movimiento de masa rotacional ubicado en nuestra zona de interés,.....	64
Foto 14. Presencia de flujos de agua.	83
Foto 15. Vista de la zona de estudio.....	112
Foto 16. desestabilización de taludes.....	115
Foto 17. Se muestra las tres zonas críticas del talud en la quebrada de Pomatales.	128
Foto 18. Se muestra la zona inestable observando una necesidad de eliminar la carga de material.	128
Foto 19. Vista mostrando el banqueo a realizarse.	129
Foto 20. Vista muestra la zona activa en estudio.	129
Foto 21. Se muestra el deslizamiento activo.	130
Foto 22. Se muestra el material coluvial totalmente inestables, que deberá ser descargado o eliminado.	130
Foto 23. Sistema de banqueo de las plataformas.....	131
Foto 24. Presencia de flujos subterráneos.....	131

Foto 25. Fotografía que muestra la presencia de vallas que evitan el desprendimiento de bloques.	132
--------------------------------------------------------------------------------------------------	-----

LISTA DE IMÁGENES

Imagen 1. Columna Estratigráfica de la Región Cusco. (Fuente: INGEMMET)	32
Imagen 2. Gráficos que representan las estructuras de la zona de estudio (Fuente: Propia).....	35
Imagen 3. Tipos de deslizamientos. Fuente: Corominas y García, 1997.	48
Imagen 4. Deslizamiento Rotacional.....	48
Imagen 5. Perfil de corte transversal. Fuente: Propia	49
Imagen 6. Esquema de un deslizamiento translacional, llamado resbalamiento y corriente según Coronimas Dulcet y Garcia Yague(1997).....	49
Imagen 7. Representacion de Reptación de Suelos. FUENTE:Scrib. Deslizamientos.....	58
Imagen 8. Diagrama de Pierson (1986) que muestra el corte esquemático típico de un flujo de detritos, mostrando con blqoues de un pulso de un flujo (PMA, GCA, 2008).....	58
<i>Imagen 9 Mapa de sismicidad del Perú. FUENTE: GEOGPS PERU 2016.....</i>	70
Imagen 10. Climograma de Huarocondo. Fuente: Climate.Data-ORG.	79
Imagen 11.Diagrama de temperatura de Huarocondo. Fuente: Climate.Data-ORG	80
Imagen 12. Datos históricos del tiempo en Huarocondo. Fuente: Climate.Data-ORG.....	81
Imagen 13. Acciones estabilizadoras y desestabilizadoras en un talud.	105
Imagen 14. Partes del Sistema Terramesh	110
Imagen 15. Detalle del sistema Terramesh.....	111
Imagen 16. Gaviones.....	113
Imagen 17.Sistema Constructivo	113
Imagen 18. Colocado de mallas	114
Imagen 19. Geotextil triaxial.....	114
Imagen 20. Perfiles de muros de gaviones.	117

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Muestra el acceso y duración de recorrido hacia el lugar de estudio.	3
Tabla 2. Descripción del Medio Ambiente de las Zonas de Vida	13
Tabla 3. Valores del sistema de diaclasamiento de afloramientos rocosos del valle del rio Huaracando.....	38

Tabla 4. Tipificación de los movimientos en masa según la propuesta de Varnes (1958) y Hutchinson (1968)	44
Tabla 5. Registro sísmico. FUENTE: CISMID-UNI.....	69
Tabla 6. Probabilidad de ocurrencia de sismos en la zona Fuente:CISMID-UNI.....	69
Tabla 7. Datos de zonificación sísmica. FUENTE: GEOGPS-PERU.....	69
Tabla 8. Registro de precipitaciones mensuales/año. Desde 1968 - 1988. FUENTE: SENHAMI.....	84
Tabla 9. Balance Hídrico por precipitaciones en la microcuenca Pomatales.	89
Tabla 10. Inventario de recursos Hídricos. FUENTE: Quispe. L Mery, Canahuire, Vidadal	89
Tabla 11. Datos para el cálculo del Angulo de fricción interna.....	99
Tabla 12. Detalle de los datos de campo.	100
Tabla 13. Ensayos a usar. FUENTE: Normativa ASTM y AASHTO	101
Tabla 14. Valores obtenidos del ensayo de compresión simple. FUENTE: Propia.....	102
Tabla 15. Resultados del ensayo de límites.	103
Tabla 16. Resultados del ensayo Granulométrico.	104
Tabla 17. Resultados del ensayo de Proctor.....	105

RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo identificar y analizar las propiedades físicas y geomecánicas que condicionaron la Estabilidad de los taludes localizados a lo largo del tramo de la Vía férrea en la Quebrada Pomatales, distrito de Huarocondo, provincia de Anta, región Cusco. El área de estudio se caracterizó por una elevada actividad Geodinámica, manifestada por la ocurrencia recurrente de deslizamientos, desprendimientos y movimientos de masa, intensificados por factores climáticos, litológicos y antrópicos.

La metodología aplicada fue de tipo hipotética, descriptiva y explicativa, desarrollada en tres etapas: gabinete, campo y análisis final. Durante la fase de campo se realizaron levantamientos geológicos y geomorfológicos, cartografía de fenómenos geodinámicos, identificación de estructuras geológicas y muestreo de suelos y rocas. Los ensayos de laboratorio, realizados conforme a las normas ASTM y AASHTO, permitieron determinar propiedades físicas y mecánicas como granulometría, límites de Atterberg, peso unitario, cohesión y ángulo de fricción interna. Asimismo, se efectuó un análisis hidrológico e hidrogeológico de la microcuenca, considerando la influencia de las precipitaciones.

Los resultados evidenciaron que la litología predominante estuvo compuesta por andesitas, riolitas, yesos, limos y arcillas, principalmente de la Formación Maras, materiales porosos e inconsolidados que favorecieron la infiltración y saturación del suelo. Se identificaron fallas geológicas con rumbo N20°W que controlaron estructuralmente la inestabilidad del valle. Los factores de seguridad obtenidos confirmaron la inestabilidad de varios Taludes, recomendándose la implementación de medidas de estabilización y monitoreo geotécnico permanente.

Palabras clave: Geodinámica, Taludes, Estabilidad, Vía férrea.

ABSTRAC

The present research aimed to identify and analyze the physical and geomechanical properties that conditioned the stability of slopes located along the railway section in the Pomatales Ravine, district of Huarocondo, province of Anta, Cusco region. The study area was characterized by high geodynamic activity, evidenced by the recurrent occurrence of landslides, rockfalls, and mass movements, intensified by climatic, lithological, and anthropogenic factors.

The methodology applied was hypothetical, descriptive, and explanatory, developed in three stages: office work, fieldwork, and final analysis. During the field stage, geological and geomorphological surveys were conducted, including the mapping of geodynamic phenomena, identification of geological structures, and sampling of soils and rocks. Laboratory tests, carried out in accordance with ASTM and AASHTO standards, allowed the determination of physical and mechanical properties such as grain size distribution, Atterberg limits, unit weight, cohesion, and internal friction angle. Additionally, a hydrological and hydrogeological analysis of the micro-watershed was performed, considering the influence of precipitation.

The results indicated that the predominant lithology consisted of andesites, rhyolites, gypsum, silts, and clays, mainly belonging to the Maras Formation. These porous and unconsolidated materials favored soil infiltration and saturation. Geological faults with a N20°W trend were identified, structurally controlling valley instability. The obtained safety factors confirmed the instability of several slopes, and the implementation of stabilization measures and permanent geotechnical monitoring was recommended.

Keywords: Geodynamics, Slopes, Stability, Railway

CAPITULO I.

ASPECTOS GENERALES

En los últimos años, la variación del clima asociado al calentamiento global ha generado una notable variación en las temperaturas y en los patrones climáticos, dando lugar a una mayor frecuencia de fenómenos naturales que alteran los procesos geodinámicos de la superficie terrestre. Estos fenómenos, por su magnitud y origen natural, escapan al control humano y pueden desencadenar desastres que limitan el uso seguro y sostenible del territorio, aunque sus efectos pueden atenuarse mediante una adecuada planificación y manejo ambiental.

En el área de estudio, los procesos de erosión están condicionados por diversos factores naturales, entre ellos la naturaleza del suelo, la litología, la pendiente, la vegetación y las condiciones climáticas, como por la actividad antrópica, que ha intensificado el deterioro del paisaje. La erosión ocasiona la remoción de suelos y rocas en laderas y taludes, exponiendo los materiales a los agentes atmosféricos, aumentando la sedimentación y provocando el bloqueo de los drenajes naturales. Por ello, su consideración resulta esencial para comprender la dinámica actual del terreno.

Durante los últimos años, la Quebrada de Pomatales, ubicada en el distrito de Huarocondo, ha evidenciado un incremento significativo de deslizamientos, derrumbes, agrietamientos y desprendimientos de masa, afectando la estabilidad de las infraestructuras cercanas, como la línea férrea y la carretera que atraviesan ambas márgenes del valle.

Ante esta problemática, el presente estudio tiene como finalidad reconocer y analizar los procesos geodinámicos externos que provocan la inestabilidad de los taludes en la quebrada Pomatales, con el objetivo de plantear acciones de mitigación y estabilización que reduzcan la vulnerabilidad de las obras viales. La investigación plantea un análisis integral que permita diseñar y aplicar metodologías de ingeniería geotécnica y estructural, orientadas a la prevención y control de deslizamientos en sectores críticos de la zona

1.1. UBICACIÓN

La zona de estudio se ubica en el sector de Pomatales, Comunidad Campesina de Huarocondo, Provincia de Anta, Región de Cusco.

1.1.1. UBICACIÓN EN COORDENADAS UTM

ZONA	18 L
ESTE (X)	799174.1678 m
NORTE (Y)	8521307.1110 m
DATUM	WGS 84

1.1.2. UBICACIÓN POLITICA

Sector	Pomatales
Localidad	Pachar
Distrito	Huarocondo
Provincia	Anta
Departamento	Cusco

Tramo vial	(KM 7+400 CARRETERA HUAROCONDO PACHAR)
------------	-------------------------------------------

1.2. ACCESIBILIDAD

Se puede acceder desde Cusco por la carretera pavimentada Cusco-Huarocondo, de 30 kilómetros, seguida de un tramo de 7 kilómetros hacia el norte por el camino de terracería Huarocondo-Pachar. Otra opción para llegar a la zona de estudio es la ruta que discurre paralela a la línea férrea Cusco-Machu Picchu, en el flanco derecho de la subcuenca de Huarocondo.

ORIGEN	DESTINO	VIA	LONGITUD (KM)	TIEMPO (MIN.)
CUSCO	ANTA	CARRETERA	30.0	40.0
ANTA	HUAROCONDO	CARRETERA	5.0	10.0
HUAROCONDO	POMATALES	CARRETERA	7.0	20.0

Tabla 1. Muestra el acceso y duración de recorrido hacia el lugar de estudio.

1.3. PROBLEMA

1.3.1. Planteamiento del problema

En el lugar de estudio están presentes constantemente procesos geodinámicos externos, generalmente provocados por la lluvia, pendientes pronunciadas, material geológico no consolidado, estratificación ladera abajo, zonas de falla, aguas subterráneas, actividad humana, etc. Para mitigar el riesgo en la zona de influencia, este estudio describe las zonas de inestabilidad de taludes y propone técnicas de estabilización y soluciones tecnológicas.

1.3.2. Formulación del Problema

1.3.2.1. Problema Principal

¿Cuáles son las características físicas - geomecánicas de estabilidad, factor de seguridad y medidas de protección con el fin de asegurar la estabilidad de los taludes del tramo de la línea férrea quebrada Pomatales, distrito de Huarocondo, provincia de Anta, departamento del Cusco?

1.3.2.2. Problemas Específicos

1. ¿Como son los parámetros Geológicos, Geotécnicos e Hidrológicos que influyen en la estabilidad de taludes del tramo de la línea férrea Quebrada Pomatales, distrito de Huarocondo, provincia de Anta, departamento del Cusco?
2. ¿Cuál es el entorno geomorfológico, estructural y geodinámico que interviene en la estabilidad de taludes del tramo de la línea férrea quebrada Pomatales, distrito de Huarocondo, provincia de Anta, departamento del Cusco?

1.4.3 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACION

1.4.3.1 OBJETIVO PRINCIPAL

Determinar y evaluar las características físicas - geomecánicas de estabilidad, factor de seguridad y medidas de protección con el fin de asegurar la estabilidad de los taludes en el tramo de la Linea férrea de la quebrada Pomatales, distrito de Huarocondo, provincia de Anta, departamento del Cusco.

1.4.3.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

1.- Identificar los parámetros Geológicos, Geotécnicos e Hidrológicos que influyen en la estabilidad de taludes del tramo de la línea férrea Quebrada Pomatales, distrito de Huarocondo, provincia de Anta, departamento del Cusco.

2.- Describir el entorno geomorfológico, estructural y geodinámico que interviene en la estabilidad de taludes del tramo de la línea férrea quebrada Pomatales, distrito de Huarocondo, provincia de Anta, departamento del Cusco.

1.4.4 HIPOTESIS

HIPOTESIS GENERAL

1. Existirían las propiedades físicas y geomecánicas, así como el factor de seguridad y las medidas de protección necesarias para asegurar la estabilidad de los taludes del tramo ferroviario de la quebrada Pomatales, utilizando la información recopilada durante los trabajos de campo y los ensayos realizados tanto *in situ* como en laboratorio sobre los diferentes tipos de suelo y roca presentes en el área de estudio.

2. HIPOTESIS ESPECIFICAS

1. Habría relación entré los parámetros Geológicos, Geotécnicos e Hidrológicos que influyen en la estabilidad de taludes del tramo de la línea férrea Quebrada Pomatales, en función al mapeo y cartografiado local.
2. Existirían relación con el entorno geomorfológico, estructural y geodinámico que interviene en la estabilidad de taludes del tramo de la línea férrea quebrada Pomatales en función de la caracterización geomorfológica, estructural, fisiográfica y de pendientes de la zona de estudio.

JUSTIFICACION E IMPORTANCIA DEL ESTUDIO

La tesis sobre la estabilidad de taludes en la Línea férrea de la quebrada Pomatales es crucial para entender los riesgos geodinámicos en la región. A través del análisis geotécnico, geológico e hidrológico, se identifican los factores que afectan la estabilidad de los taludes, lo que permite diseñar medidas de estabilización y protección para las infraestructuras viales y ferroviarias. Esto es fundamental para mitigar el riesgo de deslizamientos y garantizar la seguridad de las personas.

Además, esta investigación ofrece un enfoque práctico para la gestión de riesgos en zonas andinas con condiciones geológicas similares. Los resultados obtenidos sirven como base para futuras soluciones de estabilización y pueden aplicarse en otras

regiones geodinámicamente activas, mejorando la planificación y el uso sostenible del territorio.

VARIABLES

Variables Independientes

- Geología
- Geomorfología
- Hidrología
- Precipitación

Variables Dependientes

- Flujo Superficial
- Petrología (Andesitas, Riolitas, yesos, Limos y Arcillas)
- Estructural (falla de Kapcca y Sistema de fallas SO-NE, fracturamiento tectónico, deformaciones estructurales e interacción de las estructuras geológicas)
- Propiedades geomecánicas de rocas y suelos
- Geotecnia
- Geodinámica
- Agentes erosivos
- Inestabilidades de taludes

1.5 MARCO TEORICO

ANTECEDENTES

El manual “Movimientos de masas en la región andina: una guía para la evaluación de amenazas”, establecido como un esfuerzo conjunto entre instituciones mediante el Grupo de Normas para Movimientos de Masas (GEMMA), se ha utilizado para el desarrollo teórico de temas relacionados con los movimientos de masas. De igual modo se tomó también el libro de “INGENIERIA GEOLOGICA” para abordar temas geotécnicos, como el análisis de estabilidad de taludes desde una perspectiva teórica. (Gonzales de Vallejo)

1.6 MARCO REFERENCIAL

Para el presente trabajo de “La peligrosidad geomorfológica, Geológica, Geodinámica y Geotécnico de la Quebrada Pomatales - Pachar”, se ha tomado como referencia trabajos preliminares:

“Estudio Geodinámico de los deslizamientos de tierras sector Pomatales - Huarocondo Anta Cusco” (2010). Mery L. Quispe., Vidal Canahui. Tesis UNSAAC-Cusco.

“Estudio Geológico para la construcción del sifón invertido de Pomatales”.

Debido a que utiliza Sistemas de Información Geográfica (ArcGIS) para analizar la situación y procesar datos de cartografía de procesos superficiales, inventario de deslizamientos, topografía, litología e hidrogeología, este estudio fue citado como referencia. Como resultado de este proceso, se generó un mapa de susceptibilidad a deslizamientos, que examina las zonas más vulnerables. Asimismo, analizan la interacción entre la precipitación y los suelos del sector estudiado mediante información proveniente de estaciones meteorológicas, lo que indica inestabilidad de masas que conduce a movimientos de tierra.

Se hizo referencia a estudios previos del Centro Bartolomé de las Casas, al plan de desarrollo concertado de la provincia de Anta hasta el 2015, y a los aportes del Consejo Comunal y Vecinal (CCV) junto con el Consejo de Coordinación Local de la Municipalidad Provincial de Anta.

Este estudio institucional, centrado en la geología y la geodinámica, evaluó la prevalencia de riesgos geológicos a nivel regional. El objetivo de nuestra investigación es mejorar estos datos y elaborar un mapa de riesgos exhaustivo de la región de estudio, utilizando datos actualizados y el software ArcGIS para generar mapas temáticos que faciliten una mejor organización del área de estudio “Movimientos en Masa en la Quebrada Canto Grande. Lima” (2009). Jenny Marina Vásquez Acuña. Tesis UNMSM-Lima.

Dichos estudios preliminares han servido como base para desarrollar el presente trabajo con los cálculos respectivos necesarios para mitigar e identificar “La peligrosidad geomorfológica, Geologica, Geodinamica y geotécnica de la quebrada Pomatales”.

Con el fin de plantear acciones correctivas y estrategias de mitigación frente a los riesgos geológicos que impactan el barranco de Pomatales, esto también implica inventariar los peligros geológicos que influyen y han afectado al barranco.

1.7 MARCO CONCEPTUAL

1.7.1 DEFINICIONES:

ESTUDIO GEOLOGICO

Incluye el análisis de la hidrología, la estratigrafía, la forma del relieve y la estructura geológica, vinculándolos con los procesos activos de la Tierra, como la caída de rocas y los deslizamientos de tierra.

GEODINAMICA

El estudio de los eventos geológicos que alteran la superficie terrestre como resultado de fuerzas tectónicas internas (geodinámica interna) y tensiones externas (geodinámica externa) es una rama de la geología física o geomorfología.

GEOTECNIA

Ciencia teórica-práctica que aplica los estudios sobre el comportamiento geotécnico de suelos y materiales rocosos para dar solución a los problemas de ingeniería en la construcción.

MOVIMIENTOS DE MASA

Este concepto abarca todos los desplazamientos de una masa de roca, detritos o suelo que se mueven cuesta abajo debido a la acción de la gravedad (Cruden, 1991).

Por su parte, Varnes (1996) establece una clasificación tomando como criterio principal la forma en que ocurre el movimiento y, en segundo nivel, el tipo de material involucrado. De esta manera, organiza los movimientos en masa en cinco categorías: caídas, vuelcos, deslizamientos, propagaciones y flujos. Asimismo, distingue los materiales afectados en dos grupos: rocas y suelos, siendo estos últimos divididos en tierra y detritos. Esta clasificación se obtiene definiendo diferentes tipos de movimientos y sus posibles combinaciones con los materiales presentes.

QUEBRADA

Depresión o valle angosto de corto recorrido, generalmente formado por la acción erosiva del agua que circula de forma permanente. Geotécnicamente son zonas de concentración de procesos erosivos e inestabilidad de laderas, donde pueden ocurrir deslizamientos, flujos de detritos y socavamiento debido a la combinación de factores como pendiente, tipo de material,

TALUD

Dado que el diseño de taludes se emplea en la mayoría de proyectos mineros y de construcción, es uno de los componentes más cruciales de la ingeniería geológica.

La estabilización de taludes y las condiciones necesarias (a plazos cortos, intermedios o prolongados, considerando la relación costo–seguridad y el nivel de riesgo permitido, entre otros.) son el foco de los estudios geológicos y geotécnicos de taludes.

El objetivo de los estudios de taludes *in situ* es identificar el terreno afectado por la geodinámica desde una perspectiva geológica y geotécnica. Esto se realiza para obtener los parámetros necesarios para analizar la estabilidad del terreno, diseñar taludes, excavar materiales, calcular medidas de estabilización y planificar obras de drenaje, entre otras cosas.

MITIGACION

Consiste en un conjunto de medidas destinadas a disminuir o evitar el fenómeno y los efectos negativos que las actividades humanas generan en el ambiente. La evaluación de impacto ambiental debe incorporar un plan de mitigación que integre dichas medidas.

MEDIO AMBIENTE

Se refiere al conjunto de factores externos, ya sean biológicos, químicos o físicos, que interactúan con los seres vivos. Comprende todos los elementos ecológicos, sociales y culturales presentes en un lugar y momento específicos, los cuales afectan la vida de las personas actuales y futuras. En otras palabras, incluye no solo el entorno donde se desarrolla la vida, sino también los seres vivos, el agua, el suelo, el aire y sus interacciones, así como aspectos intangibles como las culturas particulares.

RIESGO

El riesgo viene a ser: Riesgo = Peligro x Vulnerabilidad.

VULNERABILIDAD: Se refiere al grado en que un evento de una intensidad determinada puede causar daño o pérdida a un elemento o grupo de elementos. Suele evaluarse entre 0 y 1, según las características del elemento en cuestión (más que su valor económico) y la gravedad del fenómeno. Ante todo, cabe señalar que el desafío de determinar el nivel de estrés en las distintas ubicaciones del entorno natural que conforma una pendiente sigue estando en gran medida sin resolver.

PELIGRO: Es una probabilidad que se define por la posibilidad de que un suceso cause daño o perjuicio a personas u objetos.

Diferencia: Un peligro es un estado o característica inherente que puede provocar enfermedades o lesiones, daños materiales o interrupciones del proceso; el riesgo, por otro lado, es la suma de la probabilidad y el resultado de no controlar el peligro.

1.8 METODOLOGIA DE INVESTIGACION

1.8.1 Tipo de Documentación

Investigación hipotética, descriptiva y explicativa.

Al establecer relaciones de causa y efecto, se busca comprender las causas de los acontecimientos. De esta manera, los estudios explicativos pueden centrarse en el uso de pruebas de hipótesis Se utiliza para determinar causas (investigación ex post facto) o para analizar efectos (investigación experimental). El nivel más avanzado de comprensión se refleja en los hallazgos y las conclusiones obtenidas.

1.8.2 Etapa Preliminar de Gabinete

- Se realizó un plan de trabajo de cómo se va a realizar el estudio.
- Se recopilo y analizo los trabajos realizados de la zona de estudio, así como la bibliografía referente y mapas.

1.8.3 Etapa de Campo.

- Identificación de la litología, geomorfología, tipos de estructuras geológicas y manifestaciones climáticas y geológicas más comunes en el área estudiada.
- Cartografiado de campo para la identificación de los fenómenos geodinámicos.
- Toma de muestras de rocas y suelos para los ensayos correspondientes de determinación de sus propiedades físicas.
- Identificación de la litología, las estructuras, la geomorfología y los fenómenos climáticos y geológicos más frecuentes en la zona.

1.8.4 Etapa de Gabinete.

Para definir hallazgos específicos sobre el sitio de estudio, incluyendo geología superficial, geodinámica, geomorfología, estratigrafía, clasificación de suelos y estudios hidrogeológicos, con los cuales se elaborarán los mapas a escala 1:25000, se examinaron cuidadosamente los resultados de las etapas anteriores para garantizar la exactitud y la calidad de la información obtenida.

1.9 ASPECTOS GEOGRAFICOS

1.9.1 CLIMA

Las condiciones climáticas del área de estudio varían considerablemente a lo largo de las estaciones e incluso entre el día y la noche. Durante el día, la temperatura ambiente promedio es de 19 °C, y por la noche, desciende por debajo de cero.

Entre los 3100 y los 3500 metros sobre el nivel del mar, el fondo del valle presenta un clima seco y semifrío, con escasas precipitaciones invernales. Este clima no supone un gran obstáculo para la agricultura. Entre los 3250 y los 3500 metros sobre el nivel del mar, el clima es semifrío, subhúmedo y con escasas precipitaciones invernales. La frecuencia de las heladas dificulta las actividades agrícolas, aunque la silvicultura y la ganadería no se ven significativamente afectadas. El entorno, frío y húmedo con escasas precipitaciones invernales entre los 3500 y los 4600 metros sobre el nivel del mar, es desfavorable para la silvicultura y la agricultura, pero propicio para la ganadería debido a la presencia de pastos naturales. Por encima de los 4800 metros, en las zonas más elevadas de la cuenca donde se ubican las sierras de Huaymaorcco, Yanaorcco y Kapcca, el entorno resulta completamente inadecuado para cualquier actividad agrícola. Esto se debe a que el clima es subhúmedo y semicrígido.

Esta región presenta una estación seca de abril a agosto, durante la cual la cuenca hidrográfica experimenta escasez de agua, evidenciada por una disminución en el caudal de los manantiales. La región experimenta lluvias intensas de enero a marzo, que recargan inmediatamente todos los acuíferos.

1.9.2 VEGETACION

Entre las especies vegetales más representativas de la zona de estudio se incluyen el chachacomo, quiswar, molle, sauce, eucalipto, lloque, huaraguay, queuña, sauce llorón, Ñihua y diversas especies de pastos naturales. En la mayoría de los casos, estas plantas son aprovechadas por la población, por ejemplo, por sus hojas. Estas especies vegetales se utilizan para marcar los límites de las tierras de cultivo y actúan como barreras protectoras a lo largo de las riberas de los ríos durante las estaciones lluviosas, limitando la erosión lateral de los lechos de los ríos, así como la erosión del suelo y las laderas.

No obstante, la extracción de madera para leña y otros usos ha provocado que las plantas sean taladas de manera indiscriminada. Actualmente, en el piso de valle existen extensos terrenos de cultivo cuya producción principal son los productos de pan llevar como papa, maíz, habas zanahorias, etc. Estos terrenos se vienen reduciendo a raíz del crecimiento y expansión poblacional.

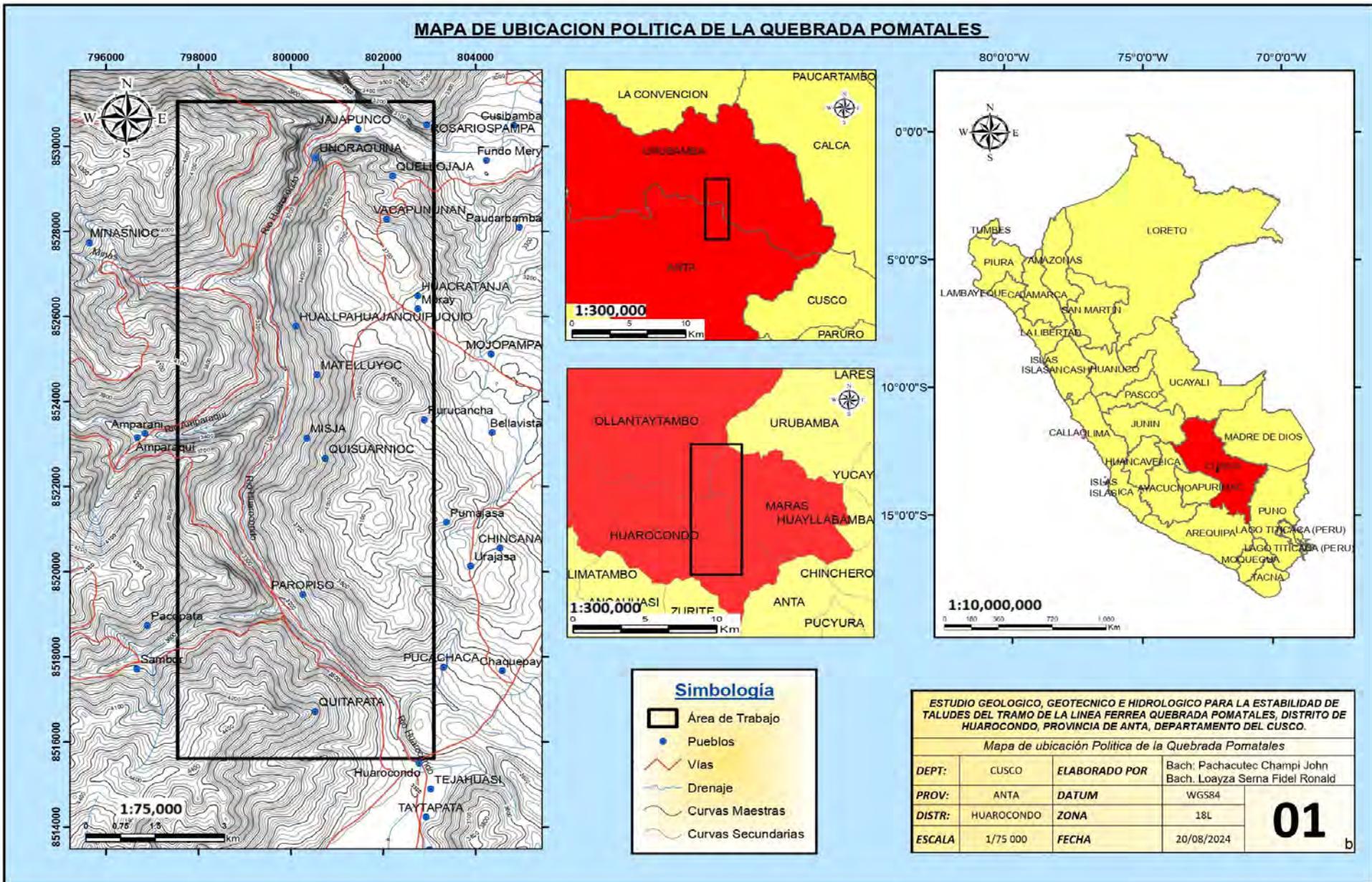
1.9.3 CARACTERIZACION ECOLOGICA

Para la caracterización ecológica de esta parte del valle se tomó en cuenta el Mapa Ecológico del Perú (ONER, 1976) cuyos resultados muestran la información climática,

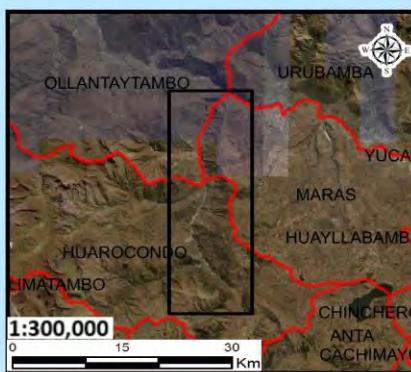
edafológica y de vegetación con su respectiva interrelación entre ellas, sobre la base de los cuales se delimitaron ecosistemas homogéneos (zonas de vida). El siguiente cuadro muestra y detalla las zonas de vida del área de estudio, delineadas y representando sus características más significativas.

Tabla 2. Descripción del Medio Ambiente de las Zonas de Vida

ZONAS DE VIDA	CARACTERISTICAS AMBIENTALES	POTENCIALIDAD	USO ACTUAL
Estepa espinosa Montano Bajo Subtropical, SIMBOLO: - ee- MBS:	Biotemperatura media anual de 15.5 °C con una presencia total anual de 500 mm. Se ubica sobre el fondo del valle de relieve plano, sobre suelos aluviales relativamente profundos, con una vegetación semiárida, con especies arbustivas xerofíticas.	No permite llevar una agricultura en secano, sin embargo, con riego adecuado permite cultivar una gran variedad de productos.	Presenta grandes áreas agrícolas en secano y con riego.
Bosque húmedo Montano Subtropical. SIMBOLO: bh-MS.	Biotemperatura media anual de 12.2°C y una precipitación total anual de 600mm. Se ubica sobre el fondo del valle y las laderas empinadas que los circundan, los suelos son de naturaleza arcillosa relativamente profundas. La vegetación se reduce a pequeños bosques relictos y matorrales dispersos.	Permite llevar una agricultura en secano y con riego. Presenta también aptitud para plantaciones	Presenta áreas dedicadas al cultivo en secano y con riego.
Bosque seco Montano Bajo Subtropical. SIMBOLO: bs -MBS.	Biotemperatura de 18.1°C y la precipitación total anual mes de 900 mm. El relieve varía de suave a plano y se ubica sobre las terrazas del valle. Suelos de textura media pesada de buen drenaje, la vegetación primaria ha sido fuertemente impactada y sustituida por cultivos.	Se puede desarrollar una agricultura de secano muy limitada, presenta grandes áreas de aptitud forestal.	Presenta áreas con cultivos en secano y con riego, muchas áreas están destinadas a la actividad forestal especialmente de Eucalipto.
Paramo muy húmedo Subandino Subtropical. SIMBOLO: pmh - SaS	Biotemperatura es de 5°C y una precipitaci0n total anual de 1000 mm. El relieve es suave a ligeramente ondulado y colinado. Los suelos son de naturaleza acida de textura media.		



MAPA SATELITAL DE LA QUEBRADA POMATALES



ESTUDIO GEOLÓGICO, GEOTECNICO E HIDROLOGICO PARA LA ESTABILIDAD DE TALUDES DEL TRAMO DE LA LINEA FERREA QUEBRADA POMATALES, DISTRITO DE HUAROCONDHO, PROVINCIA DE ANTA, DEPARTAMENTO DEL CUSCO.

Mapa Sateletal de la Quebrada Pomatales

DEPT:	CUSCO	ELABORADO POR:	Bach: Pachacuteq Champi John Bach. Loayza Serna Fidel Ronald
PROV:	ANTA	DATUM:	WGS84
DISTR:	HUAROCONDHO	ZONA:	18L
ESCALA	1/75 000	FECHA:	20/08/2024

02

CAPITULO II.

GEOMORFOLOGIA

El análisis de las formas del relieve terrestre, con énfasis en la caracterización y comprensión de su origen y comportamiento actual, se conoce como geomorfología, una subdisciplina de la geografía física y la geología.

2.1. GEOMORFOGENESIS

El desarrollo morfogenético del área de estudio presenta cierta complejidad, con un relieve que se ha formado desde épocas geológicas del Terciario hasta el Holoceno del Cuaternario. La geomorfogénesis ha sido moldeada por el levantamiento de los Andes durante el Terciario y por las glaciaciones cuaternarias, que crearon valles en forma de U, terrazas y una topografía de altas pendientes. La erosión fluvial intensificada en el Holoceno contribuyó a la configuración actual del relieve, caracterizado por su inestabilidad. Los materiales aluviales y la erosión hacen que la zona sea altamente susceptible a deslizamientos, lo que resalta la importancia de evaluar estos procesos para garantizar la estabilidad de los taludes.

2.1.1. MORFOGENESIS TERCIARIA

El acelerado levantamiento de la cordillera de los Andes, especialmente de la cordillera oriental, fue causada por la fase quechua en sus diversas etapas de la orogenia andina, que tuvo lugar durante el Mioceno-Plioceno. Casi todas las características morfológicas de la región andina fueron determinadas por este levantamiento, que la elevó desde alturas moderadas hasta sus elevaciones actuales (Carlotto, V., 1995)..

El repentino levantamiento generó un aumento general de las pendientes regionales, lo que a su vez provocó que los cursos de agua dividieran drásticamente el relieve, definiendo sus direcciones principales en este punto.

2.1.2. MORFOGENESIS CUATERNARIA

La configuración de los intrincados rasgos morfológicos se vio significativamente afectada por las importantes oscilaciones climáticas que tuvieron lugar a principios del Cuaternario (Pleistoceno).

Esto se debe a que los picos más altos de los Andes Orientales quedaron sepultados por capas de hielo durante las glaciaciones anteriores, lo que provocó que las zonas templadas y periglaciares descendieran a altitudes mucho menores que las actuales. Durante este período, se formó gran parte de los depósitos aluviales y torrenciales que se encuentran en los valles interandinos.

El incremento de las temperaturas y la evolución de una cubierta forestal distintiva en la zona son características del Holoceno-Cuaternario. El incremento de la cubierta forestal redujo la erosión y la fragmentación del paisaje, pero el calentamiento post glacial aumentó progresivamente el caudal de los ríos, acelerando su destrucción.

2.2. UNIDADES MORFOLOGICAS REGIONALES

2.2.1. CORDILLERA ORIENTAL

Constituye el elemento estructural principal y más relevante. La cordillera oriental es diferente; a mayor altitud, se encuentran glaciares con cuencas en forma de U, terrazas escalonadas, circos glaciares y morrenas donde afloran rocas del Paleozoico inferior y medio. Rocas intrusivas del Pérmico inferior conectan estos afloramientos. La falla Patacancha-Tamburco (FPT), que se extiende de noreste a suroeste, controla estructuralmente el aparente desplazamiento general de la cordillera hacia el suroeste a la altura de Ollantaytambo. La cordillera se extiende de noroeste a sureste. Este desplazamiento aparente provoca que la cordillera oriental entre en contacto con el Altiplano a través del sistema de fallas FPT. Asimismo, se puede indicar que dicho sistema de fallas delimita, al oeste, el núcleo de la deflexión de Abancay (E-O) de las estructuras con orientación NO-SE (Victor Carlotto, Daniel Tintaya, José Cárdenas).

2.2.2. MONTAÑAS DEL PACHATUSAN

Está representado por un gran alineamiento de montañas que se desarrolla al noreste de la ciudad del Cusco, se encuentra el flanco sur del anticlinal del Vilcanota, presenta a su vez altitudes comprendidas entre 4600 – 4800 ms.n.m. Litológicamente están constituidas por rocas volcánicas y sedimentarias del Grupo Mitu y el Grupo Yuncaypata, todas estas secuencias se hallan fuertemente fracturadas.

Las principales montañas son: el Sencca (4423 m.s.n.m.). Hatunlacho (4482m.s.n.m.).

2.2.3. ALTIPLANICIES

Esta unidad morfoestructural se sitúa entre los 4200 y 4300 m.s.n.m., presentando relieves relativamente planos. En la margen izquierda del valle del río Vilcanota, que se extiende desde el sector noreste de Cusco hasta Pachar, estas morfoestructuras muestran un mayor desarrollo hacia el sur del área de estudio, especialmente en los sectores de Pampa de Maras-Piuray. en el flanco izquierdo del valle del río Vilcanota extendiéndose desde la parte noreste de la ciudad del Cusco hasta Pachar.

2.2.4. VALLE DEL RIO VILCANOTA

Esta unidad morfoestructural corresponde a una región entre 3600 y 3750 m s. n. m. con relieves relativamente subhorizontales. La superficie está conformada por los rellenos caóticos de lutitas y evaporitas del Grupo San Jerónimo. Hacia el sur se hallan lomadas intermedias como: el cerro Yanaorcco (4101m.s.n.m.), cerro de Huanacaure (3850 m.s.n.m.) y el cerro Llutupuquio (4000 m.s.n.m.) de composición volcánica shoshonitica.

2.2.5. DEPRESIÓN DE ANTA

En este terreno subhorizontal, que tiene una orientación ONO-ESE y está situado entre 3300 y 3400 metros sobre el nivel del mar, predominan los depósitos fluvio-lacustres del Pleistoceno Medio al Holoceno. (Cabrera 1988). En su parte superficial, la unidad se ve interrumpida por lomadas intermedias, como las de Catañiray, San Juan y Tambocancha, y está formada por afloramientos de lutitas y yesos pertenecientes al Grupo Yuncaypata.

El río Huarocondo, afluente de la cuenca del río Urubamba, se origina por la confluencia del río Cachimayo, que discurre de sureste a norte, y del río Putumayo, que fluye de noroeste a sureste.

2.2.6. ZONA SUBANDINA

La precordillera, una vasta extensión de terreno característica de la selva alta, presenta una vegetación más densa que la de la sierra. Conforma el piedemonte, la zona entre las llanuras y la sierra. Esta pequeña franja de montañas y colinas de elevación moderada está topográficamente modelada por los ríos, donde se acumulan depósitos aluviales, abanicos aluviales y terrazas.

2.2.7. MESETA DE COLQUEPATA.

Con elevaciones entre 400 y 4300 metros sobre el nivel del mar, se trata de una estructura morfológica con un relieve relativamente suave. Sus cumbres presentan colinas formadas por la erosión glacial.

Esta erosión ha sido suficiente para crear barrancos como Quesqamayo y Quencomayo, entre otros.

2.3. UNIDADES MORFOLOGICAS LOCALES

2.3.1. VALLE DE HUAROCONDO PACHAR

Esta configuración del relieve, que se extiende desde la zona elevada de Huarocondo hasta el río Vilcanota cerca de Pachar, constituye la morfología estructural más destacada del área de estudio.

Por la influencia del tipo de rocas que forman la secuencia evaporítica de la Formación Maras compuesta por yeso, arcillas con cal y capas calcáreas muy deformadas y fracturadas esta quebrada muestra un cauce estrecho y profundo en forma de V, con laderas muy inclinadas y surcos erosivos. Esto se relaciona con la creación de geodinámica externa, como deslizamientos escalonados y reptación del suelo. También se observan terrazas tectónicas y tramos escarpados. Al igual que la erosión lateral de la carretera Huarcondo-Pachar y la plataforma del ferrocarril Cusco-Machu Picchu, que constituye un foco importante de este estudio geodinámico, la erosión hacia abajo es fuerte, porque el valle es joven y el río sigue profundizando su cauce.

2.3.2. LADERAS

Esta zona actúa como un espacio intermedio entre las partes altas (montañas) y las áreas más bajas (valles o depresiones), se sitúa en las laderas del valle de Pomatales. Se extiende en forma de abanico, siendo la zona media y algunas áreas inferiores más anchas y menos escarpadas, dejando al descubierto una pendiente causada por la fractura de las rocas de la Formación Maras.

2.3.3. QUEBRADAS

Las laderas de este valle geomorfológico están cubiertas por una secuencia de erosiones caóticas causadas por depósitos coluviales y glaciares.

Como resultado, el valle de Pomatales funciona como el valle principal y forma un patrón de drenaje dendrítico, ramificándose en barrancos más pequeños como Paropishu, Pomatales, Chacapunco y Rapchi.

2.3.4. TERRAZAS

Se diferencian tres sistemas de terrazas de origen tectónicos, geodinámicos, aluvial y fluvial.

A. Terraza 1 (T1):

Se extiende a lo largo del río Huarocondo Pachar en las inmediaciones del cauce del río se encuentran en forma muy restringida y discontinua debido a que el valle tiene una intensa velocidad de erosión vertical y presentando un valle en forma de “v”, generalmente estas terrazas constituyen el pie de los deslizamientos en combinación con depósitos aluviales y fluviales, tiene una forma lenticular alargada paralelamente al cauce de la quebrada, con una pendiente de 57%, presentando un ancho promedio de 40.0 metros de diámetro y una longitud de 2 kilómetros.

Litológicamente están constituidos como una intercalación de depósitos aluviales, fluviales y coluviales, en forma de gravas arenosas, limosas correspondiente a antiguos paleocanales, material limoso aluvial con gravas y clastos redondeados, bloques de hasta 0.40 metros de diámetro, dichos bloques corresponden a calizas y areniscas.

B. Terraza 2 (T2):

Esta terraza principalmente es de origen geodinámica, relacionado a escarpas de deslizamiento escalonado en bloques generados por la tectónica activa de esta zona principalmente a las fallas regionales de dirección norte sur y noreste, su forma es restringido ligeramente rectangular discontinua distribuidos en las inmediaciones de la ladera del valle de Huarocondo – Pachar de una tectónica altamente activa. Litoestratigráficamente está relacionado a un control litológico de contacto entre los afloramientos evaporíticos.

C. Terraza 3 (T3):

Este conjunto de terrazas se ubica en la parte alta del área de estudio, es decir, en la ladera de montaña principalmente de origen tectónico, en las inmediaciones a las zonas falladas, la litología de los suelos está constituida por la secuencia evaporítica brechada; correspondientes a la formación Maras.

2.3.5. ESCARPAS Y ASENTAMIENTOS

Se identificaron 03 sistemas de escarpamiento distribuidos de la forma siguiente:

A. Escarpa 1 (E1):

“Este conjunto de desniveles del terreno, ubicado sobre todo en la ladera del valle de Huarocondo-Pachar, se sitúa entre las terrazas T1 y T2 y suele relacionarse con deslizamientos curvos, en escalones y en bloques. Presenta inclinaciones muy pronunciadas

y una estabilidad moderada, debido a la presencia de varios depósitos de material suelto procedente de rocas con sales.

B. Escarpa 2 (E2):

Se extiende en las inmediaciones de la falla de Kapcca y Pomatales, alcanzando pendientes sub verticales presentando suelos correspondientes a la secuencia evaporítica de la formación Maras presentando taludes de regular estabilidad.

C. Escarpa 3 (E3):

Este sistema de escarpas se encuentra hacia la parte superior es decir en la parte alta de las laderas de montaña de Kapcca y Pomatales, alcanzando pendientes sub verticales, presenta suelos correspondientes a la secuencia evaporítica de la formación Maras.

Respecto a los Asentamientos en en áreas geológicamente activas (Linea Ferrea de la Quebrada Pomatales) son un fenómeno complejo influenciado por varios factores geodinámicos que afectan la estabilidad del terreno. Entre estos, destacan

- A) **Fallas Geológicas:** Son fracturas en la corteza terrestre que generan debilidad estructural, favoreciendo movimientos de masa y deslizamientos, especialmente en áreas de altas pendientes.
- B) **Litología:** La composición de las rocas afecta la absorción de agua y la cohesión del suelo. Rocas porosas o inconsolidadas aumentan la vulnerabilidad a deslizamientos, especialmente cuando se saturan con agua.
- C) **Precipitación Pluvial:** Las lluvias intensas aumentan el peso del suelo y reducen su cohesión, lo que puede desencadenar deslizamientos y otros fenómenos geodinámicos.

2.3.6. FONDO DE VALLE

Como los glaciares del periodo Cuaternario no modelaron directamente estos valles, situados en la parte media y baja de los Andes a menos de 3600 m s. n. m., las laderas mantienen su típico perfil fluvial en forma de ‘V’. En el fondo del valle se desarrollan terrazas y abanicos formados por los depósitos arrastrados por los ríos y quebradas laterales.

“Las partes bajas de los valles generalmente están compuestas por materiales depositados por el agua, conocidos como depósitos aluviales semiconfinados y poco sedimentados en terrazas. Debido al aporte de rocas compactas provenientes de la ladera de la montaña, el

valle de Huarocondo contiene una cantidad significativa de minerales de grano fino a grueso.

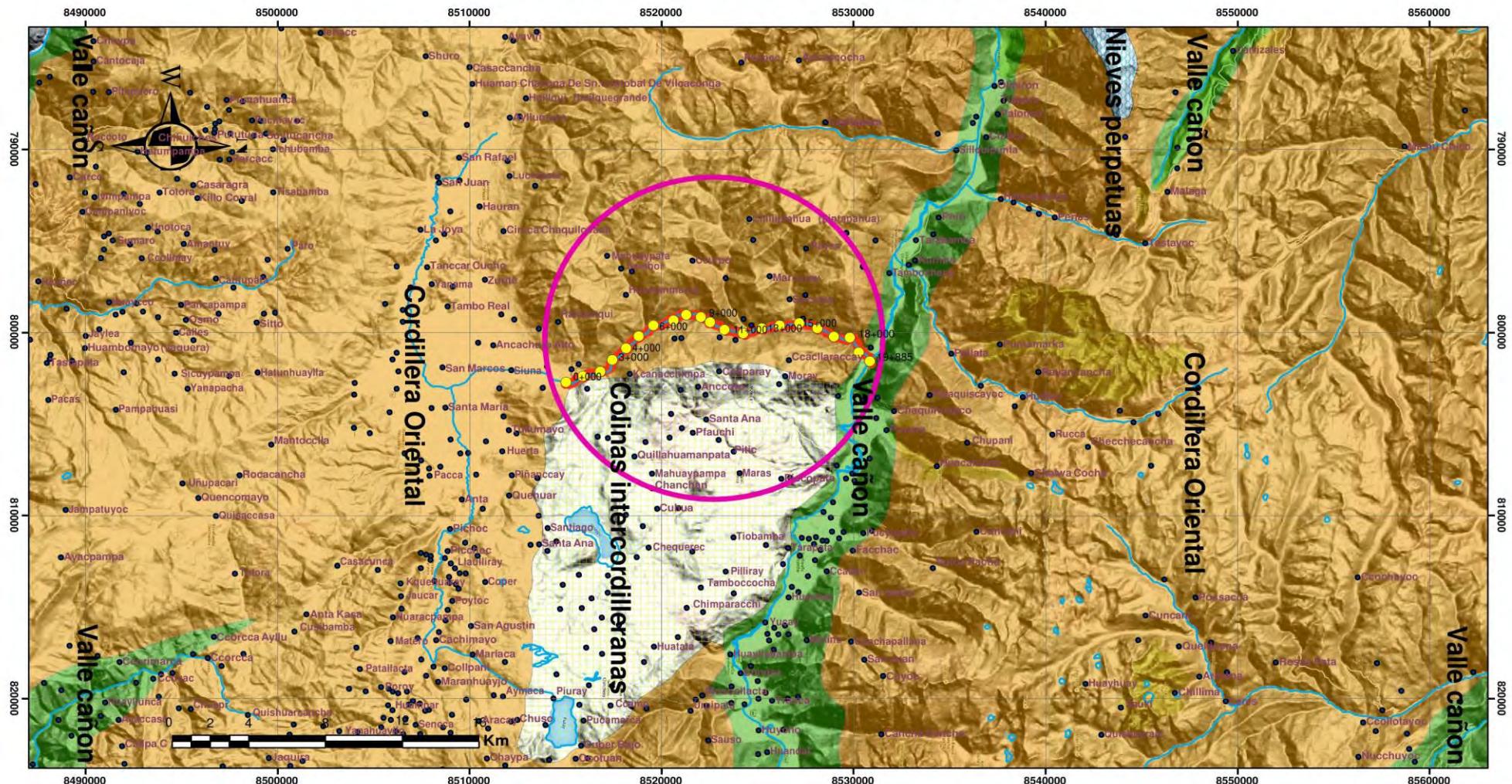
Con la excepción de los deslizamientos de lodo que ocurren en los barrancos que atraviesan estos valles y la erosión fluvial severa localizada que debilita los depósitos del fondo de los valles, estos son estables y han sufrido muy poca erosión significativa en la mayor parte de su extensión.

2.4. RELACION DE LA GEOMORFOLOGIA CON LA DINAMICA DEL AREA DE ESTUDIO

En la zona de estudio, los deslizamientos de tierra son la principal causa de la formación de fracturas. La masa del deslizamiento está compuesta por material heterogéneo y no consolidado (componentes coluviales, fluviales y eluviales)

La geoforma que presenta la Quebrada de Pomatales son totalmente irregulares con un espesor de cobertura mayores a 2m, pendientes abruptas con materiales no consolidados por alta permeabilidad y porosidad muy susceptibles a la saturación y disolución de sus elementos evaporíticos, carbonatos y sulfatos; por lo tanto, la geodinámica es más activa en este tipo de geoformas con la presencia de los factores mencionados.

PLANO GEOMORFOLOGICO REGIONAL



LEYENDA

Geomorfología

NOMBRE

Colinas intercordilleras

Cordillera Oriental

Nieves perpetuas

Valle cañón

SIMBOLOGIA

- Pueblos
- Progresivas
- Rio
- Tramo de Carretera

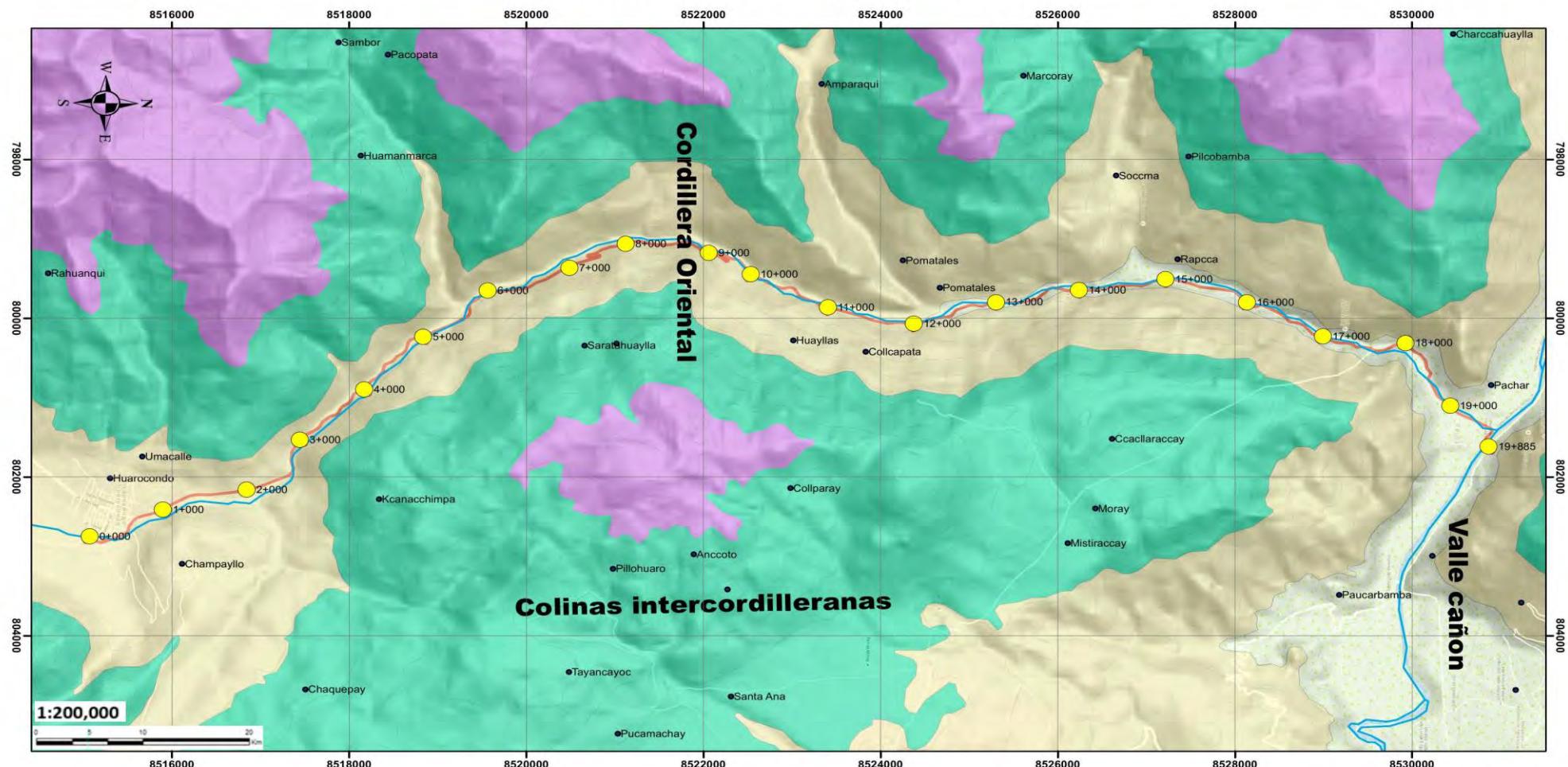
ESTUDIO GEOLOGICO, GEOTECNICO E HIDROLOGICO PARA LA ESTABILIDAD DE
TALUDES DEL TRAMO DE LA LINEA FERREA QUEBRADA POMATALES, DISTRITO DE
HUAROCONDO, PROVINCIA DE ANTA, DEPARTAMENTO DEL CUSCO.

Plano Geomorfológico Regional

DEPT:	CUSCO	ELABORADO POR:	Bach: Pachacutec Champi John Bach: Loayza Serna Fidel Ronald
PROV:	ANTA	DATUM:	WGS84
DISTR:	HUAROCONDO	ZONA:	18L
ESCALA	1/200000	FECHA:	20/08/2024

03 a

PLANO GEOMORFOLOGICO LOCAL



LEYENDA

- Montañas Bajas
- Montañas Altas
- Ladera de Valle
- Valle
- Ladera de Montaña

SIMBOLOGÍA

- Progresivas
- Rio
- Tramo de Carretera
- Pueblos

ESTUDIO GEOLOGICO, GEOTECNICO E HIDROLOGICO PARA LA ESTABILIDAD DE TALUDES DEL TRAMO DE LA LINEA FERREA QUEBRADA POMATALES, DISTRITO DE HUAROCONDO, PROVINCIA DE ANTA, DEPARTAMENTO DEL CUSCO.

Plano Geomorfológico Local			
DEPT:	CUSCO	ELABORADO POR:	Bach: Pachacuteq Champi John Bach. Loayza Serna Fidel Ronald
PROV:	ANTA	DATUM:	WGS84
DISTR:	HUAROCONDO	ZONA:	18L
ESCALA	1/200000	FECHA:	20/08/2024

03 b

CAPITULO III.

LITOLOGIA

La litología es la parte de la geología que analiza las propiedades y rasgos de las rocas que forman una unidad geológica específica en la superficie terrestre. También se encarga de describir las características de una muestra de roca en particular.

3.1. GEOLOGIA REGIONAL

Se han identificado unidades geológicas a nivel regional que abarcan desde el Ordovícico Medio hasta el Cuaternario Tardío. A lo largo del margen occidental de los Andes, se desarrolló una importante actividad volcánica acompañada de sedimentación, que coincide aproximadamente con la intrusión de rocas pérmicas. Todo esto fue moldeado por la intensa acción erosiva de los glaciares del Pleistoceno.

3.1.1. FORMACION OLLANTAYTAMBO (C-o)

A nivel regional, esta formación es la unidad más antigua del área estudiada. “Se ubica dentro de la serie ordovícica del Paleozoico Inferior. En cuanto a su composición, presenta entre 50 y 100 metros de brechas y conglomerados, junto con areniscas cuarcíticas, y entre 150 y 200 metros de andesitas oscuras (ignimbritas), las cuales afloran en las proximidades de la base de las ruinas de Ollantaytambo. Se trata de un ejemplo de disyunción plegada. Lutitas verdes, con un espesor aproximado de 700 a 800 metros, se intercalan con cuarcita y estratos de ceniza volcánica verde sobre estas. La esquistosidad hercínica, en la que los estratos volcánicos de ceniza se presentan como esquistos, afecta a todas estas rocas. El espesor del afloramiento es de aproximadamente mil metros. (Carlotto, V., 1995)

3.1.2. FORMACION SANDIA (Os-s)

El origen de esta estructura es marino. Está compuesta por secuencias de pizarras cuarzosas finamente laminadas y delgadas capas de lutita entre gruesos estratos de areniscas y cuarcitas de color gris a blanco. Las pizarras presentan nódulos calcáreos en la parte superior. Debido a la intercalación de sus estratos, constituye una unidad morfológica prominente que destaca en el paisaje. Se cree que este depósito se originó durante el período Ordovícico Superior de la Era Paleozoica. (Carlotto, V., 1995).

3.1.3. FORMACION HUANCANE (Ki-hn)

La Formación Huancané (Newell, 1949) se apoya sobre la Formación Huambutio mediante una discordancia erosiva o una ligera discordancia angular. En el área de estudio, esta unidad ha sido subdividida en dos miembros, según lo propuesto por Candia y Carlotto (1985). El miembro inferior está constituido por conglomerados, areniscas con matriz conglomerática y areniscas cuarzosas blanquecinas. En la base de los estratos se observan

estructuras canalizadas y una disminución progresiva del tamaño de grano, rasgos que indican depósitos de ambiente fluvial. El miembro superior, en cambio, se caracteriza por la presencia de un horizonte calcáreo o por capas delgadas de lutitas rojizas o negruzcas. La segunda unidad está integrada por amplias barreras de erosión con laminaciones cruzadas que se prolongan por varios kilómetros. Se interpreta que corresponde a la coalescencia y superposición de diversos sistemas fluviales entrelazados provenientes del noreste, vinculados al escudo brasileño (Carlotto, 1995). Para analizar las sucesiones de facies verticales de la Formación Huancané, se aplica un modelo que relaciona las fluctuaciones del nivel relativo del mar con los patrones de sedimentación fluvial.

3.1.4. GRUPO YUNCAYPATA

A. FORMACION PAUCARBAMBA (K1 – PB)

La formación Huancané está cubierta de forma concordante por esta formación, lo que sugiere un cambio sustancial en el ambiente de sedimentación, desde sedimentación fluvial a sedimentación marina arenosa-pelítica somera y finalmente a sedimentación carbonatada. (Chavez – 1995)

B. FORMACION MARAS (K1-MA)

Cubre la Formación Paucarbamba de forma concordante, pero debido a que el yeso le ha permitido funcionar como un nivel de despegue, esta unidad nunca se ha estudiado a fondo. Estas secuencias se encuentran al norte de la región de Limatambo-Zurite, en la región de Cachijata y en la llanura de Maras-Piuray. Debido a la deformación diapirítica, los afloramientos en estos sectores se presentan de forma caótica, es decir, como una mezcla de yeso, lutitas y calizas dispersas (Carlotto, V., 1995).

C. FORMACION AYAVACAS (K1- AY)

La Formación Ayavacas, también denominada Calizas Yuncaypata (Kalafatovich, 1957), aflora de forma irregular y dispersa. No se presenta como una secuencia completa dentro del Grupo Yuncaypata; en ciertos sectores está ausente, mientras que en otros aparece en gran cantidad. A pesar de la fuerte dolomitización de estas secuencias carbonatadas, se han encontrado facies de marga gris oscura, facies de lutita bioturbada, facies de wackstone-packstone aproximadamente bioclásticas y, con menor frecuencia, facies de grainstone.

3.1.5 GRUPO SAN JERONIMO (Peo – sj)

A. FORMACION KAYRA

Está constituida principalmente por areniscas feldespáticas intercaladas con niveles de lutitas rojas (Córdova 1986). La porción mediasuperior de esta unidad presenta un mayor espesor y está formada por areniscas y microconglomerados con fragmentos volcánicos, los cuales representan depósitos fluviales asociados a sistemas de cauces entrelazados. Se formó en una llanura aluvial y un entorno fluvial trenzado.

B. FORMACION SONCO

Se dispone en concordancia sobre la Formación Kayra. Su tramo inferior está constituido por lutitas rojizas propias de una planicie de inundación, intercaladas con estratos de areniscas de grano fino. En la sección superior predominan areniscas con clastos blandos y conglomerados con fragmentos volcánicos, característicos de un sistema fluvial de cauces intensamente entrelazados (Córdova, 1986)

3.2. GEOLOGIA LOCAL

La geología local facilita la determinación del tipo de formaciones rocosas presentes y sus propiedades físicas.

Referido a la litología en el área de investigación se identifican las siguientes formaciones:

3.2.2. FORMACION MARAS (Ki-ma)

Aunque en esta región se presentan como coluvión evaporítico, las exposiciones superficiales de roca de la Formación Maras son comunes en toda el área de estudio de Huarocondo, principalmente en las laderas y cimas de los cerros Capac-Pomatales, prolongándose hacia las laderas del valle. Litológicamente, están compuestos por una amplia variedad de evaporitas, yeso, arcillas y anhidrita, que actúan como capas de despegue para la fracturación y el fallamiento gravitacional, normal e inverso. El valle de Huarocondo-Pachar presenta grandes afloramientos en ambos lados. Debido a la deformación diapirítica y la remobilización provocadas por la actividad tectónica, el afloramiento en esta sección se evidencia de forma caótica como una mezcla de yeso, lutita y muy poca caliza. El yeso, las lutitas rojas y, con menor frecuencia, las lutitas verdes y algunas calizas delgadas (de 3 a 5 metros de espesor) constituyen la mayor parte de esta formación. El yeso y las calizas de sabka presentan máximos de transgresión, mientras que las lutitas provienen de ambientes de sedimentación lacustre somero o de entornos marinos de baja profundidad. Su edad corresponde al Cretácico Medio (Albino). El basamento del área estudiada es la unidad litológica, que geotécnicamente

se correlaciona con un suelo evaporítico altamente fracturado, con cavidades y cavernas de hasta 0,30 m de diámetro y bloques de fractura que varían de 0,29 m a 2,50 m de diámetro.

Los sedimentos arcillosos calcáreos rojos constituyen la mayor parte de la unidad litológica de las lutitas calcáreas rojas, que se intercalan de forma heterogénea entre capas de yeso. Geotécnicamente, este litotipo suele aflorar en las partes altas de las colinas y en las pendientes de las montañas. La unidad litológica calcárea sulfatada se aflora intercalado con las capas de yeso, totalmente intemperizado y removilizado por la tectónica y la geodinámica externa.

Como la Formación Maras es evaporítico hay presencia de una unidad calcárea en forma de calizas gris, fracturadas, con venillas de calcita.



Foto 1. Exposición de yesos de la Formación Maras en la ribera derecha del río Huarocondo.

3.2.1. FORMACION KAYRA (Peo – K)

Los afloramientos rocosos de las laderas superiores de la cuenca del río Pomatales y de las montañas conforman esta formación. Litológicamente, se compone de una gruesa capa de arenisca feldespática de grano grueso, medio y fino. Estas capas presentan una variedad de tonalidades, incluyendo marrones, rojos, verdes y grises de oscuro a claro. Capas de lutitas rojas se intercalan con las areniscas. Esta estructura se formó en un hábitat de llanura aluvial y río trenzado. La porción media y superior, de mayor espesor, está formada por areniscas y microconglomerados con clastos cuarcíticos y volcánicos procedentes de un depósito fluvial de fuerte trenzado. La formación culmina en facies de canal meandriforme y llanuras aluviales. Las paleocorrientes indican que los sedimentos que se desplazaban hacia el sur y el suroeste tenían prioridad.

3.2.3. DEPOSITOS CUATERNARIOS RECIENTES

Finalmente, las unidades litoestratigráficas descritas se encuentran recubiertas por sedimentos cuaternarios, conformados por depósitos de origen fluvial, aluvial, coluvial y palustre. Los numerosos sistemas de terrazas fluviales y tectónicas presentes en los barrancos están cubiertos por depósitos de terrazas recientes, que se presentan como materiales arcillosos, arenosos y gravosos con diferentes propiedades.

A. DEPOSITO GLACIAL

Se trata de acumulaciones heterométricas de gravas angulares, bloques, guijarros y arenas, depositadas por el avance de las glaciaciones del Cuaternario. Se encuentran inmersos en una matriz dominante de limo y arcilla, carente de estratificación visible.

Grandes masas de glaciares provenientes del este y sureste, desde las cumbres de la margen izquierda del valle del río Huarocondo, arrastraron espesos volúmenes de sedimentos. Al derretirse los glaciares con el aumento de temperatura que marcó el fin de la glaciación, las acumulaciones permanecieron en forma de morrenas laterales, terminales y de fondo, cubriendo amplias zonas de la ladera de la montaña. Este tipo de glaciación se conoce como pie de monte.

B. DEPOSITOS COLUVIALES

Se trata de depósitos clásticos no consolidados de edad Cuaternaria, cuya formación es el resultado de procesos de remoción en masa (o inestabilidad de laderas), incluyendo flujos, deslizamientos, y caída de rocas. Estos materiales poseen una distribución y estructura a menudo caótica o masiva, y pueden ser producto tanto de procesos graduales como de eventos catastróficos. El material heterogéneo, que cubre las laderas de los valles y las depresiones de las colinas, está compuesto por fragmentos, rocas, arena, limo y arcilla sin estratificación alguna. Los depósitos coluviales se ubican típicamente en el pie de ladera (o pie de monte), se formaron principalmente durante los períodos húmedos del Cuaternario, asociados a la actividad glaciar.

C. DEPOSITOS FLUVIALES Y ALUVIALES:

La sedimentación reciente generada por la dinámica fluvial en la región ha dado lugar a la formación de depósitos aluviales. Estos consisten en cuerpos estratificados de disposición subhorizontal, compuestos por una mezcla de clastos redondeados (gravas y arenas), junto con las fracciones más finas de limo y arcilla. Los componentes redondeados de los depósitos aluviales presentan menor redondez, lo que indica que han recorrido una menor distancia en

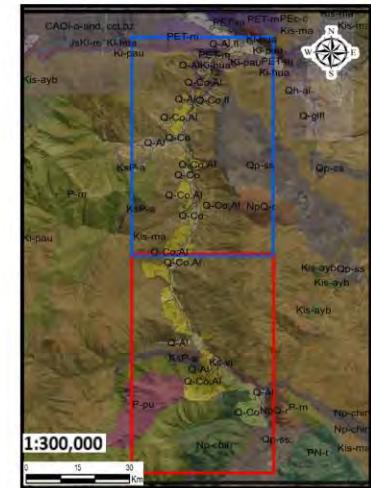
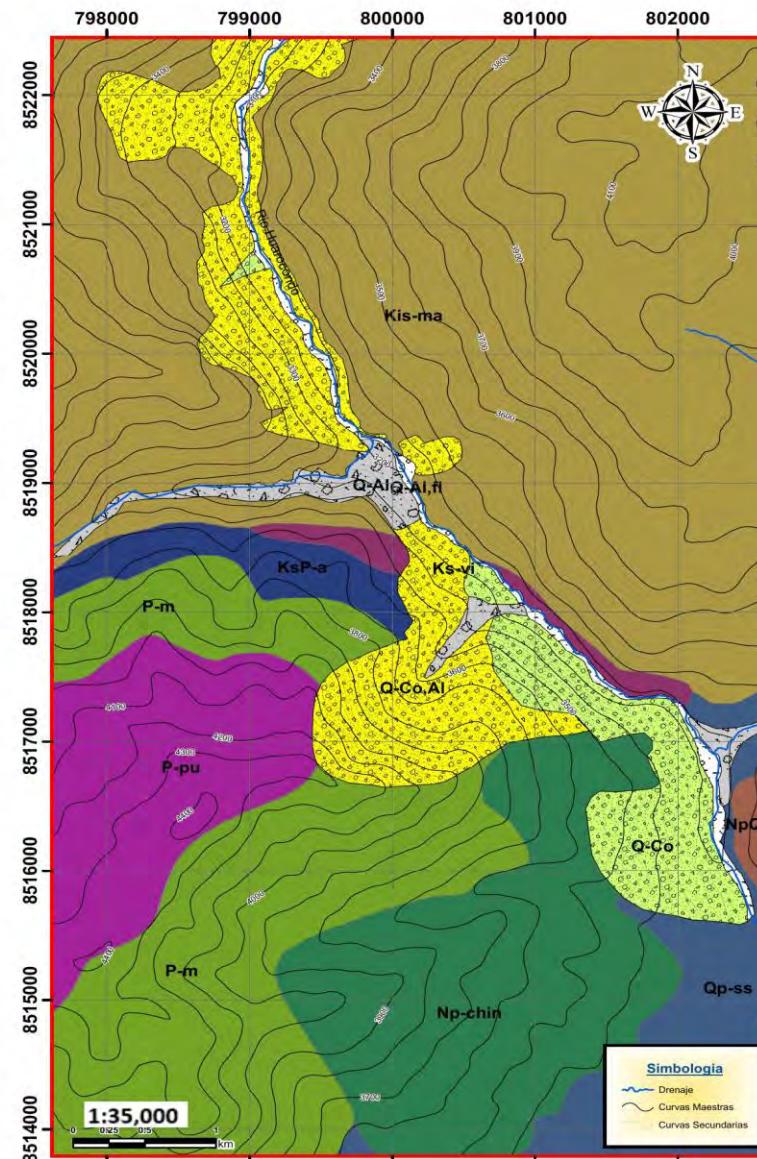
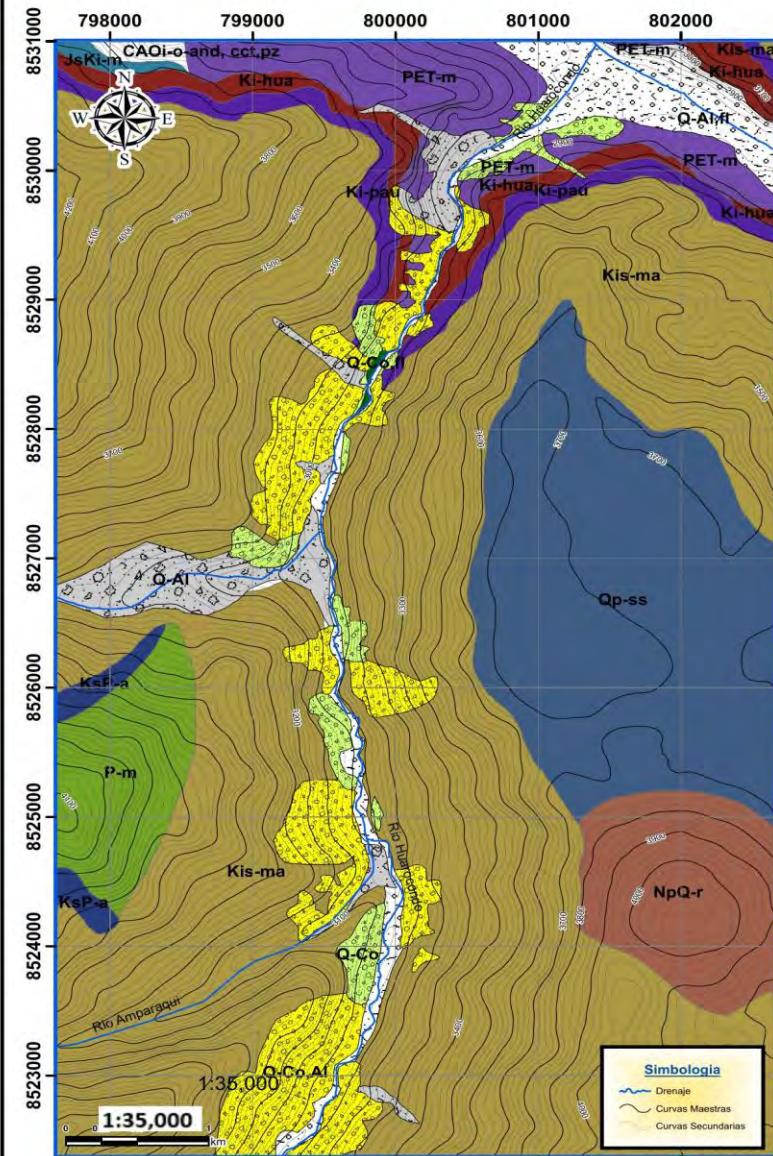
los cursos de agua. Estos depósitos aluviales revisten la llanura de inundación y el cauce actual del río Huarocondo, ocupando la parte más baja del relieve del valle, dentro del área de estudio. En pendientes más suaves, se acumulan materiales fluviales. Andesitas, calizas y areniscas con clastos redondeados a subredondeados, embebidos en una matriz de arena limosa de baja plasticidad proveniente de Maras, conforman el carácter litológico de los depósitos. Se trata de depósitos coluviales de yeso y bloques de caliza, guijarros y cantos rodados angulares en una matriz arcillosa-limosa rojiza de aspecto caótico, con alta plasticidad debido a la significativa sulfatación y carbonatación. El deslizamiento del suelo ocurre pendiente abajo debido a la considerable inestabilidad causada por la hidratación de líquidos meteóricos. La falla de Pomatales y otros sistemas son paralelos a los depósitos coluviales que se extienden desde grietas de tensión.

ERA	SISTEMA	SERIE		UNIDADES ESTRATIGRAFICAS	COLUMNA	DESCRIPCION	
CENOZOICO	CUATERNARIO	HOLOCENO		Deposito Aluvial, Fluvial, y Coluvial		Depositos de gravas, bloques y quijas empacado por fracciones de finos limosos, arenosos, arcillosos, etc	
				Volcanico Rumi colca		Derrames volcanicos de andesitas, riolitas, etc	
	TERCIARIO	PALEOGENO	OLIGOCENO	Grupo San Jeronimo	Formacion Soncco	Lutitas rojas de llanura de inundacion intercaladas con niveles de arenicas, conglomerados con clastos volcanicos.	
			EOCENO			Arenicas feldespaticas intercaladas con niveles de lutitas rojas y microconglomerados con clastos volcanicos y cuarciticos.	
			PALEOCENO	Formacion Kayra			
	CRETACEO	SUPERIOR	SENONIANO	Grupo Yuncaypata	Formacion Ayabacas	Margas gris oscuro, facies mudstones bioturbados, facies wackstone-packstone, bioclasticas y menos frecuente facie grainstone.	
					Formacion Maras	Yesos intercalados con lutitas y mas escasamente lutitas verdes y calizas.	
		MEDIO	CENOMANIANO		Formacion Paucarbamba	Arenicas, limolitas y lutitas verdes estratificadas con canales de areniscas gruesas a medianas.	
		INFERIOR	NEOCOMIANO	Formacion Huancane		Conglomerados, arenicas gruesas a medianas, con clastos cuarciticos y lutitas rojizas.	
PALEOZOICO	TRIASICO	INFERIOR			Grupo Mitu	Derrames volcanicos de andesiticos, rioliticos, traquiticos de color rojo violeta, conglomerados.	
	PERMICO	SUPERIOR					
	ORDOVICO	SUPERIOR		Formacion Sandia		Arenicas y cuarcitas grises intercalados con pizarras, filitas.	
		MEDIO					
	CAMBRICO	SUPERIOR		Formacion Ollantaytambo		Brechas, conglomerados, ignimbritas.	

Imagen 1. Columna Estratigráfica de la Región Cusco. (Fuente: INGEMMET)

En la zona de estudio predominan los depósitos cuaternarios recientes, así como la Formación Maras y la Formación Kayra.

MAPA GEOLOGICO DE LA QUEBRADA POMATALES



LEYENDA

Unidad Estratigráfica

- 3 Q-Al, Depósito Aluvial
 - 3 Q-Al,fl ; Depósitos Aluvio Fluvial
 - 3 Q-Co, Depósito Coluvial
 - 3 Q-Co,Al ; Depósito Coluvio Aluvia
 - 3 Q-Co,fl; Depósito Coluvio fluvial
 - 3 Q-sp, Formación San Sebastián
 - NQ-p,r, Formación Rumiñocola
 - NQ-chin, Formación Chincheros
 - P-pu, Grupo Puno
 - P-m, Formación Muñani
 - Ks-p,a, Formación Auzangate
 - Ks-vi, Formación Vilquechico
 - Kis/ay, Formación Ayabacas
 - Kis-ma, Formación Maras
 - Ki-pau, Formación Paucarbamba
 - Ki-hus, Formación Huancané
 - JsKi-m, Formación Muni
 - PET-m, Grupo Mitu

**ESTUDIO GEOLOGICO, GEOTECNICO E HIDROLOGICO PARA LA ESTABILIDAD DE
TALUDES DEL TRAMO DE LA LINEA FERREA QUEBRADA POMATALES, DISTRITO DE
HUAROCONDO, PROVINCIA DE ANTA, DEPARTAMENTO DEL CUSCO.**

Mapa Geológico de la Quebrada Pomatales

DEPT:	CUSCO	ELABORADO POR:	Bach Pachacuteq Champi John Bach Loayza Serna Fidel Ronald
PROV:	ANTA	DATUM:	WG584
DISTR:	HUAROCONDO	ZONA:	18L
ESCALA	1/35000	FECHA:	20/08/2024

04

CAPITULO IV.

GEOLOGIA ESTRUCTURAL

La Geología Estructural es la rama de la ciencia geológica que se dedica a analizar la configuración y la disposición espacial de las rocas en la corteza terrestre. Se centra en el examen de las estructuras (tales como pliegues, fallas y fracturas) y en la interconexión mecánica existente entre las diferentes unidades litológicas que conforman la Tierra.

4.1. INTRODUCCION

La zona de estudio es el resultado del conjunto de eventos tectónicos en diferentes fases que a su vez son responsables del estilo estructural. Se halla afectada por procesos tectónicos los cuales han generado deformaciones que afectaron a las rocas, desde el paleozoico hasta el cuaternario.

Los diferentes procesos tectónicos en sus distintas fases son responsables del estilo y control estructural en la zona de estudio donde resaltan fallas, pliegues y fracturas las cuales afectaron a las rocas tanto como en serie Ollantaytambo como de Mitu y la Formación Yuncaypata y Maras.

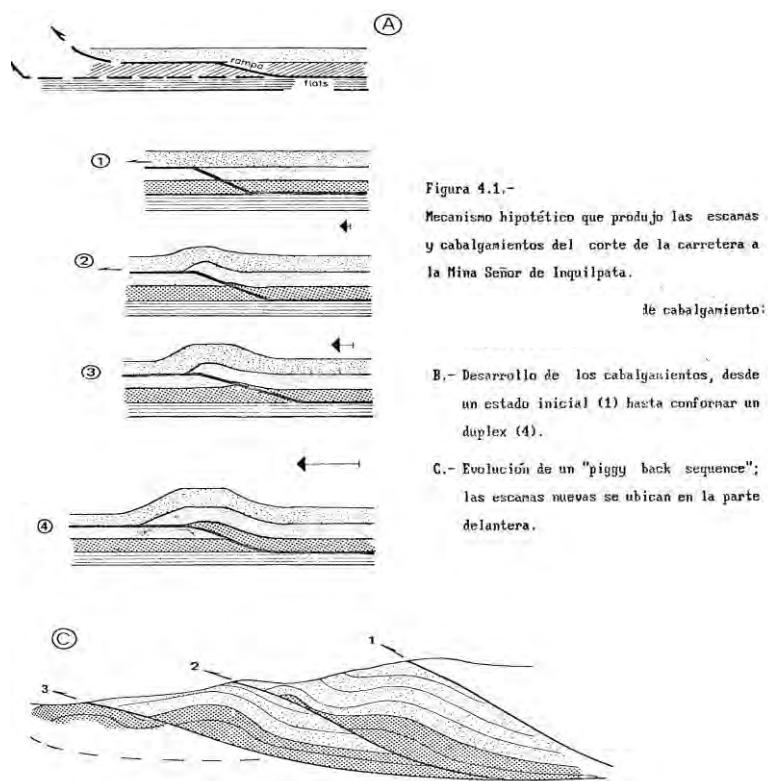


Imagen 2. Gráficos que representan las estructuras de la zona de estudio (Fuente: Propia).

4.2. FALLAMIENTO

Entre los indicadores de actividad tectónica reciente durante el Cuaternario se reconocen la falla de Kapcca junto con su sistema de ramificaciones y fallas subsidiarias, así como la acumulación considerable de depósitos coluviales próximos a la escarpa principal. Asimismo, en el flanco izquierdo del valle del río Huarocondo se observan rasgos geomorfológicos que confirman la reactivación de la estructura. Incluso se identifican evidencias contundentes de que el trazo original de la falla fue temporalmente obstruido por el represamiento del cauce, originado a partir del apilamiento de bloques rocosos desprendidos de la zona de fracturamiento y deformación.

4.2.1. FALLA DE KAPCCA

Los ejes de los pliegues han sido frecuentemente desgarrados, cortados, desplazados y ocasionalmente torcidos por este sistema de fallas, que tiene un rumbo de N 18° y una inclinación hacia el este, presumiblemente con desplazamiento normal-gravitacional.

En las areniscas y yesos de las formaciones Huancané y Maras, este sistema de fallas y los sistemas NE-SO Pueden comportarse como un sistema de fracturas conjugadas, asociado a un régimen de deformación superficial que genera una ruptura intensa de la roca y un alto grado de tectonización.

Las numerosas fallas del valle del río Huarocondo, que provocan deslizamientos de tierra y movimientos de suelo a gran escala, evidencian la intensa actividad geodinámica y sísmica de la región. El ascenso tectónico de la Cordillera de los Andes ocurrido a lo largo del Holoceno. es responsable de este fenómeno, como lo demuestran los profundos cañones que alcanzan los 200 metros de profundidad. En la cabecera y los flancos del valle, la falla activa de Kapcca ha ocasionado numerosos deslizamientos de tierra, reptación del suelo, formación de cárcavas y una severa erosión. La zona es extremadamente sensible y presenta un alto riesgo geodinámico y sísmico debido a la topografía sinuosa y las pendientes pronunciadas creadas por esta falla, que durante el Terciario fue una falla de rumbo y que actualmente actúa como una falla normal sinistral.

4.2.2. SISTEMA DE FALLAMIENTO SO – NE

Este sistema de fallas activo, con rumbo N30° y buzamiento 50°SE, ha provocado numerosos deslizamientos de tierra, reptación, cárcavas y erosión severa en ambos flancos y en la cabecera entre Pomatales y Kapcca. Debido a que esta falla de rumbo funciona actualmente como una falla normal sinistral, creando un terreno accidentado y relieves escarpados, es extremadamente vulnerable y representa un riesgo geodinámico y sísmico significativo.

La formación Maras presentaba fracturación severa y regiones fuertemente tectonizadas como resultado de una deformación superficial. A ambos lados del valle, la zona de falla activa en Pomatales ha generado un entorno geodinámico activo y extremadamente frágil, con un alto riesgo geológico.



Foto 2. Presencia de grietas paralelas al valle.

4.3. SISTEMA DE GRIETAS DE TENSION PARALELAS DE AFLORAMIENTOS ROCOSOS DEL VALLE DEL RIO HUAROCONDO

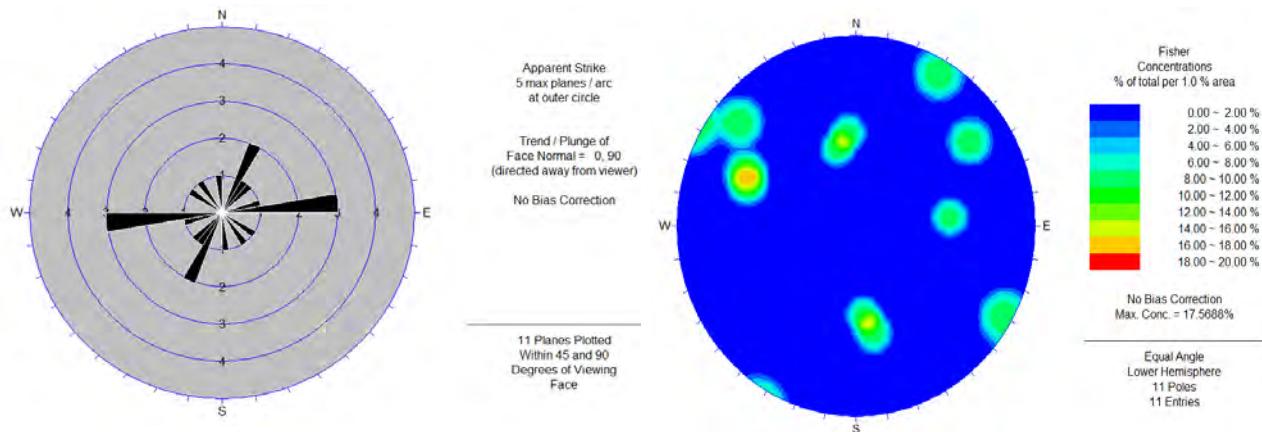
En el área de Investigación el buzamiento predominante se halla en dirección Noroeste, así mismo la presencia de diaclasas es variada, siendo la de mayor longitud de 2 metros con 60 centímetros. Como se observan detalladamente en los gráficos siguientes:

PUNTO	DIRECCION	BUZAMIENTO	LONGITUD (m)	ABERTURA (mm)	DETALLES
1	N120°	85° SE	2.00	2.50	Plano de Falla
2	N145°	75° SE	1.40	2.00	Dioclaza
3	N40°	80° NO	1.60	3.20	Dioclaza
4	N265°	50° SE	2.50	4.15	Dioclaza
5	N75°	45° NO	1.00	2.50	Dioclaza
6	N210°	87° SE	1.30	13.00	Dioclaza
7	N260°	59° NO	2.60	20.50	Dioclaza
8	N175°	55° SO	0.50	32.00	Dioclaza
9	N85°	52° SO	3.50	3.00	Plano de

					Falla
10	N20°	65° NO	2.40	4.50	Plano de Falla
11	N25°	68° NO	0.60	1.00	Dioclase

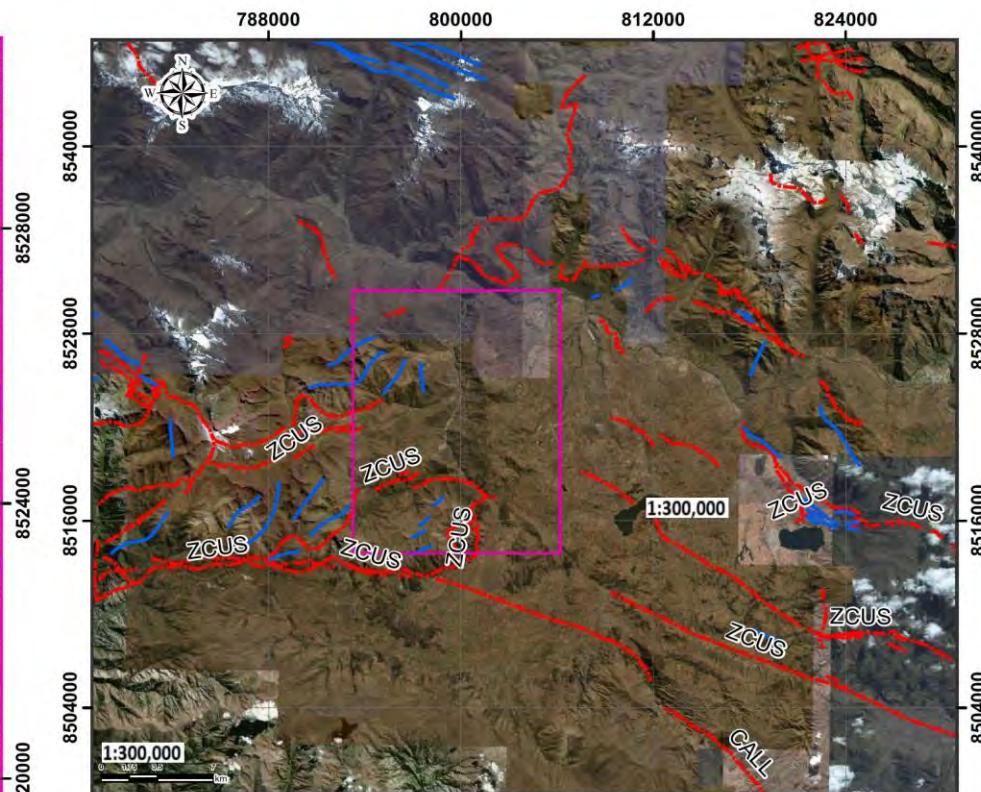
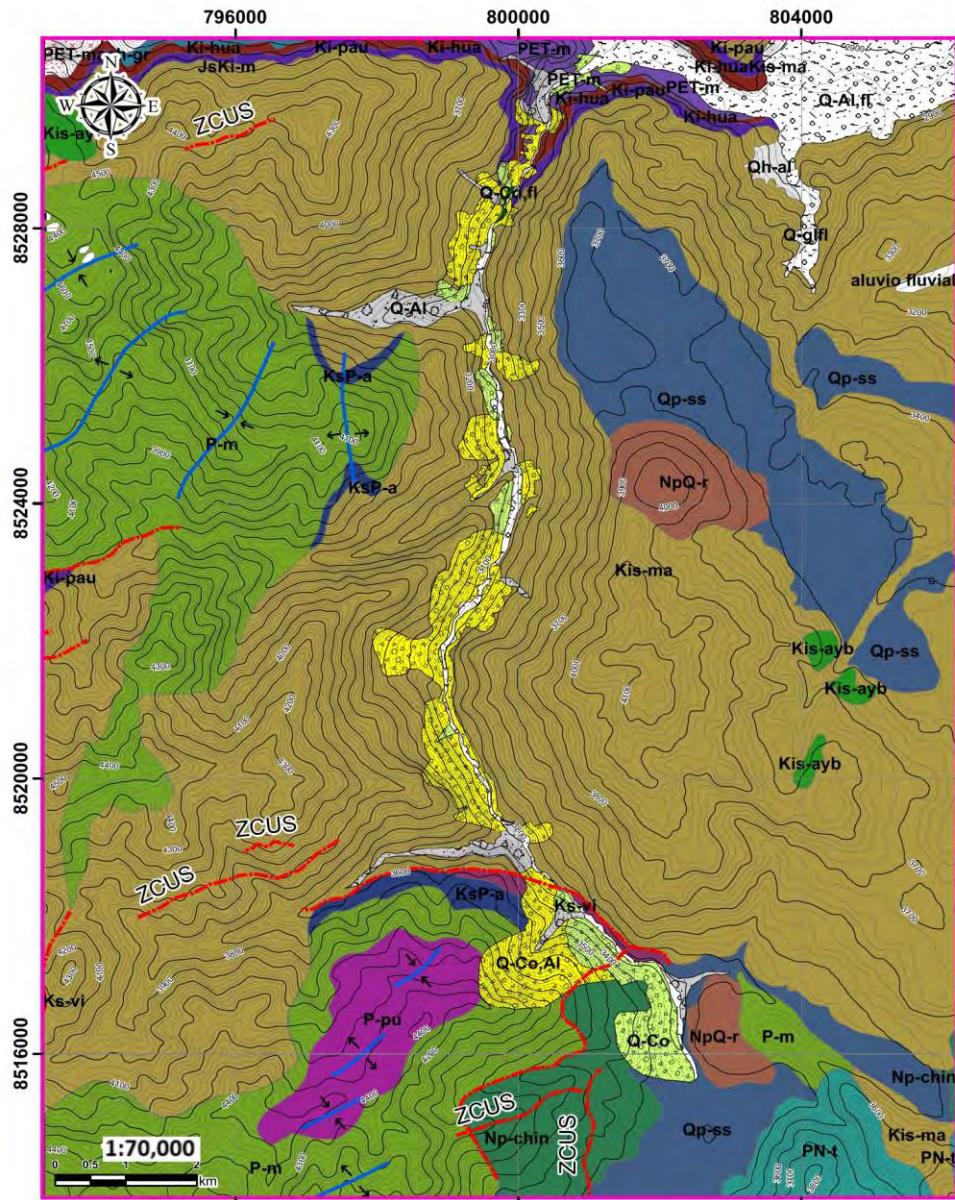
Tabla 3. Valores del sistema de diaclasamiento de afloramientos rocosos del valle del río Huaracando.

Fuente: Propia.



En el diagrama de roseta de diaclasas se aprecia la orientación predominante de los rumbos estructurales, evidenciando una dirección principal NE-SW.

MAPA ESTRUCTURAL DE LA QUEBRADA POMATALES



<u>LEYENDA</u>	
Geología Estructural	
ZCUS	ZCUS, Sistema de Fallas Cusco
ZCALL	ZCALL, Sistema de Fallas Casacunca-Acomayo-Langui-Layo
Unidad Estratigráfica	
 Q-Al, Depósito Aluvial	 Ks-P-a, Formación Auzangate
 Q-Al.fl : Depósitos Aluvio Fluvial	 Ks-vi, Formación Vilquechico
 Q-Co; Depósito Coluvial	 Kis-ayb, Formación Ayabacas
 Q-Co.Al : Depósito Coluvio Aluvial	 Kis-ma, Formación Maras
 Q-Co.fl; Depósito Coluvio fluvial	 Ki-pau, Formación Paucarbam
 Qp-ss, Formación San Sebastián	 Ki-hua, Formación Huancané
 Np-Qr, Formación Rumiocalca	 JsKi-m, Formación Muni
 Qn-chin, Formación Chincheros	 PET-m, Grupo Mitu
 P-m, Formación Muñani	

**ESTUDIO GEOLOGICO, GEOTECNICO E HIDROLOGICO PARA LA ESTABILIDAD DE
TALUDES DEL TRAMO DE LA LINEA FERREA QUEBRADA POMATALES, DISTRITO DE
HUARCONDO, PROVINCIA DE ANTA, DEPARTAMENTO DEL CUSCO.**

Mapa Estructural de la Quebrada Pomatales

DEPT:	CUSCO	ELABORADO POR:	Bach: Pachacutec Champi John Bach. Loayza Serna Fidel Ronald
PROV:	ANTA	DATUM:	WGS84
DISTR:	HUAROCONDO	ZONA:	18L
ESCALA:	1/70 000	FECHA:	20/08/2024

CAPITULO V.

GEODINAMICA

La geodinámica, como disciplina de la geología, analiza los agentes y fuerzas que originan los procesos que modifican la Tierra. Esta se clasifica en dos ámbitos: la geodinámica externa, que abarca los procesos exógenos que actúan sobre la superficie terrestre, y la geodinámica interna, que comprende los procesos endógenos relacionados con la dinámica del interior del planeta

5.1. MORFOGEODINAMICA Y MANIFESTACIONES ACTUALES DE LOS PROCESOS EROSIVOS

Los deslizamientos de tierra, los desprendimientos de rocas, la erosión de laderas y los aludes de lodo son ejemplos de fenómenos naturales asociados con procesos litológicos, geomorfológicos, climatológicos, topográficos, tectónicos, hidrogeológicos, estratigráficos y sísmicos.

Primordialmente tenemos la escorrentía la cual incide en la perdida de volumen originando la presión hidráulica que como factores más importantes tenemos: el clima, topografía, suelo y cobertura vegetal las cuales causan la erosión, la cual cambia paulatinamente la morfología de la zona de esta manera variándola sustancialmente el relieve, todos estos se encuentran sobre material sedimentario coluvial (cuaternario). La longitud de los surcos y las cárcavas son variadas y de profundidades suaves y pronunciadas.

En este apartado se presenta un panorama general de los diversos tipos de procesos erosivos y de la magnitud con la que se manifiestan en la actualidad. Seguidamente, se detallan los fenómenos observados.

5.1.1. ESCURRIMIENTO SUPERFICIAL

Este término expone los efectos erosivos generados por la acción del agua de lluvia al descender por las laderas, desde el momento de las primeras gotas hasta su lento avance por la superficie. La escorrentía se mantiene difusa, compuesta por múltiples flujos de agua que se superponen continuamente, y no causa erosión significativa si el terreno es permeable, de pendiente suave y está bien protegido por la vegetación. En consecuencia, el agua procedente de las laderas es conducida hacia los sistemas de drenaje. principales prácticamente libre de sedimentos. En los bordes de las terrazas, predomina la escorrentía difusa. Cabe mencionar que la escorrentía tiende a ser más perceptible dado que la naturaleza arcillosa de los estratos favorece la permeabilidad.

La erosión difusa da paso progresivamente a la escorrentía concentrada a medida que se desciende por las colinas desde el borde de la terraza. No se han cartografiado debido a su tamaño.

5.1.2. EROSION EN SURCOS Y CARCAVAS

En determinadas condiciones, la escorrentía inicialmente difusa se concentra progresivamente, formando primero pequeños surcos y posteriormente cárcavas. Estas últimas constituyen manifestaciones de erosión concentrada en laderas sometidas a disección y modelado, mientras que los surcos corresponden a incisiones someras de apenas unos decímetros de profundidad en el suelo, cuya presencia requiere la adopción de medidas preventivas adecuadas.

5.1.3. EROSION DE LADERAS

Estos son todos los mecanismos que provocan la erosión y la pérdida de los materiales superficiales (suelo o roca).

Esto se debe al constante ataque de factores erosivos que tienden a deteriorar la superficie natural de la pendiente, como el viento, la lluvia y la escorrentía superficial.

En el área de Investigación se identificaron tres tipos de erosión: erosión en cárcavas, erosión en surcos y erosión laminar.

CAUSAS

- Pendientes sin vegetación
- Depósitos no consolidados
- Abundante lluvia.
- La fuerza erosiva del arroyo tiene componentes tanto verticales como horizontales.
- Pendientes moderadas a fuertes.

Grandes alturas

5.1.4. SOCAVAMIENTO DEL RIO

Se refiere a la erosión fluvial activa, donde las acciones ejercidas por el agua en movimiento del río inciden sobre sus bordes, esto ocurre en los meses de fuertes precipitaciones pluviales (Enero - Marzo). Provocando grietas de tensión cuyas dimensiones varían entre 3 -8 cm. Paralelas a la dirección del río.

CAUSAS

- Mayor caudal del río y fuertes lluvias.

- Acción directa de capacidad erosiva del flujo, tanto en su componente vertical como horizontal.
- Erosión por cárcavas en cauces de drenaje con una profundidad de uno o más metros. La mayoría de las cárcavas y barrancos se presentan en pendientes pronunciadas, especialmente en aquellas con cobertura coluvial, rocas inestables, escasa vegetación y cultivos inadecuados.
- Las cárcavas suelen transformarse en barrancos de tamaño pequeño a mediano (de 2 a 4 m de profundidad) en varias laderas que bordean la cuenca del río Huarocondo-Pachar.

5.1.5. MOVIMIENTOS EN MASA

Este concepto abarca cualquier desplazamiento descendente de una masa de roca, detritos o suelo a lo largo de una ladera, impulsado por la acción de la gravedad (Cruden, 1991).

Varnes (1996) establece como criterio principal de su clasificación el tipo de movimiento y, en segundo término, la naturaleza del material involucrado. De este modo, distingue cinco formas de movimiento en masa: caídas, vuelcos, deslizamientos, propagaciones y flujos. Asimismo, agrupa los materiales susceptibles a estos procesos en dos categorías: rocas y suelos, que a su vez se subdividen en tierra y detritos. Esto se logra mediante la definición de diversos tipos de movimientos y combinaciones de materiales.

5.1.5.1. CLASIFICACION DE MOVIMIENTOS EN MASA

En este apartado se expone la clasificación (Tabla 2), la definición y la escala de velocidades (Tabla 3) de los movimientos en masa identificados en el área de estudio, tomando como referencia la información presentada en la obra consultada “Movimientos en Masa en la región Andina: una guía para la evaluación de amenazas”.

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 Solifluxión, gelifluxión (en permafrost)
Deformaciones gravitacionales profundas	

Tabla 4. Tipificación de los movimientos en masa según la propuesta de Varnes (1958) y Hutchinson (1968)

Los criterios considerados para elaborar la matriz fueron:

- Textura del suelo
- Pendiente
- Erosión del suelo
- Velocidad de desplazamiento

En este estudio, se empleará el método de análisis jerárquico (AHP) propuesto por Saaty (1980), el cual permite evaluar y comparar de manera estructurada los diferentes parámetros que afectan la inestabilidad de los taludes. Este método utilizará una matriz de comparación de pares para asignar pesos relativos a los factores clave, como la textura del suelo, pendiente, erosión y velocidad de desplazamiento

PARAMETROS DE EVALUACIÓN PARA MOVIMIENTO EN MASA				
MATRIZ DE COMPARACION DE PARES				
PARAMETRO	TEXTURA DEL SUELO	PENDIENTE	EROSIÓN	VELOCIDAD DE DESPLAZAMIENTO
TEXTURA DEL SUELO	1	1/3	1/3	3
PENDIENTE	3	1	3	5
EROSIÓN	3	1/3	1	5
VELOCIDAD DE DESPLAZAMIENTO	1/3	1/5	1/5	1

MATRIZ DE COMPARACION DE PARES				
PARAMETRO	TEXTURA DEL SUELO	PENDIENTE	EROSIÓN	VELOCIDAD DE DESPLAZAMIENTO
TEXTURA DEL SUELO	1.00	0.33	0.33	3.00
PENDIENTE	3.00	1.00	3.00	5.00
EROSIÓN	3.00	0.33	1.00	5.00
VELOCIDAD DE DESPLAZAMIENTO	0.33	0.20	0.20	1.00

MATRIZ DE COMPARACION DE PARES				
PARAMETRO	TEXTURA DEL SUELO	PENDIENTE	EROSIÓN	VELOCIDAD DE DESPLAZAMIENTO
TEXTURA DEL SUELO	1.00	0.33	0.33	3.00
PENDIENTE	3.00	1.00	3.00	5.00
EROSIÓN	3.00	0.33	1.00	5.00
VELOCIDAD DE DESPLAZAMIENTO	0.33	0.20	0.20	1.00
SUMA	7.33	1.87	4.53	14.00
INVERSA	0.14	0.54	0.22	0.07

Según las **normas NTP 339.018** sobre estabilidad de taludes y ASTM D2487 sobre **clasificación de suelos**, parámetros como la **textura del suelo, pendiente, erosión y velocidad de desplazamiento** son clave para evaluar la estabilidad de los taludes y los riesgos de movimientos en masa. Se realizará una **matriz de normalización y ponderación** de estos factores para implementar estrategias de mitigación de riesgos en áreas geodinámica mente activas.

MATRIZ DE NORMALIZACIÓN						
PARAMETRO	TEXTURA DEL SUELO	PENDIENTE	EROSIÓN	VELOCIDAD DE DESPLAZAMIENTO	VECTOR DE PRIORIZACIÓN	PORCENTAJE %
TEXTURA DEL SUELO	0.14	0.18	0.07	0.21	0.15	15.07%
PENDIENTE	0.41	0.54	0.66	0.36	0.49	49.09%
EROSIÓN	0.41	0.18	0.22	0.36	0.29	29.13%
VELOCIDAD DE DESPLAZAMIENTO	0.05	0.11	0.04	0.07	0.07	6.70%
	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	100%

PESO PONDERADO DE LOS PARAMETROS	PARAMETRO	PORCENTAJE %
	TEXTURA DEL SUELO	15.07%
	PENDIENTE	49.09%
	EROSIÓN	29.13%
	VELOCIDAD DE DESPLAZAMIENTO	6.70%
		100.00%

MATRIZ DE NORMALIZACIÓN					
PARAMETRO	TEXTURA DEL SUELO	PENDIENTE	EROSIÓN	VELOCIDAD DE DESPLAZAMIENTO	VALOR SUMA PONDERADO
TEXTURA DEL SUELO	0.15	0.16	0.10	0.20	0.61
PENDIENTE	0.45	0.49	0.87	0.34	2.15
EROSIÓN	0.45	0.16	0.29	0.34	1.24
VELOCIDAD DE DESPLAZAMIENTO	0.05	0.10	0.06	0.07	0.27
				4.38	
				4.26	
				4.08	
			SUMA	16.80	
			PROMEDIO	4.20	
INDICE DE CONSISTENCIA			IC	0.066	
RELACION DE CONSISTENCIA < 0.08			RC	0.075	

Explicación de los datos cuantitativos de la matriz de movimientos en masa

Los criterios considerados para elaborar la matriz. fueron:

- Textura del suelo
- Pendiente

- Erosión del suelo
- Velocidad de desplazamiento
- Gravedad
- Antrópico

La siguiente información se recopiló completando la matriz de comparación por pares asignando a los parámetros una escala numérica:

1.-PENDIENTE VS TEXTURA DEL SUELO

A la textura del suelo se le asigna un valor numérico de 1/3, dado que su influencia es algo menor en comparación con la pendiente. Por otro lado, la pendiente recibe un valor de 3, ya que se considera ligeramente más relevante o prioritaria en el análisis.

2.-PENDIENTE VS EROSIÓN DEL SUELO

A la textura del suelo se le asigna un valor de 1/3, dado que su relevancia es algo menor en comparación con la pendiente. En cambio, la pendiente recibe un valor de 3, al considerarse ligeramente más importante o prioritaria que la erosión del suelo.

3.-PENDIENTE VS VELOCIDAD DE DESPLAZAMIENTO

Como la pendiente resulta más significativa o prioritaria que la velocidad de desplazamiento, se le asigna un valor numérico de 5. Por su parte, dado que la velocidad de desplazamiento es ligeramente menos relevante que la pendiente, se le otorga un valor de 1/5.

A) DESLIZAMIENTOS

Un deslizamiento de tierra se define como el movimiento de roca o suelo bajo un bloque de roca o material superficial, que generalmente ocurre a lo largo de una zona delgada con considerable deformación por cizallamiento o una superficie de falla. De acuerdo con la geometría de la superficie de falla sobre la cual se desplaza el material, los deslizamientos se clasifican como traslacionales o rotacionales, según la metodología de Varnes (1978). Existen dos tipos adicionales de deslizamientos traslacionales: planos y en forma de cuña. Sin embargo, en comparación con los tipos descritos anteriormente, las superficies de ruptura asociadas a los deslizamientos tienden a presentar mayor complejidad y pueden incluir múltiples segmentos planos y curvos; en este caso, se denominan movimientos en masa de tipo compuesto.

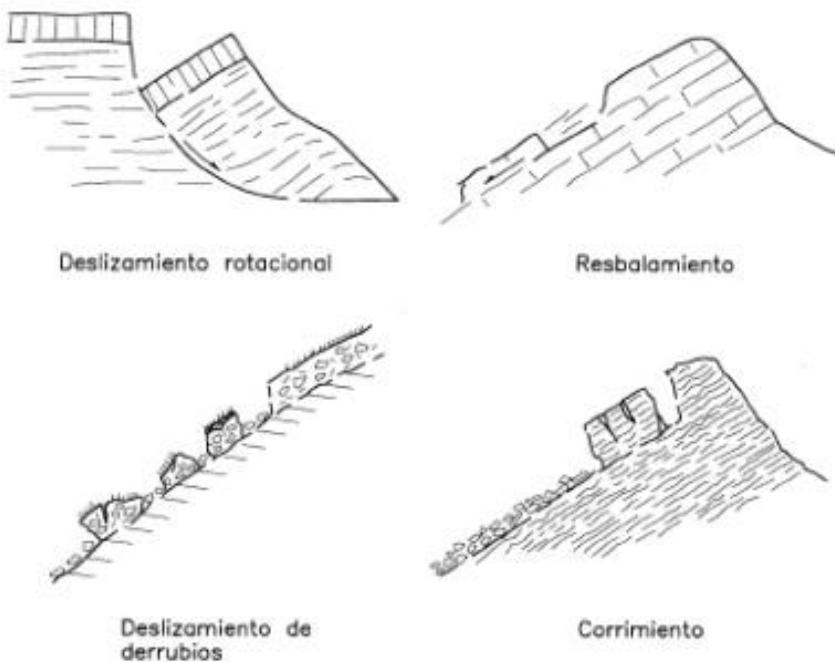
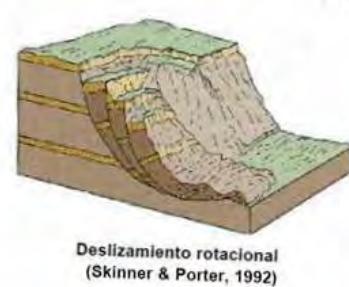


Imagen 3. Tipos de deslizamientos. Fuente: Corominas y García, 1997.

a1. Deslizamiento rotacional

Deslizamiento en el que la masa se desplaza siguiendo una superficie de falla con geometría curva y cóncava. (IMAGEN 3). Una escarpa principal pronunciada y una pendiente contraria que conduce al deslizamiento definen la morfología singular de estos deslizamientos. Salvo en el caso de materiales extremadamente frágiles, como arcillas delicadas, se trata de un deslizamiento en el que la masa se desplaza a lo largo de una superficie de falla curva y cóncava, presentando generalmente una deformación interna mínima, ya que el mecanismo es auto estabilizador y, al producirse en rocas inestables, la velocidad de movimiento es frecuentemente baja. A velocidades inferiores a un metro por segundo, Los deslizamientos de tipo rotacional pueden desarrollarse a velocidades tanto lentas como rápidas.



*Deslizamiento rotacional
(Skinner & Porter, 1992)*

Imagen 4. Deslizamiento Rotacional.

a2. Deslizamiento translacional

Este tipo de deslizamiento se distingue porque la masa se desplaza a lo largo de una superficie de falla plana u ondulada (IMAGEN 2), generalmente más superficial que la de los deslizamientos rotacionales. El movimiento suele producirse a lo largo de discontinuidades preexistentes, como fallas, diaclasas, planos de estratificación o superficies de contacto entre el suelo de cobertura y la roca subyacente.

Dos planos de discontinuidad que se cruzan e intersecan la ladera definen el cuerpo deslizante en el deslizamiento en cuña, una forma de deslizamiento translacional. Como se observa en la ilustración, el cuerpo se desplaza a lo largo de la línea donde se conectan estos dos planos. Dependiendo del tipo de material y del entorno al que se expone, el movimiento translacional puede ocurrir rápidamente o muy rápidamente.



Imagen 5. Perfil de corte transversal. Fuente: Propia

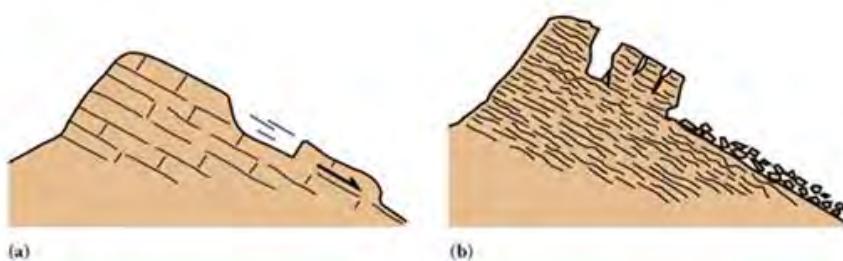


Imagen 6. Esquema de un deslizamiento translacional, llamado resbalamiento y corriente según Coronimas Dulcet y García Yague(1997)

Una de las principales preocupaciones relacionadas con las pendientes pronunciadas son los deslizamientos de tierra, movimientos que provocan la caída repentina de cantidades variables de material suelto y rocoso. Por ello, los deslizamientos pueden ocurrir con mayor

frecuencia en regiones áridas; basta con la desestabilización de laderas inestables con material relativamente suelto, lo que puede suceder, por ejemplo, con la erosión lateral causada por un río o arroyo, o por la construcción de carreteras.

En realidad, los riesgos y las consecuencias de los movimientos de masa de suelo y caída de bloques rocosos son idénticos, y puede resultar difícil determinar si un movimiento en un entorno lluvioso se debió exclusivamente a la saturación del suelo. Por ello, en el mapa geodinámico se representan con un único símbolo que, de forma aproximada, muestra los arcos superiores que dejan los movimientos de masas en las laderas.

La mayoría de los arcos de deslizamientos o derrumbes en el mapa representan movimientos actuales, algunos de los cuales pueden tener décadas de antigüedad y no siempre estar completamente activos. Muestran el tamaño estimado del flujo, su dirección y el área aguas abajo que se vería afectada si el proceso se activara, como ocurrió en marzo de este año.



Foto 3. Derrumbe ocurrido en el mes de marzo del 2013, dicho fenómeno se produjo a causa del material inconsolidado que existe en la zona.



Foto 4. Zona de deslizamiento en el mes de noviembre del año 2018, lo cual se produjo a causa de los flujos de agua en la zona

Aunque son más peligrosos durante la temporada de lluvias, los movimientos de masas ocurren hasta dos o tres meses después de que haya terminado la temporada de lluvias (especialmente cuando la intensidad es alta), dado que se trata de un período en el que la exceso de humedad o lubricación interna por infiltración de agua se mantiene en niveles máximos.

A continuación, se detallan las áreas afectadas por deslizamientos de tierra en todo el tramo del valle del río Huarocondo-Pachar.

CAUSAS DEL DESLIZAMIENTO

- Las arcillas, los limos, las arenas y el yeso son ejemplos de materiales no consolidados.
- La estabilidad lateral de la pendiente natural se pierde, generalmente como resultado de la construcción de carreteras.
- Las masas rocosas presentan un alto grado de fracturación y disyunción.
- Pendientes de moderadas a pronunciadas.
- Efectos de la actividad sísmica y la gravedad.
- Exceso de agua en el suelo.

5.1.5.2. ZONA DE DESLIZAMIENTOS DA – MARGEN DERECHA

A) deslizamiento DAI:

Situado en la pendiente derecha, cerca del tramo final del río Santa María, presenta una zona de ruptura semicircular de 450 metros de longitud y 20 metros de altura. Tres sistemas de escarpas secundarias conforman su cuerpo.

Se trata de un antiguo deslizamiento de tierra con material de relleno que cubre las fisuras de la ruptura. Debido a la erosión, presenta movimientos de masas pronunciados en la sección media anterior. Los antiguos depósitos coluviales (gravas limosas poco consolidadas) que componen el cuerpo del deslizamiento pueden haber perdido su resistencia al corte como consecuencia de la saturación y la eliminación de la vegetación superficial para la agricultura.



Foto 5. Vista del socavamiento del río y en el lado derecho se observan que la zona es usada como un botadero de materiales.

B) DESLIZAMIENTO DA2

Este antiguo deslizamiento de tierra se encuentra entre los 3150 y los 3300 metros sobre el nivel del mar, con una anchura de unos 250 metros. Debido a la escasa vegetación, llega hasta el fondo del valle y parece presentar zonas de erosión y formación de cárcavas.

Debido a la saturación por las lluvias estacionales, la tala de bosques naturales para la agricultura y la extracción de yeso, presenta una reactivación muy superficial en algunas zonas.

La litología se compone de afloramientos irregulares de yeso blanquecino a verdoso y capas coluviales-eluviales de arcillas flexibles con bloques de yeso.

C) DESLIZAMIENTO DA3

Este antiguo deslizamiento de tierra se encuentra entre los 3075 y los 3575 metros sobre el nivel del mar y tiene unos 1200 metros de ancho. Debido a la pronunciada pendiente por debajo de los 3150 metros sobre el nivel del mar, se observa reptación del suelo y zonas de reactivación superficial. Estas condiciones se ven agravadas por las lluvias, los cortes de ladera y la ausencia de proyectos de drenaje y reforestación. Entre los 3075 y los 3300 metros sobre el nivel del mar, también se observa una cárcava activa dentro de este deslizamiento. El nivel de actividad general del deslizamiento es moderado, lo que requiere medidas de estabilización, como la captación de agua superficial y la reforestación.



Foto 6. Vista del deslizamiento Da3 que se originó dentro de la formación Maras. Se muestra también la presencia de reptación del suelo. Fuente: Propia.

D) DESLIZAMIENTO DA4

El deslizamiento, de aproximadamente 2400 metros de longitud, es el más grande en la ladera derecha del valle del río Huarocondo-Pachar. Su génesis está relacionada con la influencia estructural de la falla Kapcca-Pomatales, la cual atraviesa la Formación Maras, que penetra la Formación Maras y se ubica en el sector Saratuhuaylla. Sistemas secundarios se encuentran superficialmente entre los 3050 y 3700 metros sobre el nivel del mar (véase la foto 8). Debido a sus pendientes pronunciadas, acentuadas por la lluvia y la erosión del río Huarocondo-Pachar, estos sistemas se clasifican como activos. La litología principal está compuesta por afloramientos de yeso, arenisca feldespática y suelos coluviales. El deslizamiento se ha segmentado en secciones, que se detallan a continuación, y la orientación principal del movimiento es noroeste-sureste.

DA1 - 1: Como parte de un deslizamiento mayor, un deslizamiento secundario estable tiene 310 metros de ancho y se ubica entre los 3100 y 3280 metros sobre el nivel del mar. Su estabilidad podría verse comprometida si no se reforestan las laderas, ya que una porción de su extremo noreste se utiliza para la agricultura. Los suelos se clasifican como arcillas limosas altamente flexibles y gravas carbonatadas limosas.

DA1 - 2: Al noroeste de DA1-1 se encuentra un deslizamiento secundario estable e inactivo, con una anchura aproximada de 600 m y un desnivel de 350 m (entre 3100 y 3540 m s. n. m.). Debido a la saturación de agua subterránea durante períodos de fuertes lluvias, presenta cierta reactivación secundaria sobre rocas limosas y gravosas.



Foto 7. Vista del deslizamiento DA4 parte lateral izquierda. Fuente: Propia.

5.1.5.3. ZONA DE DESLIZAMIENTOS DB – MARGEN IZQUIERDA

A) DESLIZAMIENTO DB1:

Este antiguo deslizamiento de tierra se encuentra entre los 3275 y los 3350 metros sobre el nivel del mar y tiene unos 300 metros de ancho. Está parcialmente cubierto de arbustos y se utiliza para la agricultura. Al norte de este se ubica otro deslizamiento más pequeño, también utilizado para la agricultura; ambas zonas suelen ser bastante estables.



Foto 8. Deslizamiento DB1. No muestra actividad, el cual es utilizado como terreno de cultivo.

B) DESLIZAMIENTO DB2:

Debido a la vegetación arbustiva que lo cubre, este deslizamiento se considera antiguo. Su desplazamiento tuvo una dirección sureste-noroeste. Alcanza una altura de setenta metros.

Su litología está compuesta por suelos coluviales y algunos detritos de ladera. Dado que su nivel de actividad no ha variado, se considera inactivo.

C) DESLIZAMIENTO DB3

Este antiguo deslizamiento de tierra tiene unos 700 metros de ancho y un desnivel de entre 3200 y 3150 metros sobre el nivel del mar. La ausencia de vegetación en la ladera del deslizamiento y en toda la zona circundante explica la existencia de cárcavas activas que se intensifican durante la temporada de lluvias.

Además, se observan pequeños derrumbes de suelo por encima del cambio de pendiente y al sur de las cárcavas; estos están comenzando a activarse, probablemente como resultado de la erosión del terreno y la ausencia de vegetación. En esta zona, se recomienda la reforestación.



Foto 9. Deslizamiento DB3 en proceso de reactivamiento a pesar de que ya se hizo el tratamiento de estabilidad.

D) DESLIZAMIENTO DB4

Estos deslizamientos de tierra tienen una longitud de entre 900 metros y una altitud de entre 3200 y 3600 metros. Como resultado de la ausencia de reforestación y la baja resistencia al corte de los suelos coluviales, cuando se saturan durante las épocas de lluvias, los deslizamientos al pie de la ladera presentan cierta reactivación, mientras que los situados al norte permanecen estables.



Foto 10. Vista del deslizamiento DB4 mostrando un deslizamiento del tipo translacional.

E) DESLIZAMIENTO DB5

Las fallas de Kapca han tenido un impacto significativo en el comportamiento geodinámico de este antiguo sistema de deslizamientos, ubicado cerca del sector Pomatales. El cuerpo principal del sistema tiene 2000 metros de longitud. Y altitudes comprendidas entre los 3000 y 3800 m.s.n.m.

El conjunto de deslizamientos es el más resaltante y de mayor extensión, son del tipo rotacional y translacional, tiene lugar en la ladera del valle. La zona de arranque es en contra de la estratificación de dirección Nor – Este a Sur – Oeste. El material deslizado está compuesto mayormente por gravas en una matriz limo arcillosa altamente carbonatados. De acuerdo con las observaciones de campo, el deslizamiento ha sido arrastrado por las aguas de escorrentía superficial y por algunos afloramientos de agua subterránea.

Hacia la parte inferior se divide en sistemas que presentan reactivamientos mayores que incluso ya alcanzaron a obstruir la línea férrea en marzo del 2013, y la presencia de agrietamientos semicirculares en la actualidad, estos sobre materiales caóticos redepositados gravoarcillosos, por donde filtran aguas estacionales.

Estos problemas de inestabilidad se acentúan porque carecen de forestación.



Foto 11. Vista del gran deslizamiento DB5 donde muestra efectivamente la zona de arranque en contra de la estratificación.



Foto 12. Vista frontal del sistema 2 del conjunto DB5, se observa: tratamiento del deslizamiento con banqueo y geomembranas, en la parte superior e inferior hay la presencia de grietas de hasta 2 cm.

C) REPTACIÓN DE SUELOS

Cuando la superficie de una falla no es fácilmente visible, los movimientos lentos del terreno pueden ser estacionales y estar relacionados con el cambio climático.

El desplazamiento de carreteras y vías férreas, el desvío de la verticalidad de árboles y postes de servicios públicos, la tensión en las raíces y la aparición de fisuras son señales de este movimiento.

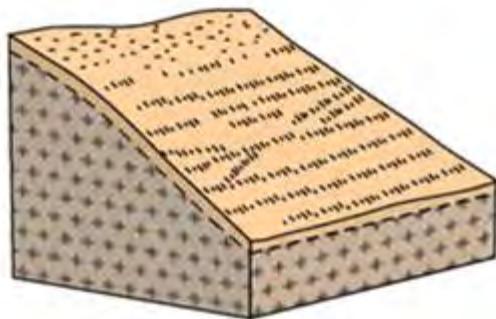


Imagen 7. Representación de Reptación de Suelos. FUENTE:Scrib. Deslizamientos

D) FLUJOS

Se trata de un movimiento en masa que, durante su desplazamiento, presenta un comportamiento similar al de un fluido. Generalmente se origina a partir de otro tipo de movimiento, como un deslizamiento, derrumbe o caída de rocas, y puede desplazarse a velocidades variables, desde muy rápidas hasta lentas (Varnes, 1978).

A continuación, se presentan algunas categorías de flujos.

D1. Flujo de detritos (Debris flow o huaycos)

Se trata de un flujo muy rápido de escombros saturados, generalmente a lo largo de un cauce fluvial con pendiente elevada, y está compuesto de materiales altamente plásticos.

Estas inundaciones pueden originarse por la inestabilidad en tramos del cauce con pendientes pronunciadas o por la caída de uno o más escombros superficiales cerca de la cabecera de las pendientes. Finalmente, depositan una cantidad significativa de material saturado en abanicos de escombros tras incorporarlo a medida que avanzan por el cauce. La concentración de bloques en la parte frontal de la masa en movimiento suele provocar la formación de pulsos en los flujos de escombros.



Imagen 8. Diagrama de Pierson (1986) que muestra el corte esquemático típico de un flujo de detritos, mostrando con bloques de un pulso de un flujo (PMA, GCA, 2008)

Los flujos de escombros tienen un alto potencial destructivo, ya que sus caudales máximos pueden superar en varios órdenes de magnitud a los de las grandes inundaciones. Entre las características distintivas de sus depósitos se encuentran los diques longitudinales, los canales en forma de U, las hileras de rocas y los grandes bloques individuales.

La mayoría de estos flujos se desplazan a velocidades clasificadas como extremadamente rápidas (véase Tabla 3) y, por su naturaleza, resultan altamente destructivos y peligrosos (Hungr, 2005). Las velocidades de los flujos se estiman generalmente en el campo mediante la observación de las super elevaciones del flujo (run-up) en las curvas del canal, las cuales se evidencian a través de marcas de lodo o alteraciones en la vegetación (Costa, 1984 citado en Hungr, 2005). Las variaciones en las elevaciones de los diques longitudinales o terraplenes que se crean cuando el flujo se desborda en los bordes de las curvas del canal también se pueden utilizar para calcular estas velocidades.

Los aludes de lodo han estado implicados en muchos de los desastres más catastróficos del mundo y de Perú en términos de daños económicos. Aobamba, Santa Teresa-Cusco (1998), Nevado Huascarán-Yungay (1970), Runtumayo-Nevado Veraña-Cusco (2005) y Aguas Calientes-Cusco (1985, 1995, 1997, 2007) son algunos ejemplos. Además, los aludes de lodo y los aludes en regiones con terreno escarpado son responsables de una proporción considerable de las muertes tras desastres regionales provocados por tormentas o terremotos.

D2. Inundación de detritos (Debris Floods)

La capacidad destructiva de un alud de escombros es comparable a la de una inundación, enterrando o sepultando objetos, generalmente sin causar daños. Un alud de escombros es una corriente de agua extremadamente rápida que transporta una gran cantidad de escombros a lo largo de un cauce; se caracteriza por caudales máximos que duplican o triplican los de una inundación. No obstante, pueden presentarse eventos excepcionales debido a descargas de agua inusualmente elevadas, como las provenientes de lagos o de fuentes subglaciales (Hungr, 2005).

Los depósitos de estos flujos están compuestos por mezclas de arena gruesa y grava débilmente estratificada. Se diferencian de los depósitos de flujos de detritos en que las gravas que los forman presentan una imbricación de clastos y bloques y una textura uniformemente graduada, sin matriz en todo el depósito.

D3. Flujo de lodo (Mudflow)

Flujo canalizado de detritos saturados y plásticos que se desplaza a velocidades muy rápidas o extremadamente rápidas, con un contenido de agua considerablemente superior al del

material de origen y un índice de plasticidad mayor al 5% (Hung et al., 2001). Este fenómeno de desplazamiento es comparable a un movimiento en masa de detritos, pero la reología del material se ve alterada por el componente arcilloso.

E) CAIDA DE BLOQUES DE ROCAS

Se produce un derrumbe en la base de las laderas de pendiente moderada a pronunciada en el flanco izquierdo del río Huarocondo, al noroeste del pueblo homónimo. Esto se debe a que las rocas están fuertemente fracturadas y diaclasadas, formando en ocasiones hasta tres sistemas de fracturas que provocan su caída.

Las fracturas tienen una dirección generalizada N-S y un buzamiento 35'W, y las diaclasas tienen una dirección N 20' E y N 70' E, medidas en los macizos rocosos de calizas cuyos planos de estratificación se disponen en sentido contrario a la pendiente

Se encuentra afloramientos de areniscas cuarzosas (Fm. Huancané), las cuales también se encuentran muy fracturadas, pero los planos de estratificación se disponen a favor de la pendiente, el cual tiene un rumbo E-W y un buzamiento 25' S.

Macizo rocoso fuertemente fracturado y diaclasado.

- Fuerte pendiente de los taludes.
- Debilidad a lo largo de los planos de discontinuidad como resultado de la presión del agua intersticial.
- Consecuencias de la actividad sísmica y la gravedad.

EFFECTOS SECUNDARIOS:

REPRESAMIENTOS

Procesos físicos que incluyen el bloqueo temporal o permanente de cursos de agua debido a procesos naturales (desplazamientos de masas) como deslizamientos de tierra, hielo y/o morrenas glaciares que, cuando colapsan como resultado de fuertes lluvias y/o terremotos, represan ríos y se transforman en flujos de detritos y lodo que destruyen todo a su paso, representando una grave amenaza para las poblaciones cercanas.

5.2. ANALISIS DE ESTABILIDAD Y RIESGO FISICO

Se propone una zona de estabilidad y otra de riesgo físico, basada principalmente en datos geológicos, geomorfológicos y climáticos. Mediante designaciones cualitativas, esta clasificación considera diversas variables y divide los sectores en cinco niveles: estable, ligeramente estable, moderadamente inestable, inestable y muy inestable. Tanto la inestabilidad del suelo como la erosión aumentan en estos niveles.

5.2.1. AREAS ESTABLES (E)

Estas regiones, que corresponden a tramos de pendiente suave, más precisamente, terrazas fluviales no inundables, están prácticamente libres de erosión. Aquí, la vegetación secundaria y la cubierta forestal minimizan considerablemente la escorrentía superficial. En esencia, incluso en situaciones de uso intensivo, como la agricultura, no presentan erosión aparente ni daños potenciales.

5.2.2. AREAS LIGERAMENTE ESTABLES (LI)

En estas zonas, los procesos erosivos son evidentes y, en algunos sectores, de importancia local. Sin embargo, su potencial erosivo es considerable en caso de deforestaciones, teniendo en cuenta la extrema pluviosidad del área. La potencialidad erosiva se refiere al riesgo de erosión por escorrentía concentrada, procesos que actualmente se dan en las quebradas Rapchi, Pomatales y Paropishu.

5.2.3. AREAS MEDIANAMENTE INESTABLES (MI)

Corresponden a sectores reducidos de las montañas, que por lo general son las bases de las laderas en el contacto con las terrazas o piedemontes. Por su menor pendiente y por tratarse de zonas de bosque tropical, estas zonas prácticamente carecen de procesos erosivos visibles; pero se estima que en caso de deforestaciones más o menos intensivas, la erosión se desarrollara hasta niveles de riesgo medio, tanto por la formación de cárcavas activas, como pequeños movimientos de masa. Que podría comprometer la estabilidad de la línea férrea como de la carretera.

5.2.4. AREAS INESTABLES

Las zonas con pendientes pronunciadas y las riberas de los ríos constituyen dos categorías de áreas claramente inestables.

En el caso de las pendientes, estas regiones suelen presentar una erosión más frecuente que las del grupo anterior (moderadamente inestables), y su potencial erosivo es igualmente significativo. Son terrenos montañosos empinados y hasta escarpados, con desniveles altitudinales importantes. Aunque las formaciones rocosas predominantes son de alta resistencia, a menudo presentan intercalaciones de arcillas blandas que facilitan los procesos erosivos, particularmente los asociados a los movimientos en masa.

En caso de intervenciones más o menos intensivas del bosque que cubre estas laderas, es muy probable que se desencadenen procesos erosivos de serio riesgo, y con fuertes dificultades para su control. Una circunstancia favorable que contribuye a disminuir el riesgo físico erosivo de estas laderas generalmente escarpadas, es la presencia de barras rocosas compactadas alineadas contra la pendiente. Estas bandas sedimentarias frenan la

escorrentía y atenúan también los movimientos en masa, sin embargo, es un freno a los procesos más grandes; en detalle, movimientos pequeños pero riesgosos, y escorrentías torrenciales siempre se evidencian en las condiciones actuales y se estima que serían mayores ante intervenciones más o menos pronunciadas. Es el tipo de medio dominante en el área de estudio los deslizamientos de la margen izquierda

Descripción de los principales factores que afectan las zonas críticas en la quebrada Pomatales:

a. Factores geológicos:

Las áreas de alta inestabilidad, indicadas en el mapa, se encuentran en zonas con materiales poco sólidos y suelos vulnerables. La existencia de fallas geológicas y zonas fracturadas en las formaciones rocosas aumenta la probabilidad de colapso de los taludes. Estos factores geológicos son fundamentales para la estabilidad de los taludes y juegan un papel crucial en la activación de deslizamientos.

b. Condiciones hidrológicas:

La penetración del agua y la saturación del suelo en las áreas críticas incrementan el riesgo de inestabilidad. El agua subterránea y la escorrentía superficial son factores determinantes que disminuyen la cohesión del suelo, particularmente en las cercanías de ríos y cauces. Las lluvias fuertes y la acumulación de agua propician la erosión y el socavamiento en la base de los taludes.

c. Acción antropogénica:

Las acciones humanas, como la edificación de infraestructuras (carreteras, ferrocarriles), también afectan la estabilidad de los taludes. En el mapa, las zonas con mayor intervención humana presentan alteraciones en las condiciones naturales del terreno, lo que eleva la probabilidad de deslizamientos y erosión.

d. Condiciones geomorfológicas:

Las inclinaciones pronunciadas y la configuración topográfica de la quebrada Pomatales son elementos determinantes que influyen en la estabilidad. Las zonas críticas, situadas en áreas de gran relieve y cerca de los cauces de los ríos, sufren una mayor presión y deterioro debido a la acción de las fuerzas naturales. La interacción de estas condiciones geomorfológicas con los factores mencionados previamente acelera la ocurrencia de movimientos en masa.

798000

798500

799000

799500

800000

800500

N

MAPA DE ZONAS CRITICAS DE INESTABILIDAD DE TALUD EN LA QUEBRADA POMATALES

PUNTO FINAL
N: 8521948.00 m
E: 798910.00 m
PRG: 4+0.00



PUNTO CRITICO N°4
N: 8521127.00 m
E: 798914.00 m
PRG: 2+0.5KM



PUNTO CRITICO N°3
N: 8520833.00 m
E: 799020.00 m
PRG: 2+0.00 KM



PUNTO CRITICO N°2
N: 8520300.00 m
E: 799268.00 m
PRG: 1+0.6 KM



PUNTO CRITICO N°1
N: 8519729.44 m
E: 799544.77 m
PRG: 0+0.50 KM



PUNTO INICIAL
N: 8519383.00 m
E: 799755.00 m
PRG. 0+0.00

SIMBOLOGIA

- Accion antropica
- Caida de suelos
- Deslizamiento
- Erosion en Carcavas
- Curvas
- Ríos

ESTUDIO GEOLOGICO, GEOTECNICO E HIDROLOGICO PARA LA ESTABILIDAD DE TALUDES DEL TRAMO DE LA LINEA FERREA QUEBRADA POMATALES, DISTRITO DE HUARCONDO, PROVINCIA DE ANTA, DEPARTAMENTO DEL CUSCO.

MAPA DE ZONAS CRITICAS DE INESTABILIDAD DE TALUD EN LA QUEBRADA POMATALES

DEPT.	CUSCO	ELABORADO POR:	Bach. Pachacuteq Champi John Bach. Loayza Serna Fidel Ronald
PROV.	ANTA	DATUM	WGS84
DISTR.	HUARCONDO	ZONA	18L
ESCALA	1/35000	FECHA	22/12/2025

7

1:35,000

0

0.25

0.5

1

Km

798000

798500

799000

799500

800000

800500

N

8518400

8518200

8518000

8517800

MOVIMIENTO ROTACIONAL

El movimiento de masa rotacional se refiere al movimiento de un objeto que gira en torno a un eje de giro fijo, en el que cada partícula del cuerpo describe un círculo. Conceptos clave como el torque (análogo a la fuerza) y la inercia rotacional (análoga a la masa) son fundamentales para describir y comprender este tipo de movimiento, el cual se rige por leyes similares a las del movimiento lineal, pero adaptadas al contexto rotacional.



Foto 13. Nótese el movimiento de masa rotacional ubicado en nuestra zona de interés,

Se observa deslizamiento en la trocha HUAROCONDO – POMATALES

5.3. PROPUESTAS Y ALTERNATIVAS PARA LA ESTABILIZACION DE LOS SECTORES CRITICOS

5.3 .1. SISTEMA DE EVALUACION DE AGUAS PLUVIALES

Estaría constituido por un canal abierto de concreto ciclópeo concreto $fc=175 \text{ kg/cm}^3 + 30\%$ de piedra mediana, el cual sería construido en las zonas altas de los cortes del talud con fines de protección de reactivamientos en las zonas próximas a la línea férrea como en la carretera que va hacia el sector de Pachar.

5.3.2. SISTEMA PARA EL CONTROL DE LA EROSION DE LAS QUEBRADAS

Consiste en la construcción de diques de piedra, cuya realización se plantea en el cauce de las quebradas, zona que se encuentra en profundización, con el objeto de reducir la velocidad del agua y retener el sedimento arrastrado. Estas propuestas contemplan su construcción en el fondo de las quebradas Pomatales, Paropishu, y Rapchi.

5.3.3. SISTEMA DE TERRAZAS O BANCOS

Es una plataforma o serie de plataformas o terraplenes que se dispone a manera de escalones en las laderas, estos pueden ser a nivel o con una ligera inclinación contra pendiente, son conocidos también como andenes.

Las terrazas de banco son muy apropiadas para la zona, debido a que el área deslizada presenta una fuerte pendiente lo que origina el constante movimiento de la masa. Por tal motivo estas terrazas deben tener una ligera inclinación contra pendiente de 4% a 6% por ser en su mayoría suelos de tipo CL, GM, GP – GM.

Estas obras de tratamiento estarían completadas en la parte inferior de la línea férrea de los deslizamientos DA-1, DA-5.

5.3.4. REFORESTACION MASIVA

La Reforestación masiva puede ayudar a controlar la erosión en forma apreciable y dar estabilidad al terreno, se propone reforestar un promedio de 08 hectáreas, en áreas donde se ha perdido la cobertura vegetal, con el objeto de repoblar y recuperar la cubierta vegetal del suelo en zonas de áreas verdes o pasivas que tiene la Microcuenca; las especies planteadas para la zona son arbustivas y arbóreas de preferencia a aquellas que crecen y se adoptan a la zona, entre estos tenemos:

Especies sugeridas

<i>Sennabyrrostris</i>	:	mutuy
<i>Baccharispolyanta</i>	:	chilca
<i>Cytarexilumherrerae</i>	:	huayruro cusqueño

<i>Tecoma sambucifolia</i>	:	huaranhuay
<i>Escallonia resinosa</i>	:	chachacomo
Coníferas como el píno.		

5.4. GEODINAMICA INTERNA (SISMICIDAD)

Perú, ubicado dentro del Cinturón Circumpacífico, se encuentra en una de las zonas de mayor actividad sísmica a nivel mundial. La interacción entre las placas de Nazca y Sudamericana configura el marco tectónico regional a gran escala.

Como resultado de la colisión de estas dos placas, la intensa actividad sísmica y otros fenómenos telúricos de la región están vinculados a las principales estructuras tectónicas del oeste de Sudamérica, como la Cordillera de los Andes y la Fosa Perú-Chile. El proceso orogénico moderno que dio origen a los Andes es la consecuencia más destacada de esta confluencia.

La teoría que explica esta relación es la Tectónica de Placas o Tectónica Global (Isacks et al., 1968). Su concepto central establece que la litosfera, la envoltura sólida más superficial de la Tierra con un espesor aproximado de 100 km, está fragmentada en múltiples placas rígidas que se originan y expanden a lo largo de estrechas cadenas meso-oceánicas casi lineales. Estas placas se desplazan sobre una capa subyacente menos rígida, la astenosfera, y experimentan compresión o construcción en los límites convergentes, donde la corteza se pliega formando cadenas montañosas o se hunde generando fosas oceánicas , (Berrocal et al, 1975).

Aunque se desconoce el proceso fundamental que causa el movimiento de las placas, se cree que está causado por corrientes de convección o movimientos del manto caliente y plástico de la Tierra, además de las fuerzas gravitacionales y de rotación del planeta.

Existen tres tipos de límites y bordes de placas, y rara vez coinciden con los márgenes continentales:

1. A lo largo de las dorsales oceánicas axiales, donde se produce la divergencia de placas y la formación de nuevos fondos oceánicos.
2. A lo largo de las fallas transformantes, donde las placas se desplazan lateralmente una respecto a la otra.
3. A lo largo de las zonas de subducción, cuando una placa se hunde debajo del margen de la placa superior.

Se ha descubierto que la mayor parte de los procesos tectónicos de la Tierra se localizan en los límites de estas placas. Los terremotos son causados por la fricción mutua de estas

placas, y la ubicación de estos terremotos determina sus límites. Uno de los límites de placas más grandes de la Tierra es el límite continental occidental de Sudamérica, donde la placa oceánica de Nazca se hunde bajo la placa continental Sudamericana.

La placa sudamericana, que se origina en la dorsal mesoatlántica, avanza hacia el noroeste a una velocidad de dos a tres centímetros por año hasta unirse a la placa de Nazca en su extremo occidental, formando la costa del Pacífico sudamericano. Por otra parte, la placa de Nazca se genera en la dorsal meso-oceánica del Pacífico Oriental y se desplaza hacia el este a una velocidad aproximada de 5 a 10 cm por año, subduciéndose bajo la placa Sudamericana con una tasa de convergencia de entre 7 y 12 cm por año (Berrocal et al., 1975).

La Cordillera de los Andes y la Fosa Perú-Chile se formaron en momentos evolutivos distintos como resultado de la colisión entre la Placa Sudamericana y la Placa de Nazca, y la subducción de esta última. La mayor parte de la actividad sísmica en el oeste de nuestro continente se debe al contacto constante entre estas dos placas. La placa de Nazca se hunde por debajo de la región que abarca la frontera Perú-Brasil y el noroeste de Argentina, lo cual se evidencia en la distribución espacial de los hipocentros. Sin embargo, persiste cierta controversia debido a la carencia de eventos sísmicos en el rango de profundidades entre 300 y 500 km (Berrocal et al., 1975).

Ciertos estudios sismotectónicos han identificado determinadas discontinuidades regionales que segmentan el relieve tectónico de Sudamérica en múltiples provincias tectónicas. Dichas provincias están separadas por discontinuidades laterales (Berrocal et al, 1974) o por “zonas de transición” sismotectónicas (Deza y Carbonell, 1978), todas ellas normales a la zona de subducción o formando un ángulo grande con esta. Cada una de estas provincias tectónicas presenta características únicas que influyen en la actividad sísmica que allí se produce.

Se han identificado numerosas zonas dentro del ámbito del Perú, cada una con propiedades particulares considerando la frecuencia y magnitud de los sismos. La zona de estudio se encuentra dentro de la Zona 2, que corresponde a sismicidad intermedia, según el mapa de riesgo sismico propuesto por la norma revisada E.03 de diseño sismorresistente del Código Nacional de Edificación (2016). La actividad sísmica que se presenta en esta región está gobernada por sismos corticales, cuyas fuentes son los sistemas de fallas de la zona subandina, generado por el choque del escudo amazónico con la cadena de los Andes.

La norma establece que la aceleración critica prevista en la región de estudio para un intervalo de recurrencia es de 475 años es de 0,3 g. Por lo tanto, en este estudio se puede

emplear un valor de factor sísmico de $\alpha = 0,15$, o el 50 % de la aceleración máxima especificada por la norma, para utilizar métodos seudoestáticos en el estudio y elaboración del diseño de la cimentación de la carretera.

5.4.1. ANTECEDENTES SISMICOS DE LA REGION CUSCO

A continuación, se describe la historia de los terremotos más notables que afectaron la zona:

- El terremoto del 31 de marzo de 1650, con intensidades V en Cusco y IX en Paucartambo
- El terremoto de 1747 en Ayapata, Cusco, con una intensidad VII.
- El terremoto del 9 de abril de 1928 en Ayapata, Cusco, con intensidades locales de VII y V.
- El terremoto del 23 de junio de 2001, con una magnitud de $mb=6.9$ ($ms=7.0$), ocurrió a las 15:33 horas. afecto toda la región sur de Perú, incluyendo las ciudades de Arica e Iquique (Chile) y la Paz (Bolivia) con epicentro a la línea de costa 800 Km noroeste de la localidad de Ocoña (Arequipa). Tiene las particularidades de poseer una ruptura heterogena y un modo de propagación sísmica con ondulamiento de la superficie. Localidades más afectadas Ociña, Camana, Mollendo, Arequipa, Moquegua y Tacna grado VIIa-VII Mercalli modificada.
- Un potente terremoto (MB = 4,5) devastó la ciudad de Cusco y sus alrededores a las 15:15 (hora local) del 5 de abril de 1986, causando daños de moderados a graves, sobre todo en las estructuras. Siete personas fallecieron, cerca de ochenta resultaron heridas y trece quedaron sin hogar a consecuencia del sismo. El epicentro se ubicó al noroeste de Cusco, en el sistema de fallas de Tambomachay, una zona de fallas activas, según datos de observación y la distribución de las líneas isosísmicas regionales.

5.4.2. PELIGROSIDAD SISMICA EN EL SUR DEL PERU

La presentación sobre "Peligro sísmico en el sur del Perú" (López y Olarte – CISMID – UNI – 2001) contiene los datos más recientes sobre peligro sísmico para la región. Incluye un estudio estadístico que genera diagramas y fórmulas de intervalos de recurrencia para la predicción sísmica, así como un estudio sobre la distribución espacial de la actividad sísmica, tanto horizontal como verticalmente.

En la zona analizada en esta evaluación (Cusco, Moquegua y parte de Tacna) establece:

Sismo de foco superficial

Profundidad hasta 60 Km

Total: 408 sismos

El Periodo de retorno:

Sismos Superficiales		Sismos intermedios	
Mb = 6.4	100 años	Mb = 6.6	100 años
Mb = 6.9	400 años		

Tabla 5. Registro sísmico. FUENTE: CISMID-UNI

5.4.2.1. PROBABILIDAD DE OCURRENCIA:

La propiedad de suceso sísmico de un sismo de $mb \geq 6.5$ en un lapso de 100 años alcanza el 80 % los parámetros de sismicidad de los cálculos de aceleración y desplazamiento referencial a los intervalos de recurrencia de 30, 50 y 100 año.

	Aceleración			Velocidad			Desplazamiento		
Años	30	50	100	30	50	100	30	50	100
I.R	0.14	0.17	0.21	5.8	7.0	9.5	2.1	2.4	3.3

Tabla 6. Probabilidad de ocurrencia de sismos en la zona Fuente:CISMID-UNI

5.4.3. ZONIFICACION SISMICA SEGÚN RNC

De acuerdo al Reglamento Internacional de Construcciones el terreno analizado se caracteriza por los siguientes valores:

Zona	2	Mapa de zonificación sísmica
Factor de zona	0.3	Tabla 1
Perfil de suelo	Tipo S1	Grava limosa
Parámetro de suelo	$T_p = 0.4$ s	Periodo predominante
(tabla N° 2)	S = 1.0	Factor de ampliación del suelo

Tabla 7. Datos de zonificación sísmica. FUENTE: GEOGPS-PERU

A continuación, se muestra el plano sísmico de la región de Cusco, resaltando la zona en estudio, cuyos datos se muestran en la tabla anterior:

MAPA DE ZONIFICACIÓN SISMICA DEL PERÚ (DEPARTAMENTO DEL CUSCO)

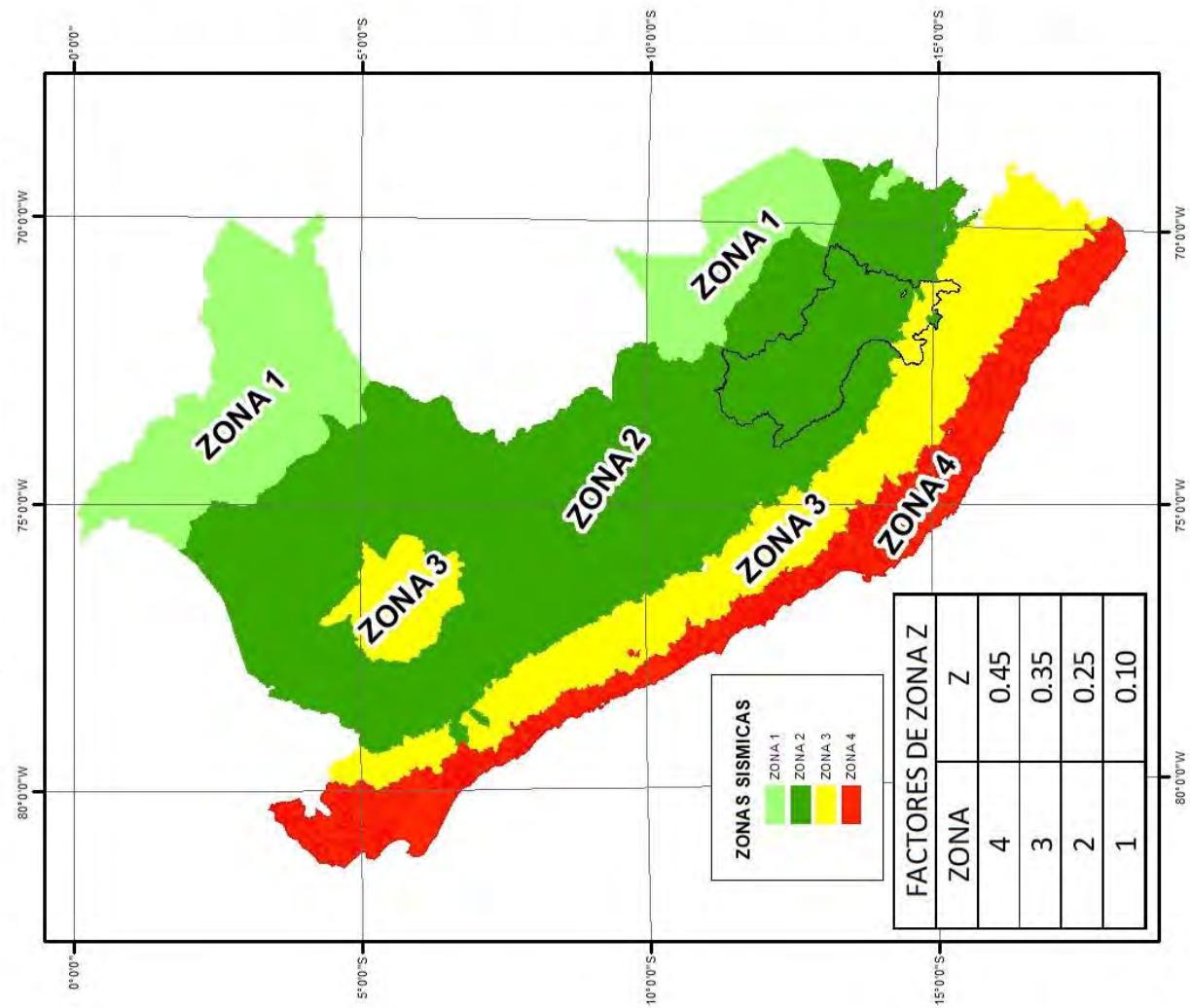
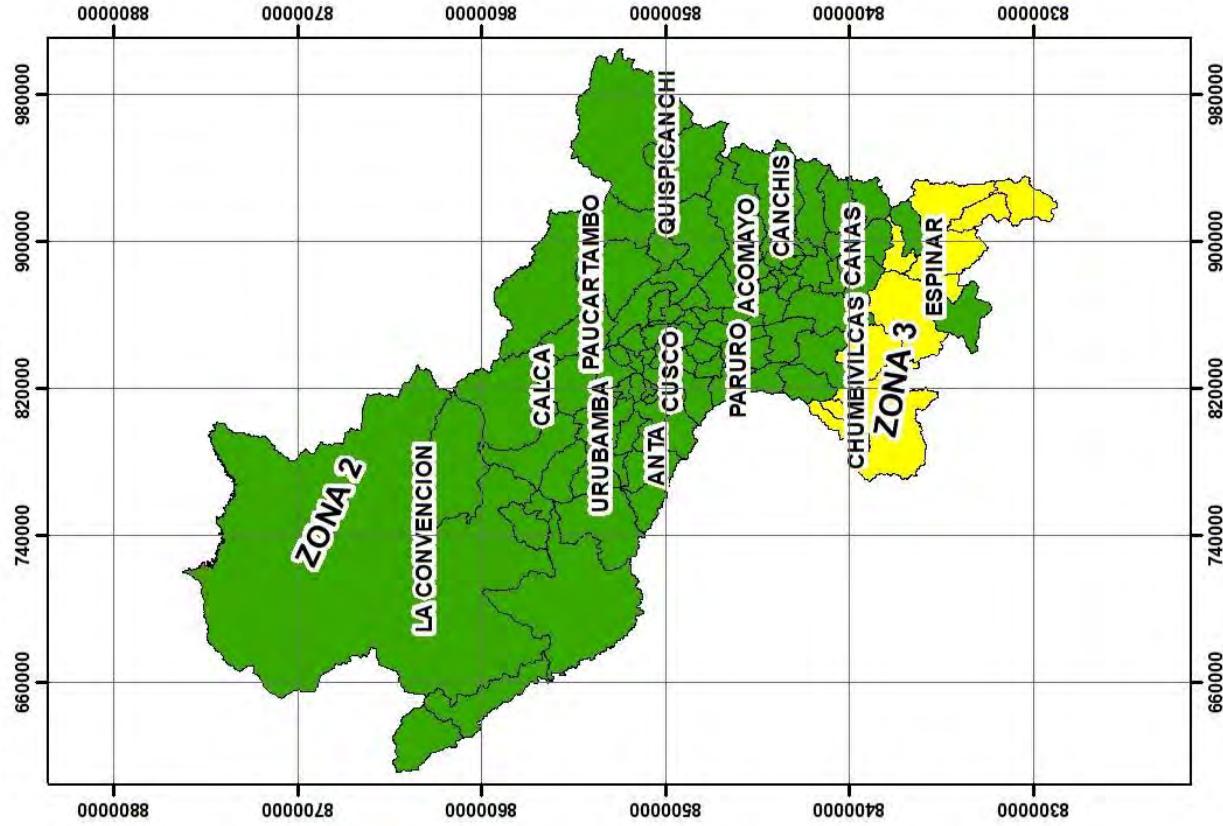
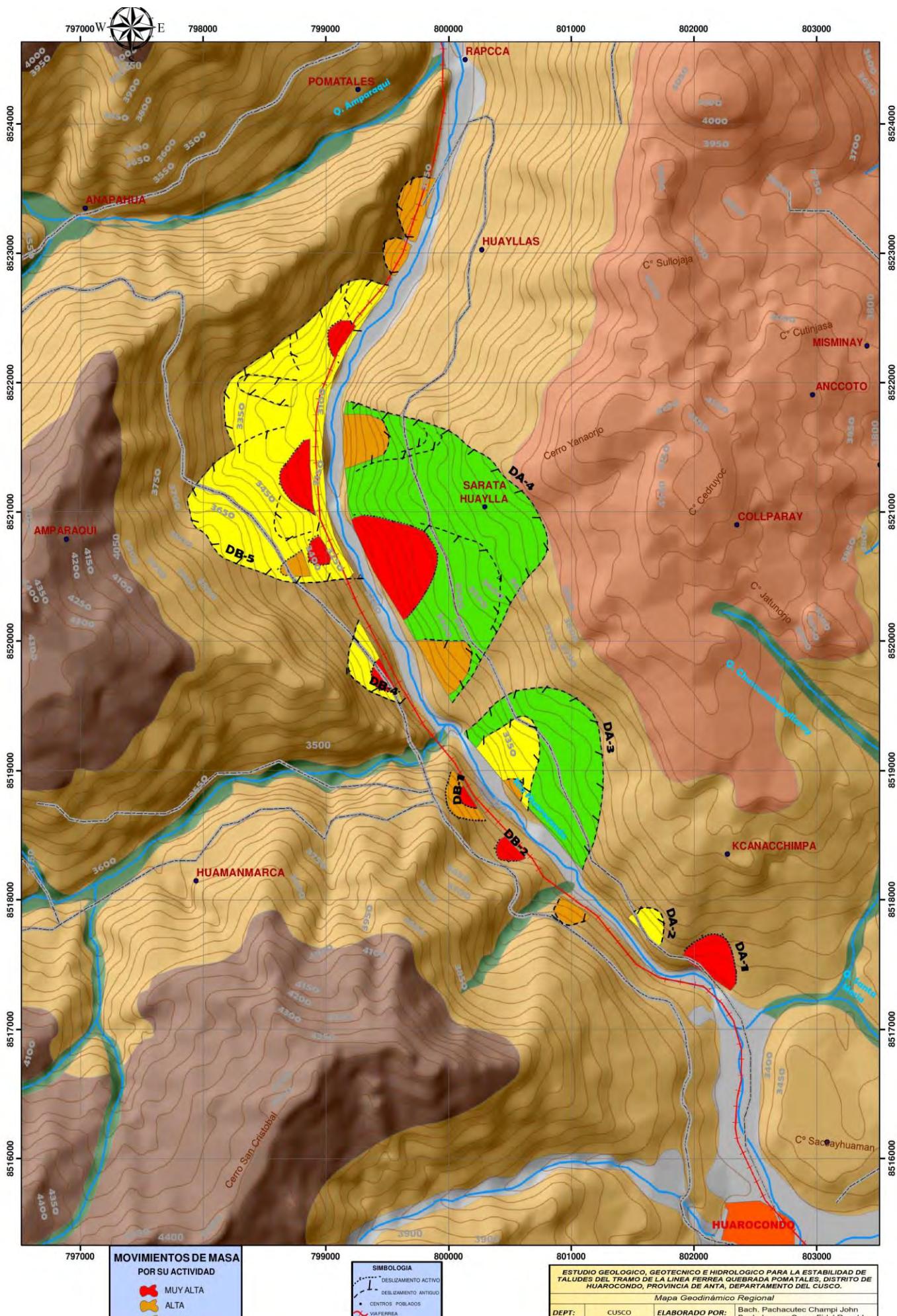


Imagen 9 Mapa de sismicidad del Perú. FUENTE: GEOGPS PERU 2016.



**MOVIMIENTOS DE MASA
POR SU ACTIVIDAD**

- MUY ALTA
- ALTA
- MEDIA
- BAJA

SÍMBOLOGIA

- - - DESLIZAMIENTO ACTIVO
- - - DESLIZAMIENTO ANTIGUO
- CENTROS POBLADOS
- VÍA FÉRREA
- CARRETERAS
- RÍOS
- CURVAS DE NIVEL

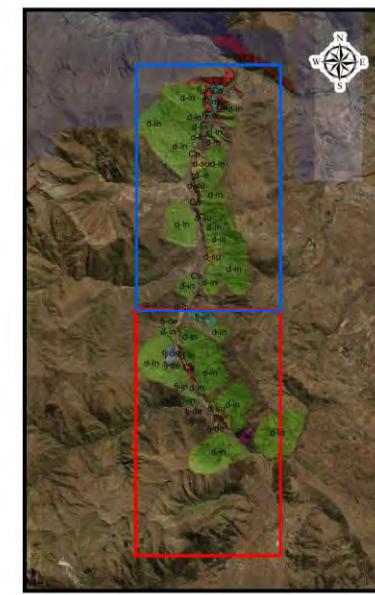
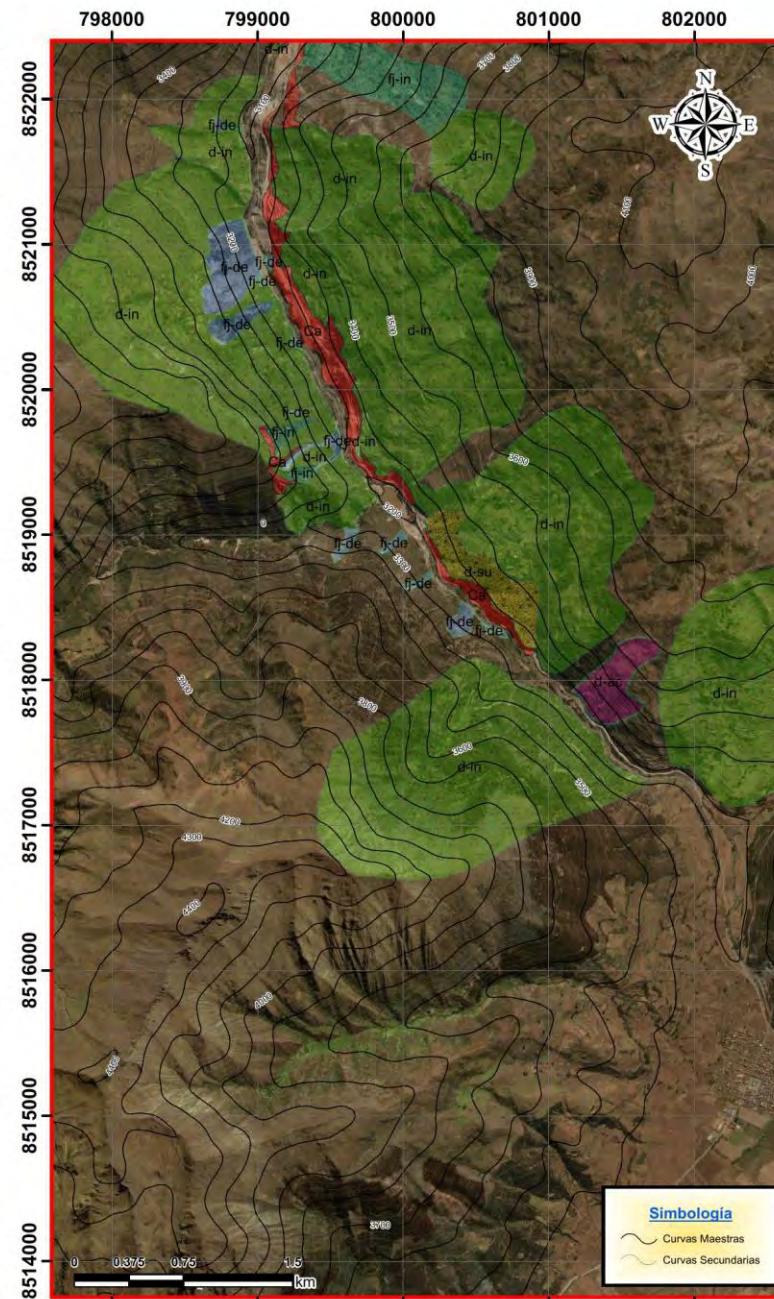
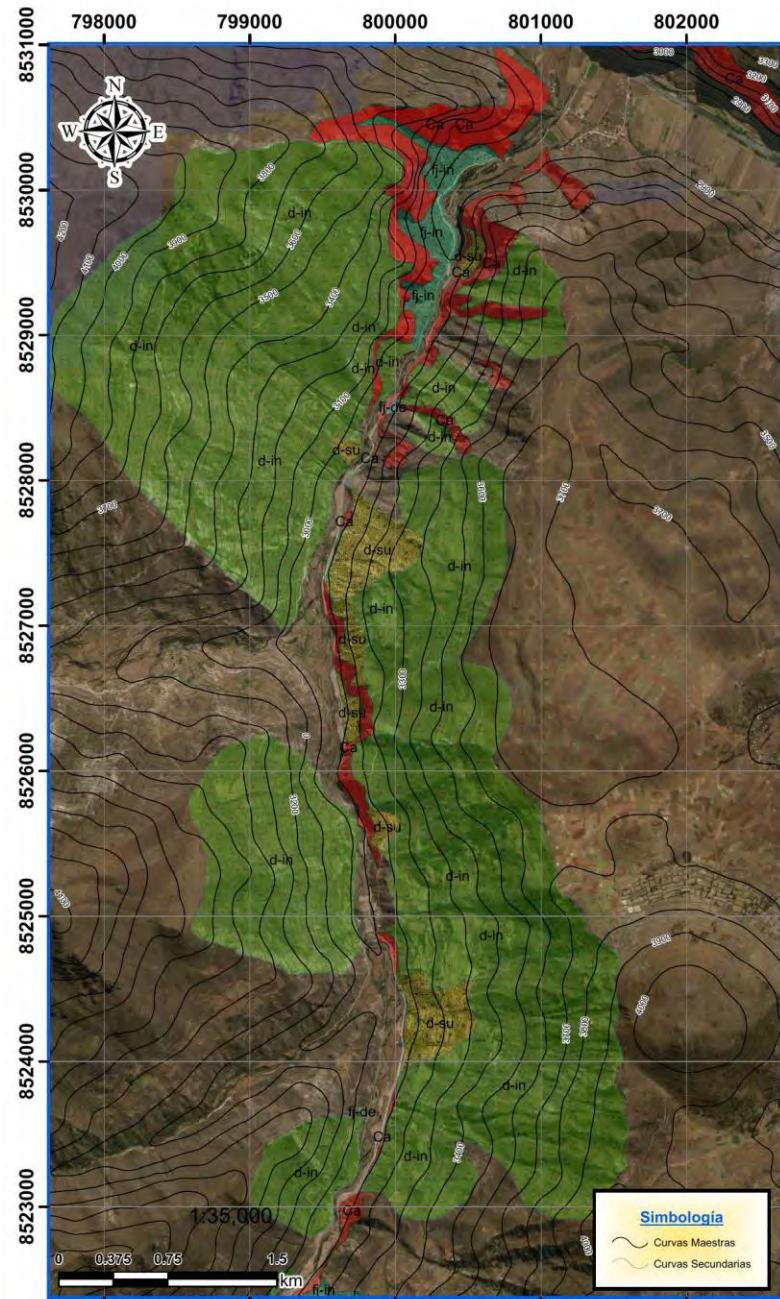
ESTUDIO GEOLÓGICO, GEOTECNICO E HIDROLOGICO PARA LA ESTABILIDAD DE TALUDES DEL TRAMO DE LA LÍNEA FERREA QUEBRADA POMATALES, DISTRITO DE HUAROCONDO, PROVINCIA DE ANTA, DEPARTAMENTO DEL CUSCO.

Mapa Geodinámico Regional

DEPT:	CUSCO	ELABORADO POR:	Bach. Pachacuteq Champi John Bach. Loayza Serna Fidel Ronald
PROV:	ANTA	DATUM:	WGS84
DISTR:	HUAROCONDO	ZONA:	18L
ESCALA	1/35 000	FECHA:	20/08/2024

06 a

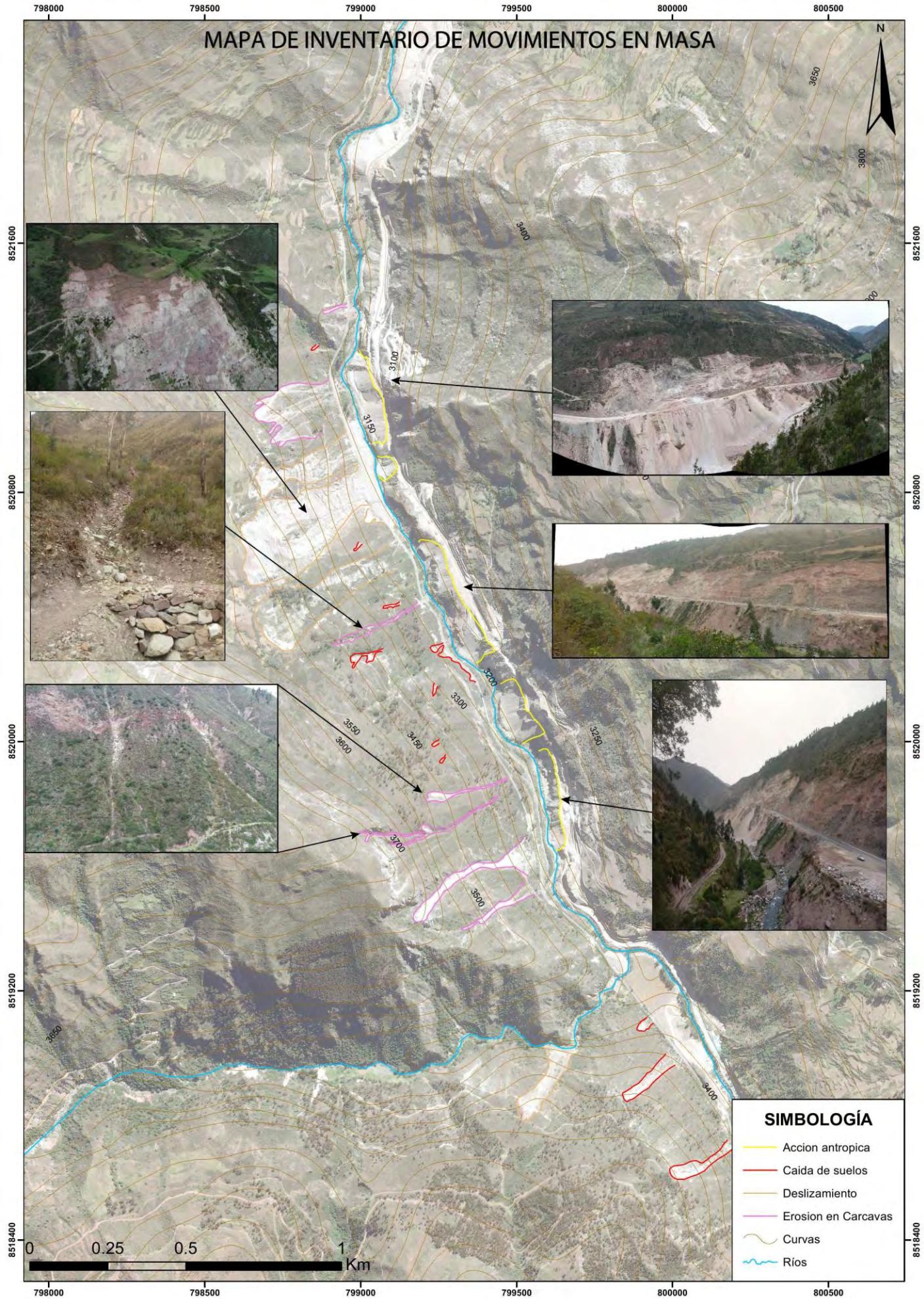
MAPA GEODINAMICO DE LA QUEBRADA POMATALES



Leyenda	
GEODINAMICA	
Ca :	Caida de Roca
d-ac:	Deslizamiento Activo
d-in :	Deslizamiento Inactivo
d-su :	Deslizamiento Suspendedo
f-j-in ;	Flujo de Detritos Inactivo
f-j-de:	Flujo de detritos activo

ESTUDIO GEOLOGICO, GEOTECNICO E HIDROLOGICO PARA LA ESTABILIDAD DE TALUDES DEL TRAMO DE LA LINEA FERREA QUEBRADA POMATALES, DISTRITO DE HUAROCONDO, PROVINCIA DE ANTA, DEPARTAMENTO DEL CUSCO.			
Mapa Geodinamico Local de la Quebrada Pomatales			Bach. Pachacutec Champi John Bach. Loayza Serna Fidel Ronald
DEPT:	CUSCO	ELABORADO POR:	
PROV:	ANTA	DATUM:	WGS84
DISTR:	HUAROCONDO	ZONA:	18L
ESCALA:	1/35 000	FECHA:	20/09/2024

06 b



CAPITULO VI.

HIDROLOGIA

6.1. INTRODUCCION

En el presente capítulo explica sobre el tratamiento de las variables hidrológicas, desde su obtención, de acuerdo a la utilidad al presente estudio, así como el tratamiento que debe realizarse para contar con datos apropiados para la ejecución del presente estudio. Todo el estudio presentado está basado en los requisitos necesario para obtener variables hidrológicas confiables tanto cualitativas como cuantitativamente.

El río Pomatales se encuentra en la quebrada del mismo nombre que une a la cuenca del río Vilcanota, tiene un caudal promedio de 3.90 m³/s., manteniendo la dirección SE-NOE hasta su desembocadura.

6.2. PARAMETROS HIDROLOGICOS

a) FORMA DE LA SUB CUENCA

Para saber la forma de la sub cuenca se utiliza los siguientes parámetros.

➤ COEFICIENTE DE CAPACIDAD O INDICE DE GRAVELIUS (KC)

Este indicador representa la proporción entre el perímetro de la cuenca y el perímetro de un círculo con igual área:

KC = - Perímetro de la cuenca

Perímetro del círculo de igual área

$$Kc = 0,28 \frac{P}{\sqrt{A}}$$

Donde:

KC = Coeficiente de Compacidad

A = Área de la Cuenca = 149.24 Km²

P = Perímetro de la cuenca = 50.25 Km²

Li = Largo total del curso del agua = 16.26Km

$$Kc = 0.282 \times 50.25 \text{ Km}$$

$$\sqrt{149.24 \text{ Km}^2}$$

$$Kc = 1.16$$

Por otra parte, el coeficiente de compacidad es un parámetro adimensional y nos da una proporciona una indicación de la geometría de la sub cuenca, pues si $KC = 1$, a cuenca presenta una configuración circular alargada, en resumen, se distingue tres clases de formas:

➤ PENDIENTE DE LA MICROCUENCA DEL RIO POMATALES

Dado que permite determinar la pendiente del río en distintos puntos de su curso, el perfil longitudinal del río es fundamental.

Por otro lado, la estructura topográfica de la microcuenca influye tanto en caudal máximo asociado al proceso erosivo. Ambos son proporcionales de manera directa con el incremento de la velocidad del flujo, lo que a su vez incrementa la capacidad erosiva, así como la cantidad y las dimensiones de los detritos desplazados. Esto se debe a que un aumento de la pendiente provoca un aumento de la velocidad del agua.

La penetración del agua, el flujo superficial y el contenido de humedad del suelo y las aguas subterráneas que llegan al río están intrínsecamente ligadas a la erosión del suelo, que aumenta con la inclinación del terreno.

La pendiente media de un río se obtiene por

$$Ir = \frac{HM - Hm}{1000Lr}$$

$$Ir = \frac{3900 - 2100}{1000(16.26)} = \frac{1800}{16260} = 0.11$$

$$0.11 \times 100 = 11.00\%$$

$$Ir = 11.00\%$$

Donde:

Ir = pendiente media del Río

HM = altura máxima en metros

Hm = altura mínima en metros

Lr = longitud del Río en km

Para efectos prácticos en trabajos de cuenca se utiliza siempre la pendiente media.

De acuerdo a la clasificación de pendientes en porcentajes 11% corresponde a un terreno de relieve accidentado medio. Según Venancio Guevara Crazas (manejo de cuencas).

➤ SISTEMA DE DRENAJE

GRADO DE RAMIFICACION

El grado de división en subcanales de la microcuenca tiene un drenaje dendrítico paralelo a sub paralelo cuyo curso principal de drenaje es de 3° orden.

DENSIDAD DE DRENAJE (Dd)

De acuerdo a la ley de Horton: la densidad de drenaje de la microcuenca del Río Pomatales es:

$$Dd = \frac{L_i}{A}$$

$$A$$

$$L_i = L_1 + L_2 + L_3 + \dots + L_n$$

$$L_i = 25.54 \text{ Km}$$

$$Dd = 25.54 \text{ Km}$$

$$149.24 \text{ Km}^2$$

$$Dd = 0.17 \text{ Km/Km}^2$$

Donde:

Dd = Densidad de drenaje

A = área de la microcuenca = 149.24 Km²

L_i = longitud de los ríos de la cuenca

Por consiguiente, la microcuenca del Río Pomatales tiene una ramificación de (grado medio).

➤ LONGITUD DE FLUJO DE SUPERFICIE

La longitud de flujo de superficie esta dado por:

$$L_o = \frac{1}{2Dd}$$

$$Dd = 0.17 \text{ Km/Km}^2$$

$$L_o = \frac{1}{2 \times 0.17}$$

$$L_o = \frac{1}{0.34} = 2.94 \text{ Km}$$

$$0.34$$

La pendiente del canal y del terreno, que tiende a alargar el recorrido real del flujo superficial, no se tienen en cuenta en la fórmula.

$Lo = 2.94\text{Km}$

➤ EXTENSION DE ESCURRIMIENTO SUPERFICIAL (S)

Este indicador muestra la longitud promedio del recorrido del agua precipitada en línea recta para llegar a un río.

$$Es = A \cdot 4Li$$

Donde:

Es = Escurrimiento

A = Área de la cuenca--149.24 Km²

Li = Largo total de los ríos de la cuenca= 25.54Km

$$Es = 149.24\text{Km}^2$$

$$4 \times 25.54\text{Km}$$

$$Es = 149.24\text{Km}^2 = 1.46\text{Km}$$

$$10216\text{Km. } Es = 1.46\text{Km}$$

Para mejor entendimiento e interpretación de las pendientes medias de los diferentes causes en la zona se procedió a tomar valores de cada cause existente en la microcuenca:

➤ DECLIVIDAD DE LOS ALVEOLOS

Determina la pendiente del cauce entre dos ubicaciones, resulta de la siguiente relación.

$$Ic = (HM - Hm)$$

$$1000L$$

Donde:

HM : Altura máxima (nacientes).

Hm : Altura mínima (desembocadura).

L : longitud total del Rio.

La inclinación de un terreno con respecto a un plano horizontal se denomina pendiente. Si bien suele expresarse como un porcentaje, también puede manifestarse como un ángulo simple. Para hallar las respectivas pendientes se utilizó el siguiente criterio de clasificación de pendientes.

6.2. CICLO HIDROLOGICO

El enfoque principal de la hidrología es el ciclo hidrológico. Este ciclo carece de inicio y término; todos sus procesos son continuos. Antes de condensarse y precipitarse sobre la superficie terrestre, el agua se evapora y entra en la atmósfera. Esta precipitación puede ser absorbida y retenida por la cobertura vegetal o transformada en flujo superficial, filtrarse en el suelo, moverse a través de él como flujo subterráneo o descargarse como escorrentía superficial en los ríos. A mayor proporción del agua que se infiltra, es interceptada o fluye como escorrentía superficial recarga los acuíferos, que luego emergen en manantiales o fluyen hacia los ríos para unirse a la escorrentía superficial. Este proceso es continuo e ininterrumpido.

6.3. TEMPERATURA

Esta variable hidrológica es muy importante, ya que interviene en toda las etapas del proceso del ciclo hidrológico, es el elemento fundamental para evaluar un determinado clima, para el presente proyecto, los datos de temperatura se obtuvieron de las estaciones meteorológicas que cuentan con esta información, además de indicar que la cuenca por la ubicación se encuentra dentro de la cuenca del Vilcanota, y se tiene ecuaciones según la altitud media para la obtención de temperaturas máximas, medias y mínimas, que contrastando con la información recopilada de la estaciones meteorológicas que cuentan con ésta información el grado de aproximación en los resultados es bastante aceptable.

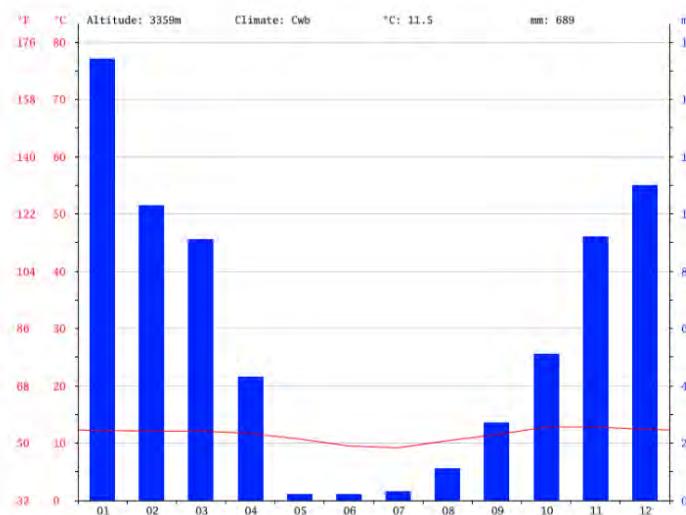


Imagen 10. Climograma de Huarocondo. Fuente: Climate.Data-ORG.

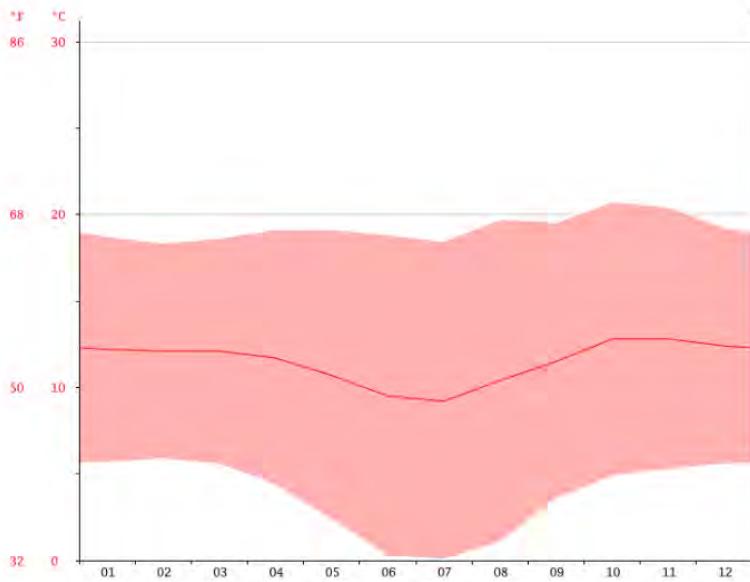


Imagen 11. Diagrama de temperatura de Huarocondo. Fuente: Climate.Data-ORG

6.4. RADIACION SOLAR

Es la emisión y propagación de energía solar en forma de ondas, dentro de la meteorología la rama dedicada a la cuantificación de las radiaciones solares es la actinometría. El ciclo energético que permite la existencia de la fauna y la flora tiene por origen las radiaciones solares que llegan a la tierra esta emite a su vez una parte de la energía recibida y ello en forma de rayos infrarrojos, por su parte la atmósfera, al hallarse impuesta entre ambos astros, representa un papel importante ya que absorbe ciertas radiaciones e intercepta, refleja o difunde otras. Todos los movimientos de la atmósfera que determinan los cambios del tiempo y que rigen los climas de esos intercambios de energía entre el sol, la superficie terrestre y la atmósfera.

Dentro de este contexto los actinómetros miden la intensidad de las radiaciones del sol llegadas a la atmósfera o al suelo, mientras que los heliógrafos se encargan de medir la duración de la insolación.

6.5. HUMEDAD ATMOSFERICA

El contenido de vapor de agua en la atmósfera se expresa mediante la humedad atmosférica. La cantidad de vapor de agua en la atmósfera, medida expresado en g/m³ de aire húmedo, se conoce como contenido absoluto de humedad. La cantidad de vapor de agua en un kilogramo de aire sin humedad se conoce como humedad específica.

La humedad relativa es la razón, expresada en porcentaje, entre la relación de mezcla más arriba definida y el valor que tendrá esa misma relación si el aire estuviera saturado de

vapor. Se halla comprendida entre 0 (aire absolutamente exento de vapor de agua) y 100 (aire completamente saturado). El indicador que representa más fielmente la percepción de humedad para los seres vivos en un ambiente húmedo es la humedad relativa. El higrómetro es el dispositivo empleado en estaciones meteorológicas para la medición del nivel de humedad del aire.

6.6. PRECIPITACION

Debido a que la mayoría de las estimaciones del índice de escurrimiento se basan en los datos de precipitación, la información referente a su intensidad media con el pluviómetro es de suma importancia, cuyos datos fueron tomados de la estación que pertenece a la UNSAAC y Urubamba al encontrarse más próxima a la zona analizada, periodos comprendidos entre los años de 1980 a 1995.

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Temperatura media (°C)	12.2	12.1	12.1	11.7	10.7	9.5	9.2	10.4	11.5	12.8	12.8	12.4
Temperatura min. (°C)	5.7	5.9	5.6	4.4	2.4	0.3	0.1	1.1	3.6	4.9	5.3	5.6
Temperatura máx. (°C)	18.7	18.3	18.6	19.1	19.1	18.8	18.4	19.7	19.5	20.7	20.4	19.2
Temperatura media (°F)	54.0	53.8	53.8	53.1	51.3	49.1	48.6	50.7	52.7	55.0	55.0	54.3
Temperatura min. (°F)	42.3	42.6	42.1	39.9	36.3	32.5	32.2	34.0	38.5	40.8	41.5	42.1
Temperatura máx. (°F)	65.7	64.9	65.5	66.4	66.4	65.8	65.1	67.5	67.1	69.3	68.7	66.6
Precipitación (mm)	154	103	91	43	2	2	3	11	27	51	92	110

Imagen 12. Datos históricos del tiempo en Huarocondo. Fuente: Climate.Data-ORG.

6.6.1. FORMAS DE PRECIPITACION

El agua acumulada en las nubes en forma de vapor condensado puede precipitarse sobre la tierra de diferentes formas cualquier sustancia resultante de la transición de vapor a líquido de agua atmosférica en el aire libre o la o la corteza terrestre es un hidrómetro, incluye también estas precipitaciones sin caída aparente, la niebla, el rocío, la escarcha y la helada. De los diversos hidrómetros que precipitan tenemos los siguientes.

a.- Llovinza:

Son pequeñas gotas de agua de menos de 0.5mm, pero muy numerosas que proviene casi exclusivamente de las nubes llamadas estratos, por sus velocidades de caída tan baja, ocasionalmente parece que estuviesen flotando. La lluvia cae por lo general de estratos

bajos. Sus intensidades son casi siempre menores que 1mm/h, presentándose en poca cantidad de nuestra zona, inclusive en días soleados.

b.- Garua:

Es la precipitación de gotas mayores de 0.5mm que pueden proceder de nubes muy diferentes: alto estratos nimbo estratos, estratocúmulos, cúmulos y cumulonimbos.

c.- Nieve:

Son cristales de hielo ramificad, frecuentemente en forma de estrella, y aglomerados en copos si la temperatura del aire no es inferior a -5°C

d.- Granizo:

Son granos de 5 a 50mm, con formas de bolas irregulares de hielo qu se producen por nubes convectivas, caen de los cumulonimbus.

6.6.2. MEDICION DE LA PRECIPITACIÓN

La columna vertical de agua que se forma sobre una precipitación determinada y permanece en el mismo lugar se utiliza para medir todo tipo de precipitaciones. La precipitación se mide en milímetros (mm) según el sistema métrico.

En el registro de precipitaciones tenemos como:

- Dato máximo de 994.39 mm dado en el año 1986
- Dato mínimo de 509.98 mm en el año de 1999.



Foto 14. Presencia de flujos de agua.

A continuación, mostramos registros de precipitación en las siguientes tablas, donde se resalta la máxima precipitación que se dio en el año 2000.

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	ACT	NOV	DIC	ACUM
1982	237.70	161.60	129.00	40.30	1.00	0.00	0.00	6.50	62.95	42.70	77.13	134.75	893.63
1983	148.66	121.69	163.51	94.20	12.21	0.00	4.75	5.79	48.69	41.29	62.37	206.29	909.45
1984	156.12	215.00	99.10	19.12	24.15	0.00	0.00	1.22	46.87	95.01	61.72	52.09	770.40
1985	72.19	125.60	140.97	17.18	3.62	0.44	14.16	34.58	20.90	78.71	79.65	140.22	729.22
1986	105.03	147.39	76.12	28.03	1.47	5.62	42.72	7.58	21.92	35.89	103.00	96.08	670.85
1987	216.49	125.77	115.91	20.42	0.32	3.68	11.05	0.32	18.14	30.22	80-95	93.81	717.08
1988	161.47	104.76	102.20	102.02	5.70	6.46	7.10	2.50	46.85	40.25	37.02	223.86	840.19
1989	128.97	137.16	99.10	40.73	1.82	1.60	0.32	8.68	0.00	66.87	47.46	152.79	685.50
1990	100.49	79.33	62.02	43.23	0.85	0.00	9.87	21.77	393.67	5.04	71.79	109.34	897.40
1991	241.10	145.25	149.67	102.30	19.10	0.00	11.29	10.70	6.90	31.55	107.30	96.71	821.87
1992	171.64	239.86	126.79	64.50	16.50	14.99	3.25	30.79	22.96	47.00	44.29	127.27	909.84
1993	121.60	168.35	111.99	73.96	31.56	1.46	0.00	0.10	42.19	80.21	43.05	159.54	834.01
1994	163.53	76.70	161.15	49.09	23.70	7.35	0.93	9.32	61.07	16.04	50.17	106.61	725.66
1995	117.55	210.17	83.10	62.63	4.01	0.21	0.21	2.70	40.21	86.35	175.90	68.60	851.64
1996	251.89	65.00	85.34	38.32	6.85	65.55	117.22	0.00	12,98	9.91	164.80	127.03	944.89
1997	167.58	100.01	177.76	37.40	21.01	0.00	5.99	17.57	12.69	22.05	133.70	139.44	835.20
1998	89.00	143.07	97.00	34.42	7.47	2.17	2.42	0.40	7.77	97.10	67.22	80.13	628.17
1999	219.17	73.23	117.76	39.41	0.00	4.21	0.00	12.44	46.84	107.30	112.50	134.31	884.98
2000	205.27	110.34	97.00	67.69	0.00	1.40	3.79	9.77	57.02	67.79	171.40	140.91	994.39
2001	153.89	95.52	117.57	23.60	0.52	35.72	0.69	11.00	2.20	37.16	59.80	170.82	651.16
2002	216.52	120.00	159.01	0.00	0.20	6.70	0.20	19.01	21.47	124.1'	81.35	100.43	777.18

Tabla 8. Registro de precipitaciones mensuales/año. Desde 1968 - 1988. FUENTE: SENHAMI

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	ACT	NOV	DIC	ACUM
2003	119.33	100.05	150.00	0.00	10.10	17.52	21.12	5.90	20.20	60.02	125.10	112.22	742.48
2004	100.12	111.03	180.63	2.03	6.62	0.00	3.21	10.31	10.51	34.64	112.00	85.14	626.24
2005	204.41	102.53	78.54	33.95	5.71	13.16	13.74	0.00	12.57	50.52	117.20	150.50	782.83
2006	220.81	105.80	214.90	78.23	3.05	0.00	0.00	0.00	18.55	48.44	55.18	115.10	868.06
2007	203.99	140.90	189.75	52.29	3.92	14.24	0.00	6.02	14.82	88.71	69.21	59.30	843.15
2008	29.034	84.96	59.40	100.64	11.21	32.03	0.00	6.46	17.39	100.60	103.70	100.45	910.87
2009	110.81	201.35	113.81	118.20	18.10	7.10	0.01	0.00	0.00	100.20	99.02	109.50	778.10
2010	145.11	122.13	83.02	45.23	11.94	6.11	70.20	31.47	0.55	64.53	117.30	62.66	760.25
2011	225.75	15.69	87.04	32.22	3.10	0.00	1.60	21.20	6.44	90.97	94.24	205.47	883.63
2012	187.20	215.13	215.00	56.10	14.11	0.00	0.09	0.00	19.00	11.12	41.92	163.22	931.89
2013	117.30	33.65	127.71	21.10	1.57	0.20	2.06	0.00	48.01	18.50	25.39	114.49	509.98
2014	155.10	89.91	44.62	25.53	8.91	0.00	0.00	9.00	14.69	56.19	60.60	141,25	605.80
2015	125.76	95.50	133.02	64.70	2.92	0.00	0.00	10.13	12.23	32.11	136.40	163.15	775.92
2016	140.53	168.17	49.30	31.59	3.45	3.09	0.00	5.63	2.00	77.08	64.10	63.01	607.95
2017	162.00	96.70	104.00	150.00	10.40	6.00	0.00	0.00	57.90	24.80	52.70	119.20	783.70
PROMEDIO	165.50	126.37	116.84	48.07	8.25	7.14	9.92	8.86	34.70	56.33	86.30	122.94	791.21

Tabla 9. Registro de precipitaciones mensuales/año. FUENTE: SENHAM

6.7. EVAPOTRANSPIRACION REAL (Er)

Se describe como la altura de la película de agua evapotranspirada en una cuenca hidrográfica durante un período específico. Debido a su estrecha relación con la humedad del suelo, tiende a un valor límite que depende de la temperatura promedio a medida que aumentan las precipitaciones. Esto se demuestra cuando la intensidad de las precipitaciones es tal que la evapotranspiración real iguala la evapotranspiración prospectiva. Cuando existe un nivel freático alimentado por aguas subterráneas, la evapotranspiración real adquiere mayor relevancia.

Según L. Turc. Nos permite calcular en función de la temperatura y la precipitación.

$$Er = P / (0.9 + P^3 A^2)^{5/2}$$

DONDE:

Er: evapotranspiración real anual en mm

P: Altura de precipitación anual en mm

L: $300 + 225T + 0.05T^3$

T: Temperatura media en EC.

L: $300 + 25(11.35 + 0.05)(11.35)^3$

L: 656.86

De acuerdo a la precipitación obtenida se tiene

$$Er = 864.3 / (0.9 + 864.3^2 / 656.86^2)^{5/2}$$

$$Er = 532.86 \text{ mm/año}$$

6.7.1. EVAPOTRANSPIRACION POTENCIAL (Ep)

Muestra cuánta agua se evaporaría y transpiraría si hubiera suficientes reservas de agua para compensar las mayores pérdidas.

Según L Sierra propone una formula basada únicamente en la temperatura media anual.

$$Ep = 270 * e^{5.56447}$$

Dónde:

Ep: Evapotranspiración potencial anual en mm.

T: Temperatura anual media en LC

Luego se tiene:

$$Ep = 270 * e^{5.56447}$$

$$Ep = 560.79 \text{ mm/año}$$

6.7.2. INFILTRACION

Es la cantidad de agua infiltrada en el suelo y el subsuelo para abastecer de agua subterránea. La infiltración se puede calcular directamente con un infiltrómetro o mediante fórmulas matemáticas. En este trabajo se utilizaron las siguientes fórmulas para calcular la infiltración:

$$I = Q * t / S * 1000$$

Donde:

I: Altura de agua infiltrada anual en mm

Q: Caudal medio en m^2/seg

T: Tiempo = 365 días = $31536 * 10^2 \text{ seg}$

S= Superficie de la microcuenca en m^2

Remplazando se tiene:

$$I = 3.94 * 10^3 * 31536 * 10^3 / 680000 * 1000$$

$$I = 182.72 \text{ mm/año}$$

6.8. BALANCE HIDRICO

El balance de agua de la zona de estudio su objetivo es registrar los ingresos y egresos de agua, la determinación del balance se realiza utilizando los elementos hidrológicos de grandes periodos, con el objeto de lograr una primera aproximación del balance hídrico. La expresión general del balance hídrico es:

$$P = R + E_r + I$$

Donde:

P= Altura de precipitación en mm/año

R= Arroyamiento o escurrimiento superficial en mm/año

E_r= Evaporación real en mm/año

I= Infiltración en mm/año

De acuerdo con la información obtenidos a partir de los centros de observación climático se tiene.

P= 864.3mm/año

La evapotranspiración real (E_r) se determinó mediante L. Turc.

E_r= 532.86mm/año

La escorrentía superficial que se tomara en cuenta para el cálculo del balance hídrico, será aquella obtenida por el método de JUSTIN.

Ce= 422.69mm/año

La infiltración se determinó mediante expresiones matemáticas cuyo resultado es el siguiente.

I= 182.72mm/año

BALANCE HIDRICO APARTIR DE LA PRECIPITACION MICROCUENCA POMATALES	
APORTES	GASTOS
Millones de m ³ /año	Millones de m ³ /año
Precipitación:	Evapotranspiración Real

0.8643m*68*10 ⁴ m ² /10 ⁵ =0.59	0.53286m*68*10 ⁴ *m ² /10 ⁵ =0.36
	Infiltración 0.18272m*68*10 ⁴ m ² /10 ⁵ =0.12
	Escorrentía Superficial: 0.42269m*68*10 ⁴ m ² /10 ⁵ =0.29
Aporte totales =0.59	Gastos totales 0.77

Tabla 9. Balance Hídrico por precipitaciones en la microcuenca Pomatales.

6.9. INVENTARIO DE RECURSOS HIDRICOS

La identificación y la valoración de los recursos hídricos forma la base primordial en investigaciones hidrológicas, además de definir la red hidrográfica, podremos realizar estudios globales de los acuíferos.

CUADRO DE INVENTARIO Y SEGUIMIENTO DE MANANTIALES							
Nombre de la fuente	1ra campaña		2da campaña		3ra campaña		Caudal promedio
	fecha	Caudal	Fecha	caudal	Fecha	caudal	
Sin nombre	21/07/20 10	0.6	02/08/201 0	0.8	07/09/20 10	0.9	0.76
Sin nombre	21/07/20 10	0.9	02/08/201 0	1.0	07/09/20 10	1.2	1.03
HUAMANMARCA	21/07/20 10	0.5	02/08/201 0	0.6	07/09/20 10	0.7	0.60
AMPARAQUI	21/07/20 10	0.8	02/08/201 0	0.8	07/09/20 10	1.0	0.87
ANAPAHUA	21/07/20 10	0.7	02/08/201 0	0.7	07/09/20 10	0.9	0.76
			SUMA TOTAL				4.02

Tabla 10. Inventario de recursos Hídricos. FUENTE: Quispe. L Mery, Canahuire, Vidadal

6.10. ESCORRENTIA SUPERFICIAL

La cantidad de agua que corre sobre la superficie terrestre como resultado de la lluvia que escapa a la evapotranspiración y la infiltración, es decir, el agua que emerge en la superficie terrestre y la atraviesa, se conoce como escorrentía superficial.

Inicialmente cuando el terreno no se deslizaba el agua de escorrentía era mayor a lo que circula en la actualidad, también debido a que las quebradas pequeñas o acequias naturales

en parte se han destruido; a mayores precipitaciones mayor es la saturación en la masa deslizada, dando como resultado su aceleración y avance.

Para el cálculo de la escorrentía superficial utilizamos la expresión matemática de JUSTIN.

$$Ce = 0.183 * S^{0.155} * P^2 / (160 + 9T)$$

Dónde:

Ce= Escorrentía superficial en mm/año

S= Pendiente media de la Microcuenca

P= Precipitación en mm/año

T= Temperatura anual promedio en EC

$$Ce = 0.183 * 0.258^{0.155} * 864.3^2 / 160 + 9(11.35)$$

$$Ce = 422.69 \text{ mm/año}$$

$$\% \text{ de Escurrimiento} = Ce * 100 / P$$

$$= 48.9\%$$

6.11. INFLUENCIA DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS EN EL COMPORTAMIENTO GEODINAMICO

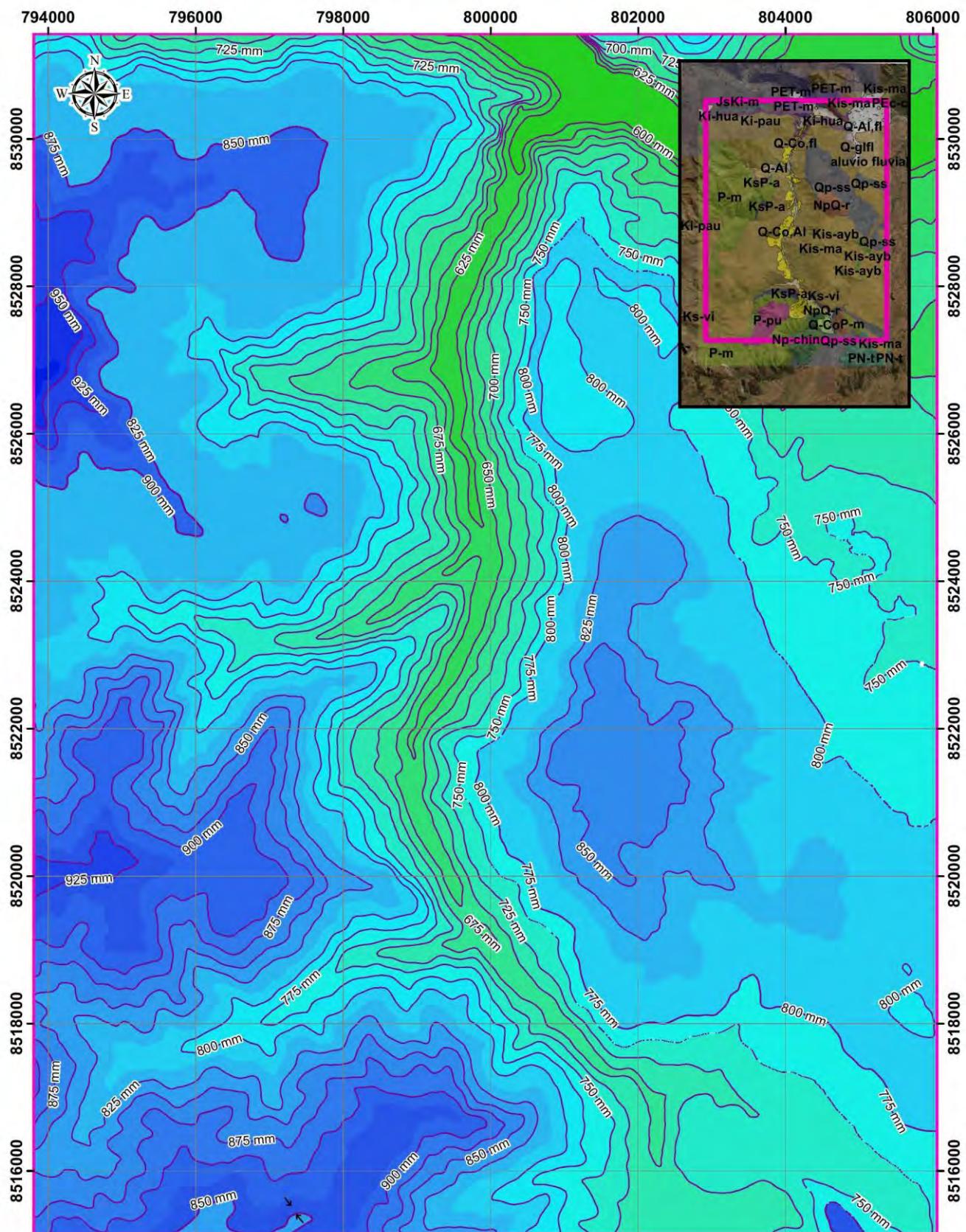
Las condiciones fundamentales para la separación y su desplazamiento hacia abajo por la pendiente son:

- El aumento del gradiente hidráulico y las velocidades de filtración de las aguas subterráneas dan lugar a elevar el nivel de las aguas subterráneas después de las lluvias. Lo que genera saturación de los niveles permeables superficiales y la formación de presiones de poro negativos, incidiendo en la alteración tensional del cuerpo de los deslizamientos, los que en algunos casos se traduce en la formación de derrumbes en épocas de intensa precipitación pluvial.
- El corte de la base de la pendiente, por la saturación superficial que conduce al aumento inadmisible para las condiciones dadas de la pendiente de la ladera y a la pérdida de apoyo en la base de esta forma se generan los deslizamientos en zonas donde la pendiente es mayor a 50°.
- Los procesos de interacción entre suelo y zonas saturadas se ven incrementada en época de lluvias, donde existe mayor incremento de la zona de recarga a través de las formaciones con porosidades primarias caso de los afloramientos de areniscas de la formación Huancané, y secundarias propias de zonas afectadas por fallas regionales y locales

6.12. INCIDENCIA DEL AGUA EN LA INESTABILIDAD DEL TALUD

- a) **Presión intersticial:** El agua infiltrada incrementa la presión interna del suelo, lo que disminuye la cohesión entre las partículas y debilita la estructura del talud. Este fenómeno resulta especialmente problemático en suelos altamente porosos e inconsolidados, como los presentes en la quebrada Pomatales.
- b) **Erosión superficial:** La escorrentía superficial, especialmente en épocas de lluvias intensas, desgasta las laderas y socava las bases de los taludes. Este proceso debilita aún más la estructura de los taludes, favoreciendo el deslizamiento del material y poniendo en riesgo las infraestructuras cercanas
- c) **Saturación del suelo:** La saturación de suelos como arcillas y limos disminuye la fricción interna y aumenta el peso del material. La acumulación de agua en los taludes reduce la resistencia del suelo, lo que eleva la probabilidad de deslizamientos masivos y colapsos.
- d) **Movimientos en masa:** La infiltración de agua subterránea puede reactivar deslizamientos previos o provocar nuevos movimientos en masa, especialmente en zonas con pendientes pronunciadas. El agua contribuye a la pérdida de estabilidad de las capas superficiales del talud, facilitando el deslizamiento de grandes cantidades de material.
- e) **Aumento de la susceptibilidad a flujos de detritos:** La combinación de lluvias intensas y suelos poco consolidados facilita la formación de flujos de detritos. Estos flujos, compuestos por barro y piedras, pueden transportar grandes cantidades de material, impactando áreas cercanas y causando daños considerables tanto a la infraestructura como al medio ambiente.
- f) **Aceleración de la erosión en los bordes de las quebradas:** El agua que circula por las quebradas actúa como un agente erosivo, debilitando las márgenes y las laderas cercanas. Esto puede provocar la caída de grandes bloques de material, especialmente en las áreas donde el suelo entra en contacto con las rocas, lo que aumenta el riesgo de nuevos deslizamientos y colapsos.

MAPA DE ISOHETAS DE LA QUEBRADA POMATALES



1:50,000
0 0.75 1.5 3 km



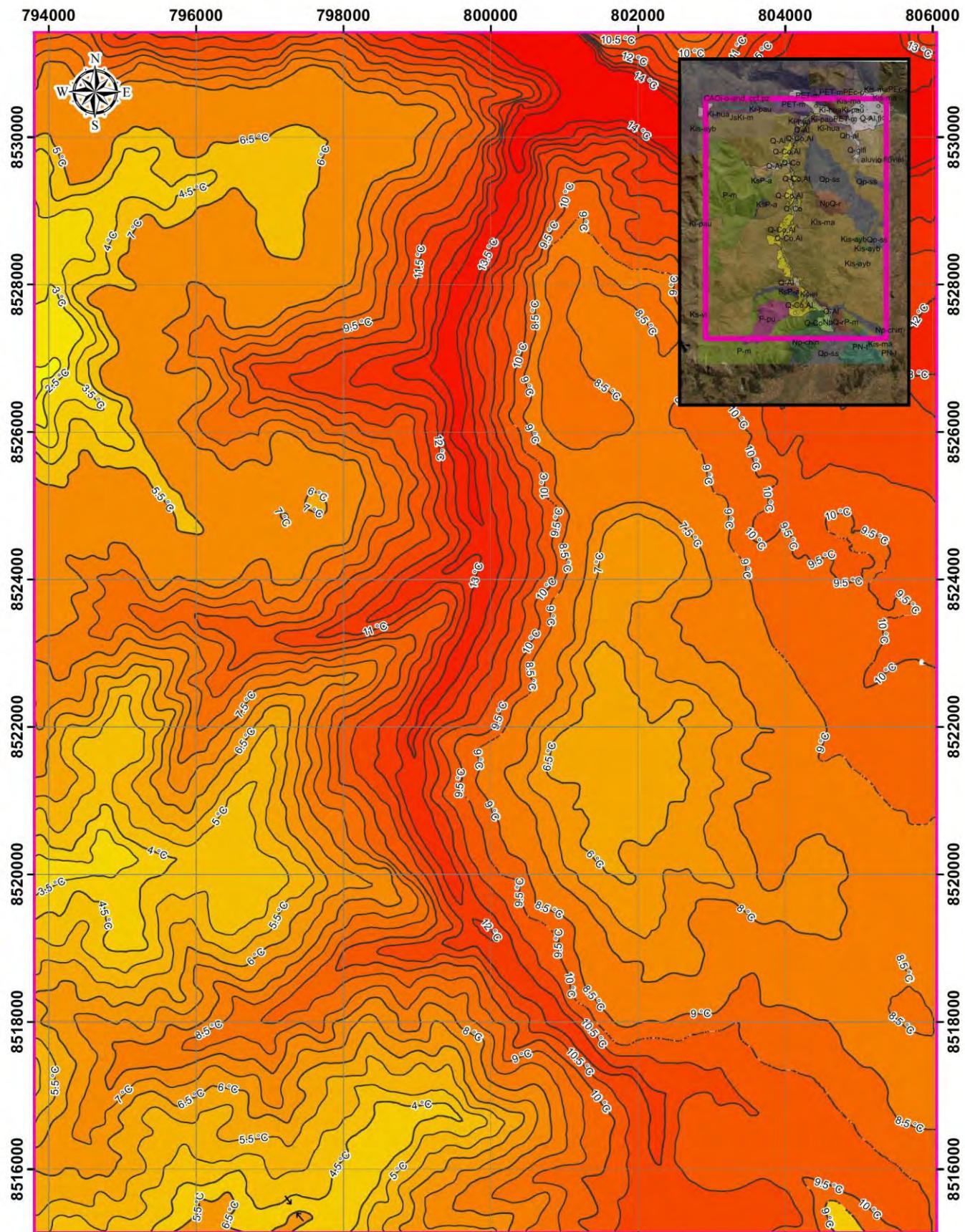
ESTUDIO GEOLÓGICO, GEOTÉCNICO E HIDROLOGICO PARA LA ESTABILIDAD DE TALUDES DEL TRAMO DE LA LÍNEA FERREA QUEBRADA POMATALES, DISTRITO DE HUAROCONDO, PROVINCIA DE ANTA, DEPARTAMENTO DEL CUSCO.

Mapa de Isohetas de la Quebrada Pomatales (precipitación)

DEPT:	CUSCO	ELABORADO POR:	Bach. Pachacute Champi John Bach. Loayza Serna Fidel Ronald
PROV:	ANTA	DATUM:	WGS84
DISTR:	HUAROCONDO	ZONA:	18L
ESCALA	1/50 000	FECHA:	20/09/2024

07-a

MAPA DE ISOTERMAS DE LA QUEBRADA POMATALES



1:50,000

Simbología

Curva de Isoterma

Temperatura media anual

Grados Celsius

High : 15.171 °C

Low : 1.673 °C

**ESTUDIO GEOLOGICO, GEOTECNICO E HIDROLOGICO PARA LA ESTABILIDAD DE
TALUDES DEL TRAMO DE LA LINEA FERREA QUEBRADA POMATALES, DISTRITO DE
HUAROCONDO, PROVINCIA DE ANTA, DEPARTAMENTO DEL CUSCO.**

Mapa de Isotermas de la Quebrada Pomatales (Temperaturas)

DEPT:	CUSCO	ELABORADO POR:	Bach. Pacachutec Champi John Bach. Loayza Serra Fidel Ronald
PROV:	ANTA	DATUM:	WGS84
DISTR:	HUARCONDO	ZONA:	18L
ESCALA:	1/50 000	FECHA:	20/09/2024

08

CAPITULO VII.

GEOTECNIA

La mecánica de suelos y rocas, así como numerosas facetas de la geología, la geofísica, la hidrología y otras ciencias afines, se incluyen en la ingeniería geotécnica. Los geólogos y los ingenieros geotécnicos utilizan la ingeniería geotécnica para resolver problemas de ingeniería.

7.1. INTRODUCCION

El estudio del material superficial (suelo) se ha realizado con la finalidad de evaluar las condiciones del suelo en la zona deslizada, estabilidad y resistencia; el flanco derecho de la quebrada presenta un talud con mejores condiciones de estabilidad en su parte baja, para lo cual se ha realizado algunos estudios:

7.2. DESCRIPCION DEL MATERIAL DESLIZADO

La descripción está basada en el análisis físico del suelo; en cada pozo se utilizó el sistema unificado de Clasificación de Suelos (SUCS), que puede ser aplicado tanto en laboratorio como en el campo donde se observa que el suelo de masa deslizada en ambos flacos de valle del río Huarocondo, pertenecen a un suelo de tipo GC – GM, GC, GP – GM, CL; es decir que se trata de materiales transportados gravitatoriamente, cuyos clastos en su mayoría lo conforman yesos, calizas.

7.3. PROPIEDADES MECANICAS DE LOS SUELOS

7.3.1. GRANULOMETRIA

El análisis granulométrico se realizó para verificar las condiciones de permeabilidad del terreno ya que presenta niveles freáticos en superficie, también sirvió para evaluar la homogeneidad y selección de los materiales que presenta la zona; para realizar los ensayos granulométricos se siguió los siguientes pasos:

- Luego de haber obtenido la muestra de campo hacer secar al tiempo o al horno.
- Pesar la muestra para luego proceder al lavado en las mallas 20 y 200 por un espacio de 10 a 15 minutos para luego llevar al horno donde permanecerá 7 horas como mínimo para obtener una muestra seca.
- Posteriormente se efectúa el tamizado por las siguientes mallas N°1, N° 3/8”, N°4, N°10, N°40, N°200 y la base.
- Se pesa las partículas retenidas en cada malla que representa un porcentaje de su peso de la muestra.

7.3.2. LIMITES DE CONSISTENCIA DEL SUELO

El contenido de agua del suelo en un límite específico o la relación de vacíos asociada se utilizan normalmente para expresar las restricciones de consistencia.

Atterberg, científico especializado en suelos agrícolas, propuso cinco límites, dos de los cuales son el límite de Atterberg: líquido y plástico. Estos parámetros se emplean ampliamente en diversas regiones del mundo, principalmente para la clasificación e identificación de suelos.

A. LIMITE LIQUIDO:

El límite líquido se determina midiendo la humedad y el número de golpes necesarios para cerrar una determinada longitud en la ranura de la cuchara de Casagrande en un determinado ancho. Uno de los instrumentos de mayor uso es la cuchara de Casagrande, que fue utilizado para las pruebas de límite líquido, el procedimiento es el siguiente:

- Tamizar la muestra de suelo en la malla N° 40 para luego amasar con agua destilada y hacer saturar 4 horas, luego colocar en la cuchara de Casagrande.
- Se hace una superficie plana con la espátula para hacer una ranura en el acanalador que es la mitad de la cuchara de Casagrande.
- Luego se hace girar la manivela para que se deje subir y caer la cuchara y se cuenta el número de golpes que la cuchara cae hasta que la ranura se cierre en unos tres cm. De longitud.
- Seguidamente se coge la muestra del cierre de la ranura con el fin de calcular la proporción de humedad. El experimento se repite varias veces añadiendo agua o suelo para obtener un mejor resultado de dicho ensayo los números de golpes no tienen que ser menores de 15 golpes.

B. LIMITE PLASTICO:

Se define como el mínimo contenido de agua con la cual un suelo se puede moldearse en forma de cilindros de tres mm. de diámetro sin que se fracture o desmorone, para realizar el ensayo de límite plástico la muestra debe ser tamizada por la malla N° 40 y saturada con agua destilada, el procedimiento es el siguiente:

- Sobre una lámina de vidrio se frota la muestra con la mano hasta formar pequeños cilindros que tengan como máximo 3 mm. de diámetro.
- Esta operación debe repetirse hasta que la muestra de forma cilíndrica no se quiebre.

- Pesar las muestras y hacerlos secar en horno y volviendo a pesar es como se establece el porcentaje de humedad correspondiente al límite plástico.

Para la clasificación de los suelos también se ha requerido el coeficiente de plasticidad, que resulta de la diferencia entre los contenidos de agua de los límites líquido y plástico, cuyos resultados se muestran en el cuadro.

7.4. CARACTERISTICAS Y RESISTENCIA DEL SUELO

7.4.1. ENSAYO DE CORTE DIRECTO

La finalidad de este ensayo es cuantificar la resistencia al corte del suelo. Para determinar su capacidad portante, se deforma una muestra dentro de un rango de deformación predeterminado.

CARACTERISTICAS.

a) Las características de resistencia de los materiales drenados y consolidados se pueden determinar con relativa rapidez mediante el ensayo de corte directo. En comparación con otros ensayos de drenaje, la presión de poros excesiva se disipa más rápidamente debido a las estrechas vías de drenaje a través de las muestras. Para este ensayo se puede utilizar cualquier tipo de suelo inalterado, remoldeado o compactado.

b) En condiciones de campo, una vez alcanzada la consolidación total bajo las presiones normales aplicadas, los resultados de los ensayos permiten estimar la resistencia al corte. Al agotarse las condiciones, la falla se produce gradualmente, liberando la presión de poros adicional. La relación entre las tensiones de consolidación y la resistencia al corte en condiciones drenadas puede expresarse mediante los resultados de múltiples ensayos.

Se eligió el lugar en el campo para la obtención de la muestra. Esta muestra fue tallada en sección cuadrada con dimensiones mínimas de 20 cm. Donde la superficie superior e inferior debe ser marcada claramente con las letras S e I correspondientemente, conservando la humedad natural, protegiéndolas en bolsas de polietileno.

La prueba se desarrolló de la siguiente manera:

- Se talló tres muestras en cubos de 5.5 cm.
- Luego se colocó la muestra en la caja de cizallamiento entre placas porosas, para facilitar su posible drenaje.
- Despues se aplica a una fuerza normal en la caja de cizallamiento., como también horizontalmente mediante un diámetro que esta aplicado a una manivela.

- En el mismo instante en que la muestra se rompe se mide la deformación, las fuerzas horizontales transmiten a la muestra un esfuerzo tangencial (τ).
- Se repiten estos ensayos con diferentes pesos de 1250, 2500, 3750 gr. Respectivamente.

CÁLCULOS.

Realice los siguientes cálculos.

- Esfuerzo cortante sobre el espécimen.

$$\tau = F/A$$

Donde:

τ : Esfuerzo cortante (kPa).

F: Fuerza cortante (kN).

A: Área corregida (m²).

- Esfuerzo normal sobre el espécimen.

$$\sigma = F/A$$

Donde:

σ : Esfuerzo normal (kPa).

F: Carga normal sobre el espécimen (kN).

A: Área corregida. (m²).

FORMULA DE LA COHESIÓN

$$c = 4\pi K \tau \frac{r}{d} \cos \alpha$$

Donde:

- C: cohesión, expresada en fuerza por unidad de superficie.
- K: constante determinada experimentalmente.
- r: radio de la partícula.
- T: tensión superficial del líquido.
- α = ángulo de contacto entre el líquido y la partícula.
- d: distancia entre las partículas

Nichols afirma que la fuerza cohesiva del suelo y su contenido de humedad están relacionados negativamente.

Finalmente, este resultado de la cohesión se muestra en la tabla 15.

7.4.2. ENSAYO DE COMPACTACION PROCTOR

Este ensayo se realiza para obtener el peso específico seco máximo y contenido de humedad óptimo. El procedimiento es el siguiente:

- El propósito de este ensayo es determinar el peso específico seco máximo y el contenido de humedad óptimo. El procedimiento se describe a continuación:
- Luego tomar una porción de la muestra para colocar en un molde cilíndrico hasta llenar dicho molde, una vez de haber sido llenado el molde se procede a golpear con el pistón hasta formar una capa de suelo con 25 golpes, de dicha capa se extrae una porción de muestra para obtener el contenido de humedad.
- Este mismo procedimiento se hasta formar 5 capas, para cada capa de suelo se agrega 250 ml. de agua destilada y también se obtiene el contenido de humedad en cada capa.

7.4.3. DETERMINACION DEL ANGULO DE FRICTION INTERNA Φ

De acuerdo con la norma DIN n.^o 4094, se efectuaron pruebas utilizando el penetrómetro dinámico ligero (LDP) para determinar el ángulo de fricción interna Φ . El número de impactos obtenidos con el LDP (N2) se tradujo a un valor equivalente para el ensayo de penetración estándar (SPT) (N1) utilizando el método del penetrómetro dinámico.

Estas conversiones se han realizado aplicando la fórmula de Esopt

$$\frac{W_1 * H_1 * A_2 * e_2}{N_1 = N_2} \frac{W_2 * H_2 * A_1 * e_1}$$

<i>Penetro metro</i>	<i>sub. Índice</i>	<i>Peso (Kg.)</i>	<i>Caida (cm.)</i>	<i>H</i>	<i>Af (cm²)</i>	<i>Penet. (cm.)</i>	<i>E</i>
<i>SPT</i>	<i>I</i>	<i>73.5</i>	<i>77</i>		<i>20.2783</i>	<i>5</i>	
<i>PDL</i>	<i>2</i>	<i>18</i>	<i>75</i>		<i>5.7203</i>	<i>8</i>	

Tabla 11. Datos para el cálculo del Ángulo de fricción interna

Para calcular el Angulo Φ , a partir del N2, se utiliza las fórmulas de Dugan y Ozakl.

En los cuadros siguientes se describen los registros de observación de campo y los resultados obtenidos del ángulo de fricción Φ en los distintos puntos ensayados:

<i>POZO DE SONDEO</i>	<i>PDL – 1</i>	<i>PDL – 2</i>
<i>PROFUNDIDAD</i>	<i>1.00 – 3.00</i>	<i>1.00 – 3.00</i>
<i>N2 : PROMEDIO (PDL)</i>	<i>5</i>	<i>5</i>
<i>NI : EQUIV. A SPT</i>	<i>8</i>	<i>8</i>
<i>ANGULO DE Φ</i>	<i>28.80°</i>	<i>28.80°</i>

Tabla 12. Detalle de los datos de campo.

7.4. ESTUDIO DE CAMPO

Los depósitos aluviales presentes en los fondos de los valles y en las terrazas fluviales, os sedimentos transportados por gravedad de las laderas y parte de las terrazas, los depósitos de marismas de arcillas descalcificadas que ocupan depresiones formadas por procesos kársticos y los depósitos asociados antropogénicos de diversos tipos conforman la cubierta material cuaternario del sector de investigación.

La zona exhibe una topografía kárstica con redes de drenaje y un relieve abrupto con mayor acumulación de suelo; es endorreica, penetrando a través de dolinas o sumideros y pavimentos de caliza. Tras breves afloramientos superficiales en las zonas litológicas más detríticas (margas, areniscas y limolitas), se forman suelos residuales y coluviales en el relieve menos abrupto, con un drenaje notable. Las pendientes pronunciadas en estas zonas han causado o contribuido a la inestabilidad geológica.

En el lugar del proyecto, se excavado 02 pozos de exploración; efectuándose las prospecciones y ensayos respectivos. Habiéndose alcanzado con la excavación hasta una profundidad de 3.00 m.

El pozo de sondeo se apertura por el sistema "a cielo abierto" que permite un estudio más directo y de mejores resultados y observaciones.

En los mencionados pozos, se han ejecutado siguiendo las normas de trabajos y estudios.

1. Extracción de muestras, al estado inalterado.
2. Catalogación Estratigráfica y observaciones directas, de las características físicas del suelo.

7.5. ANÁLISIS Y ENSAYOS DE LABORATORIO

Se llevaron a cabo las siguientes pruebas y análisis de laboratorio en los materiales extraídos del suelo tomadas de los sondeos de exploración

DESCRIPCION DEL ENSAYOS	NORMA	NORMA
	ASTM	AASHTO
- Contenido de humedad	D 2217	T - 77
- Análisis Granulométrico	D E-11-70	T - 77
- Límites de Atterberg	D 4318	T - 89/90
- Clasificación SUCS	D 2487	T - 77
- Densidad Natural	D 1557	T - 191
- Densidad Mínima	D 1557	T - 191
- Compresión no Confinada	D 2177	T - 208

Tabla 13. Ensayos a usar. FUENTE: Normativa ASTM y AASHTO

7.5.1. RESULTADOS

7.5.1.1. IDENTIFICACION Y CLASIFICACION DE SUELOS

Basándose en los datos obtenidos de los ensayos de laboratorio y análisis granulométricos, así como en los límites de Atterberg, se ha completado el procedimiento de reconocimiento y clasificación de los diferentes tipos de suelo de conformidad con las directrices establecidas por el SUCS (Sistema Unificado de Clasificación de Suelos).

7.5.1.2. COMPRESION NO CONFINADA

Los índices de cohesión (C) y resistencia compresiva máxima se obtuvieron mediante ensayos de compresión uniaxial. De acuerdo con el formato del ensayo, las muestras se extrajeron de los pozos exploratorios Pz-1 y Pz-2. Se utilizaron dos probetas cilíndricas con una relación altura/base de 2:1 en el laboratorio, conforme a la norma ASTM D 2177.

En la tabla siguiente se muestra los resultados de los ensayos de Compresión Libre.

POZO	Pz - 1	Pz - 2
PROFUNDIDAD	-0.00 - 3.00 m	-0.00 - 3.00 m
ESPECIMEN	I	II
Qc kg/cm ²	4.44	4.35

$C : kg/cm^2$	0.444	0.435
---------------	-------	-------

Tabla 14. Valores obtenidos del ensayo de compresión simple. FUENTE: Propia

7.6. PARAMETROS GEOMECANICOS

Los materiales inconsolidados de cobertura o suprayacentes a la rasante del terreno presentan un horizonte de suelos orgánicos que constituyen el soporte de la vegetación nativa, su potencia es variable y presenta una tonalidad oscura y distribución de sistemas radiculares. Al horizonte descrito los suelos infra yacentes se presentan consolidados a pre consolidados por carbonatación que le confieren parámetros ingenieriles favorables que alcanzan profundidades variables.

A mayor soterramiento los suelos son inestables conformados por bloques o rodados de heterometria variable empacado en finos de escasa cohesión, por los acontecimientos estructurales como morfodinámicos estos presentan una distribución caótica; la fracción gruesa por las características genéticas y litotectónicas son inestables susceptibles a sufrir procesos acelerados de degradación física como química.

7.7. PARAMETROS GEOTECNICOS

Esta referida básicamente al comportamiento de la unidad evaporítica que sirve del basamento dominante de los sectores descritos y que se presenta agudamente fracturada, con bloques heterometricos y de distribución caótica presentando una elevada relación de vacíos(oquedades y cavernas); la fracción media como fina constituida básicamente por limos de baja plasticidad muestran relativa estabilidad en superficie por el comportamiento favorable por los carbonatos.

7.8. CONSTANTES DE PLASTICIDAD

Los procesos de desplazamientos de masas en los sectores críticos no se atribuyen a los problemas de plasticidad de la fracción fina del terreno (pasante la malla N° 40) o estas en la mayoría no contribuyen directamente a estos procesos morfodinámicos los que observan en los resultados que a continuación se detallan.

Nº	HUMEDAD %	LIMITES ATTERBERG		
		LL	L.P	I.P
1	11.39	25.06	19.71	5.35
2	12.35	26.40	19.72	6.69

3	9.42	28.47	21.07	7.40
4	8.53	25.89	21.48	4.41
5	7.04	25.96	21.65	4.30
6	7.65	34.70	24.73	9.97
7	11.11	24.48	21.65	2.83
8	10.51	25.13	24.73	4.49
9	12.03	26.54	21.65	5.17
10	11.16	25.13	20.84	4.29
11	14.96	27.39	21.72	5.67
12	13.41	27.85	23.08	4.77

Tabla 15. Resultados del ensayo de límites.

7.9. CLASIFICACION DE SUELOS

Por los parámetros descritos y la distribución porcentual de sus componentes evaluadas en laboratorio aplicando el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) los materiales presentan un predominio de la fracción gruesa y presencia de finos básicamente limos respecto a las arcillas en los sectores donde afloran rocas lutitas generadoras de la fracción plástica.

Los materiales descritos se caracterizan como gravas arcilla limosa (SUCS: GM-GC) que varían a gravas limosas (GM) gradando a arenas limosas en sectores aislados; los valores indicativos no completan la presencia de rodados o bolones de distribución dispersa y caótica que es un denominador a lo largo del talud de la vía

NUESTRAS Nº	HUMEDAD %	GRANULOMETRIA % PASANTE			GRUPO SUCS
		4	40	200	
1	11.39	75.2	68.5	37.5	SM
2	12.35	71.3	65.1	35.1	SM
3	9.42	38.6	37.3	22	GM-GC
4	8.53	47.1	20.25	4.50	GM-GC
5	7.04	40.2	35.8	25.3	GM
6	7.65	38.3	34.9	24.9	GM
7	11.11	46.8	45.3	21.8	GM-GC

8	10.51	46.8	44.2	26.5	GM-GC
9	12.03	40.5	37.4	19.9	GM-GC
10	11.16	42.4	37	21.1	GM-GC
11	14.96	38.7	34.9	24.9	GM
12	13.41	37.3	34.5	23.7	GM

Tabla 16. Resultados del ensayo Granulométrico.

7.10. COMPACTACION DEL TERRENO

La degradación química de los materiales constituye un fenómeno causante de los procesos de desplazamientos de masa, debido a la presencia de las rocas sulfatadas (yesiferas) asociado a la presencia de aguas pluviales, estas se ponen de manifiesto por los resultados obtenidos en la compactación Proctor Modificado (MDS) apreciándose en el siguiente cuadro.

Con la disposición de las partículas en el suelo generalmente se trata de optimizar para mejorar el comportamiento físico – mecánico del terreno que depende de las características del dispositivo para compactarlo y básicamente de la humedad que tiene el material. En el presente caso la disminución de contracción del terreno es irreversible por el comportamiento de sus componentes pétreos incrementando por lo contrario la permeabilidad del terreno.

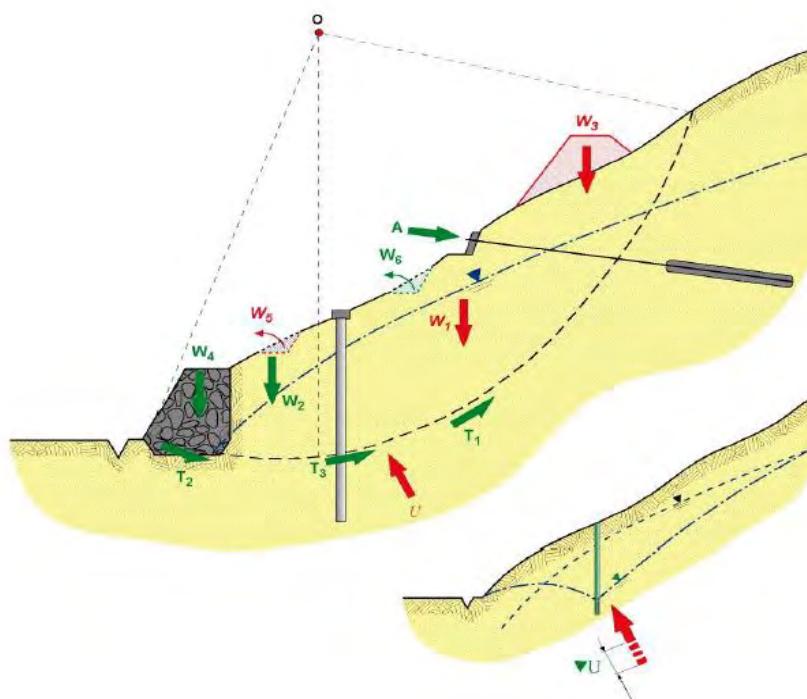
MUESTRAS Nº	HUMEDAD %	PESO VOLUMETRICO Tn/m ³		HUMEDAD OPTIMA (%)	PROCTOR MODIFICADO Kgrs/cc
		Natural	Seco		
1	11.39	1568	1408	11.80	1780
2	12.35	1603	1427	11.80	1780
3	9.42	1752	1601	10.50	1890
4	8.53	1675	1543	10.50	1890
5	7.04	1768	1652	9.60	1910
6	7.65	1799	1671	9.60	1910
7	11.11	1768	1591	9.97	1850
8	10.51	1768	1600	9.97	1850
9	12.03	1695	1513	10.50	1820
10	11.16	1558	1402	10.50	1820
11	14.96	1745	1518	12.60	1760

12	13.41	1654	1459	12.60	1760
----	-------	------	------	-------	------

Tabla 17. Resultados del ensayo de Proctor.

7.11. ESTABILIDAD DE TALUDES

La zona en general es aparentemente estable, pero es necesario considerar, el deslizamiento de rocas que se presenta fuerte a muy fuerte. En el flanco izquierdo se observó la presencia de deslizamientos antiguos estables que por acción de la sismicidad, el peso de la estructura y los cortes que se efectuaran rompan el equilibrio actual reactivándose en este caso se recomienda conservar el talud natural y realizar un drenaje adecuado para evitar la solubilidad de los yesos y calizas y de esta manera mejorar la estabilidad de zona.



ESTABILIZADORES

- T₁:** Resistencia al corte del terreno.
- W₂:** Pesos que originan "momento estabilizador".
- W₄:** Pesos que aumentan el "momento estabilizador".
- W₆:** Excavaciones que reducen el "momento volcador".
- T₂:** Aumento local de resistencia al corte (mejor material).
- T₃, A:** Fuerzas estabilizadoras externas.
- ▼ U:** Reducción de la presión de agua.

DESESTABILIZADORES

- W₁, W₃:** Pesos que originan "momento volcador".
- U:** Presión de agua.
- W₅:** Excavación que reduce el "momento estabilizador".

Imagen 13. Acciones estabilizadoras y desestabilizadoras en un talud.

7.11.1. CONSIDERACIONES GEOTECNICAS

La gravedad, el agua y la cohesión de los granos actúan a lo largo de un plano inclinado que separa dos materiales con consistencias muy distintas rocas del subsuelo y material

detrítico— para provocar deslizamientos de tierra. Uno de estos componentes presenta un comportamiento móvil, mientras que el otro presenta un comportamiento fijo. El movimiento de cada partícula en busca del reposo constituye el elemento móvil.

7.11.1.1. ANALISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES

Con el fin de efectuar un análisis riguroso, los ingenieros deben identificar con precisión los mecanismos de falla que causaron el deslizamiento de tierra en estudio o que podrían ocurrir en el futuro. Asimismo, deben tener conocimientos sobre ensayos de campo y laboratorio, técnicas de investigación de suelos, metodologías de exploración y posibles acciones correctivas y preventivas. La experiencia de campo mejora nuestra comprensión de los tipos de fallas de taludes y la mecánica subyacente, y sirve como base para su identificación y clasificación.

Las investigaciones y los avances en el estudio del comportamiento de suelos y rocas, que ofrecen técnicas para medir el coeficiente de seguridad y riesgo de falla, se aplican en el estudio y diseño de taludes de excavación y relleno. Si bien casi siempre es necesario simplificar el análisis, esto no cambia el hecho de que todo proyecto de diseño debe incluir algún tipo de análisis, por básico que sea. Sin embargo, al evaluar los resultados del análisis, es fundamental recordar la diferencia entre la realidad, los fenómenos complejos y el modelo teórico simplificado.

7.11.2. METODO PARA ESTABILIZAR TALUDES

Comprender las fuentes de inestabilidad es crucial para desarrollar estrategias exitosas de estabilización de taludes. La erosión hídrica superficial, las pendientes excesivamente pronunciadas por cortes o rellenos, la presión intersticial excesiva por la presencia de un nivel freático elevado o la obstrucción del drenaje, y la pérdida gradual de resistencia por meteorización y reptación son las causas más frecuentes.

Para identificar el origen del deslizamiento y desarrollar acciones correctivas, se requiere un análisis relacionado con geología y geotecnia integral y un programa de análisis integral de exploración del subsuelo. Se pueden utilizar perforaciones y los inclinómetros situados más allá del plano de falla para identificar la superficie de falla.

Se efectuó en la zona de estudio el análisis mediante modelamiento de la estabilidad del talud.

METODOLOGÍA:

El software Slide de Rocscience es el programa más completo para la evaluación de la estabilidad de taludes, permite realizar estudios de elementos finitos sobre la infiltración de agua subterránea, análisis de sensibilidad, análisis dinámico, análisis probabilístico y análisis de variabilidad geográfica. Los profesionales de proyectos de minería e ingeniería civil confían plenamente en este potente programa, aplicable a numerosos escenarios que pueden visualizarse simultáneamente en una pantalla de ordenador o proyector. El análisis determina la estabilidad del talud proyectado y, en caso de inestabilidad, propone una alternativa. Además, la investigación evalúa la condición presente del talud y ofrece sugerencias para aumentar el factor de seguridad si fuera necesario.

Se aplicaron los criterios de equilibrio límite para superficies de deslizamiento potenciales mediante el software Slide 6.0. Este método considera el equilibrio pseudoestático, que suele ser poco práctico e ignora las deformaciones y la distribución de presiones. Los cálculos de estabilidad de taludes toman en cuenta un factor de seguridad mínimo ($FS = 1,5$) para situaciones estáticas y un FS mínimo de 1,0 para condiciones pseudoestáticas. Para estas situaciones, se considera un coeficiente sísmico igual a la mitad de la aceleración sísmica de diseño. Se considera un intervalo de exposición sísmica de 50 años. Los estudios de estabilidad, fundamentados en los métodos equilibrio límite de Bishop, Spencer y Janbu, asumen superficies de falla circulares, planas o en bloques.

CRITERIOS GENERALES DE ESTABILIDAD EN SOFTWARE SLIDE 6.0:

Es fundamental mencionar los criterios empleados en la evaluación de taludes del software Slide 6.0, ya que esto permite comprender mejor su lógica y metodología. Los modelos analizados para la estabilidad de taludes consideraron las variables que rigen las condiciones de estabilidad en el diseño proyectado, las características geométricas del talud y los parámetros de cohesión y ángulo de fricción del suelo

Como ya se mencionó, el programa emplea el análisis de métodos de equilibrio límite para evaluar parámetros físicos. Examina la correlación entre la resistencia al corte disponible del suelo y el esfuerzo cortante necesario para conservar el equilibrio límite sobre las superficies que definen un posible mecanismo de colapso (círculos de falla). Pudimos determinar la estabilidad de un talud utilizando los modelos derivados. Además, el software nos permite evaluar y actualizar estos modelos, aplicando criterios de estabilidad y, finalmente, determinando posibles opciones para la estabilización del talud. El software evalúa la estabilidad de taludes considerando sus características geométricas, las del suelo (cohesión y

ángulo de fricción) y los factores que provocan deslizamientos (nivel freático). Los siguientes parámetros son necesarios para el análisis de estabilidad y corresponden a las características de los materiales que componen el talud:

- Peso unitario húmedo
- Peso unitario saturado
- Cohesión
- Ángulo de resistencia al corte
- Periodo de retorno de la sismicidad
- Tipo y características de la roca y/o suelo
- Angulo de talud evaluado (secciones o cortes geológicos)

Para la selección de los valores de estos factores, se consideraron los datos obtenidos de los resultados experimentales de laboratorio y de campo, observaciones de campo exhaustivas y evaluaciones relevantes para las condiciones geológicas y geotécnicas del lugar. Cabe destacar que, al evaluar taludes en condiciones pseudoestáticas, la duración del retorno sísmico es un factor prácticamente decisivo. De acuerdo con la norma sismorresistente E-030, en este caso se consideró un periodo de retorno de 50 años. El intervalo de retorno fue de 0,35, pero para el uso de programa, normalmente se debe asignar la mitad de este valor; en este , se utilizó 0,18. En definitiva, los resultados de estos análisis nos permitirán determinar la estabilidad de la ladera evaluada, teniendo en cuenta tanto las fuerzas geodinámicas internas como externas y el nivel de saturación del nivel freático. Considerando todos estos factores, obtenemos una evaluación práctica de la estabilidad de la ladera, lo que nos lleva a formular recomendaciones para su estabilización.

SISTEMA TERRAMESH

El Sistema Terramesh es una tecnología de suelo reforzado que consiste en la combinación de un muro de gaviones (malla de alambre de doble torsión) y relleno de suelo para crear estructuras de contención de suelo estables y duraderas. Es una solución modular y versátil para la construcción de muros de contención verticales, inclinados o escalonados, utilizado en proyectos de infraestructura para el control de erosión, estabilización de taludes y soporte de carreteras y otras obras civiles

COMPONENTES PRINCIPALES:

- **Malla de doble torsión:**

Forma la estructura modular del sistema, actuando como la fachada frontal y proporcionando refuerzo interno a través de la fricción y el entrelazamiento con el relleno.

- **Relleno de suelo:**

El suelo se compacta sobre las mallas horizontales, creando una masa resistente que interactúa con la malla para dar estabilidad a la estructura.

- **Geomallas (opcional):**

En estructuras de gran altura, se pueden incorporar geomallas de refuerzo en el relleno para optimizar la construcción, mejorar la capacidad de carga y la estabilidad.

Características y beneficios

- **Flexibilidad y adaptabilidad:**

El sistema se adapta a diferentes condiciones del terreno y puede construirse con distintas alturas y pendientes.

- **Estabilidad y resistencia:**

La interacción entre el suelo y la malla genera una estructura fuerte capaz de soportar cargas significativas.

- **Drenaje:**

La naturaleza permeable de las mallas permite el drenaje del agua, lo cual es esencial para la estabilidad a largo plazo de la estructura.

- **Rapidez de instalación:**

Los paneles prefabricados se ensamblan rápidamente en el sitio, lo que reduce los tiempos de construcción.

- **Integración ambiental:**

Especialmente la variante Terramesh verde, permite la integración con vegetación, promoviendo un menor impacto ambiental y la recuperación ecológica de terrenos.

- **Solución económica:**

Al utilizar materiales disponibles localmente para el relleno y reducir los tiempos de construcción, el sistema puede ser más económico que otras soluciones tradicionales.

SISTEMA CONSTRUCTIVO:

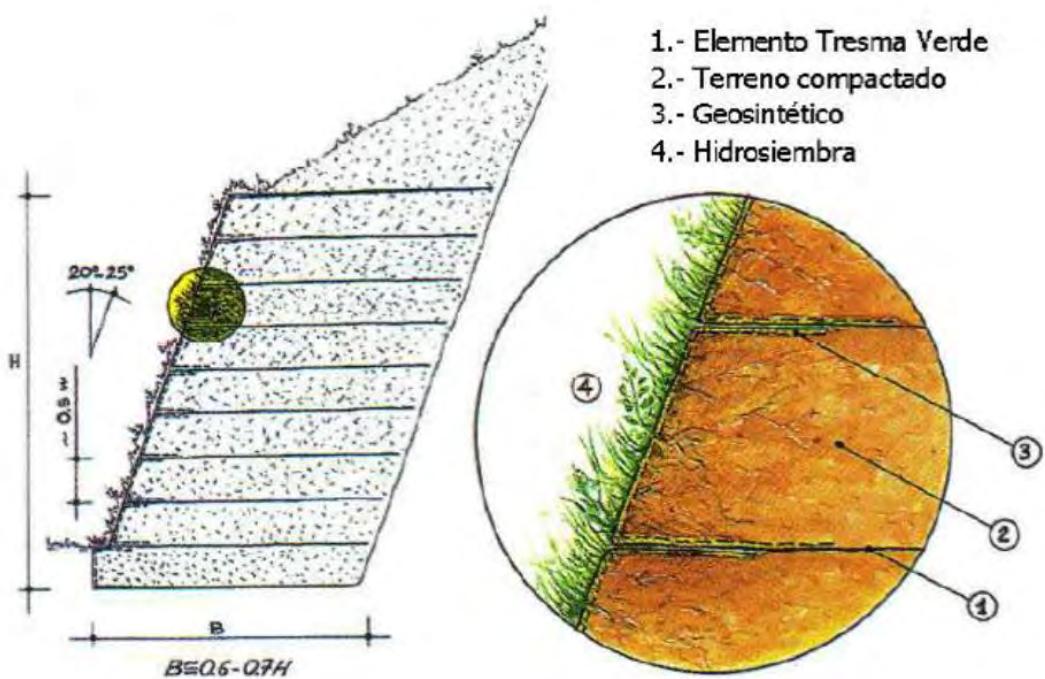


Imagen 14. Partes del Sistema Terramesh

La utilización del sistema Terramesh lo utilizaremos como cuña y así estabilizar el talud con un muro seco de 2 metros con una geomembrana de 04 metros y así también la utilización de subdrenes en profundidad para que el agua no pueda penetrar y afectar mas la zona critica de nuestro talud

Drenaje

En la mayoría de las laderas de suelo o roca se observa un grado específico de meteorización medio a alto, el agua es la principal causa de inestabilidad. Por ello, se han implementado numerosos sistemas de drenaje con diversos objetivos.

- **Drenajes transversales o interceptores:** Para evacuar el agua que podría filtrarse en la estructura de la ladera o causar erosión a diferentes niveles, se colocan drenajes en la superficie de la misma. Estos drenajes se ubican generalmente a distintas alturas a lo largo de la ladera, al pie de la misma para recoger el agua proveniente de otros drenajes, y en la cima para evitar que el agua alcance la estructura (grietas de tensión).

- **Drenaje de contrafuerte:** formado por material granular de alta permeabilidad con un ángulo de fricción específico ($<35^\circ$), se crean zanjas verticales de 30 a 60 cm de ancho siguiendo la inclinación del terraplén. La profundidad de excavación debe exceder la profundidad de la superficie de falla para asegurar el aumento de la resistencia del suelo no solo debido al aumento de los esfuerzos efectivos gracias al drenaje del agua que los reducía, sino también al aumento del material de alta resistencia incluido dentro de zanjas.

En taludes cuya altura varía entre tres y ocho metros, con planos de falla de hasta cuatro metros y formados por materiales poco resistentes, como arcillas y limos blandos, o con presencia de materia orgánica en descomposición. este enfoque puede resultar útil y económico.

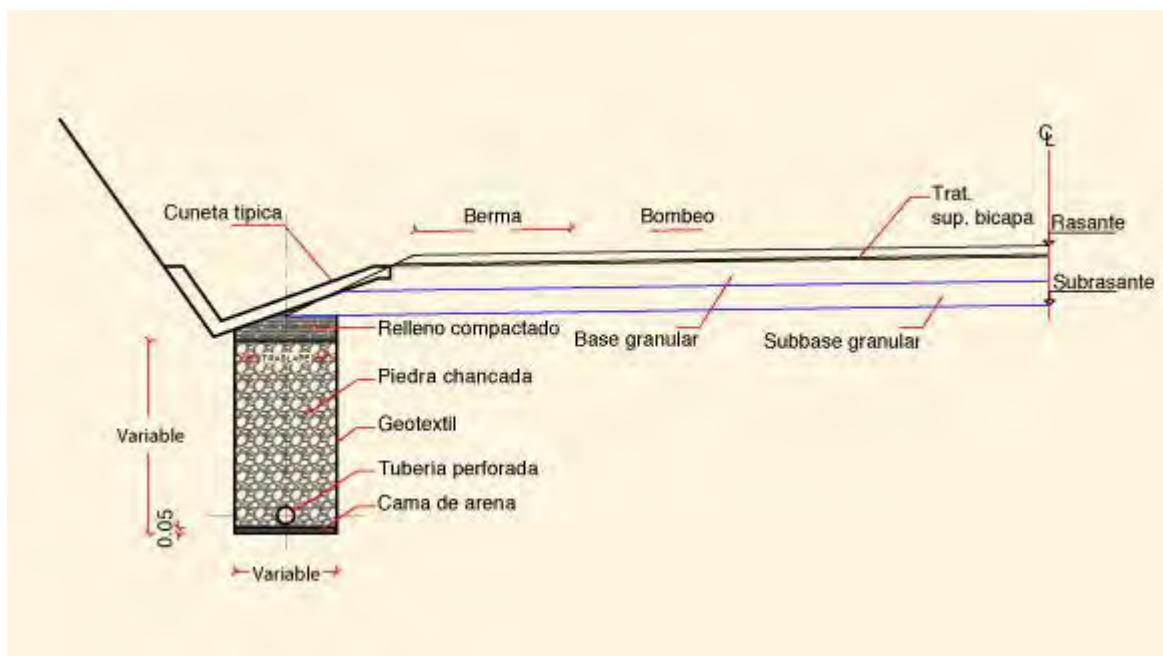


Imagen 15. Detalle del sistema Terramesh

PROPUESTA DE SOSTENIBILIDAD DEL TALUD

- Se recomienda la descolmatación y ampliación del cauce del río, con motivos de mitigar el caudal y proporcionar la corriente hidráulica



Foto 15. Vista de la zona de estudio

- Proponemos la construcción de gaviones de sostenibilidad en la base de nuestra zona de interés incluida una geomembrana delgada a profundidad para evitar la erosión con la finalidad de mitigar la carga hídrica al nuevo cauce de río.



Imagen 16. Gaviones.

- Realización del sistema Terramesh con la finalidad de sostener el talud ya afectado anteriormente por trabajos en la zona

SISTEMA CONSTRUCTIVO:

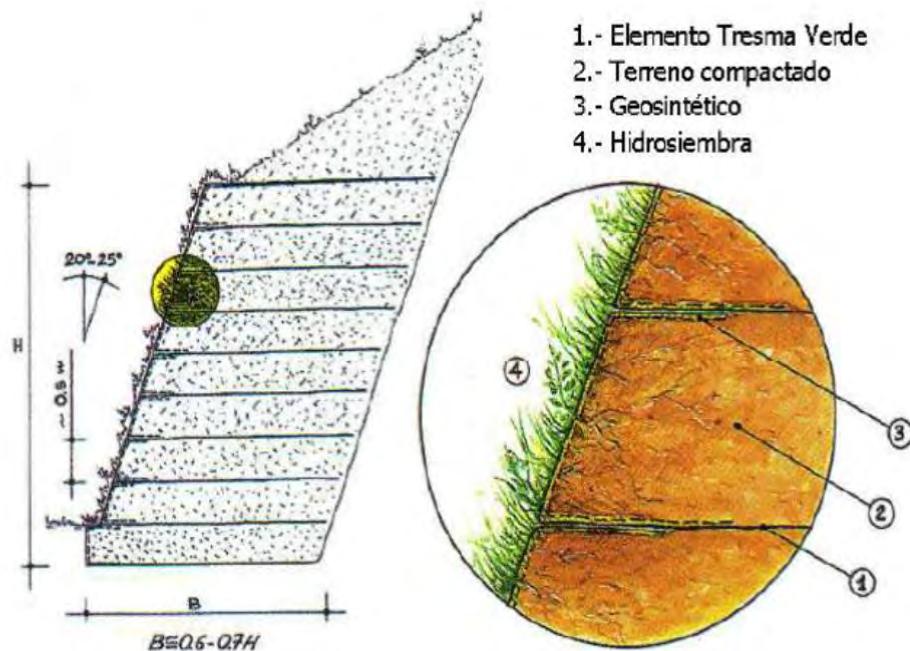


Imagen 17. Sistema Constructivo

- Se recomienda en la parte superior colocar bulones de anclaje con mallas rígidas de aproximadamente unos 15 metros de profundidad con un Angulo de 45 grados con una geomembrana en profundidad para evitar tubificación y asi garantizar el buen desempeño del trabajo.



Imagen 18. Colocado de mallas

- Se recomienda el geotextil triaxial con plantas en la corona del talud y así mantener la sostenibilidad del nuestro talud



Imagen 19. Geotextil triaxial

EL ESTUDIO DE ESTABILIDAD DE TALUDES EXAMINA EL CONTENIDO

El modelo sugiere un talud de corte vertical. Mediante la técnica de Bishop, el factor de seguridad en condiciones pseudoestáticas es de 1,220. El método de Spencer arrojó un valor

de 1,042, mientras que el método simplificado de Jambu produjo 1,320. Estas técnicas presentan correlación, lo que indica que el talud propuesto es estable con un ángulo de corte de 90°. Para prevenir desprendimientos de rocas y tierra, se recomienda limpiar el estrato superficial, compuesto de arena límosa, y considerar una relación de corte vertical:altura de 5:1.

7.11.2. Evidencias de desestabilización

El colapso o deslizamiento de un talud no ocurre de manera inmediata, sino de forma progresiva

- Cuando se acumula material cerca de la base de la pendiente, esta se fractura.
- Desprendimientos de rocas al pie de escarpes y laderas.
- Presencia de grietas de tensión.
- Reptación de materiales blandos.
- Postes, árboles o plantas inclinados hacia abajo.
- Cicatrices que evidencien planos de rotura.



Foto 16. desestabilización de taludes.

La mejor solución debe encontrarse tan pronto como se identifique un riesgo de inestabilidad en una pendiente específica, teniendo en cuenta factores relacionados con la

construcción, las características de los perfiles afectados (tanto en la cresta como en el pie de la pendiente), el plazo previsto para la resolución del problema, el suministro de materiales constructivos, entre otros factores

Se identifican tres principales tipos de soluciones para alcanzar la estabilidad de un talud.

- 1. Mejorar la resistencia del terreno:** Estos métodos consisten en inyectar materiales que refuerzan la resistencia del suelo, como cemento u otros aglutinantes, o en aplicar drenaje al suelo para bajar el nivel freático.
- 2. Reducir las cargas que actúan sobre el talud:** Las soluciones incluyen eliminar la cresta para reducir la altura o alterar la geometría de la pendiente cortándola total o parcialmente con un ángulo reducido.
- 3. Incrementar las fuerzas de confinamiento sobre el talud** Los muros de gravedad y/o los bancos construidos con el mismo suelo pueden utilizarse para estabilizar una pendiente.

7.11.3. Drenaje

En la mayoría de los taludes compuestos por suelo o roca que presentan cierto grado de meteorización medio a alto, el agua es la principal causa de inestabilidad. Por ello, se han implementado numerosos sistemas de drenaje con diversos objetivos.

- **Drenajes transversales o interceptores:** Para evacuar el agua que podría filtrarse en la estructura de la ladera o causar erosión a diferentes niveles, se colocan drenajes en la superficie de la misma. Estos drenajes se ubican generalmente a distintas alturas a lo largo de la ladera, al pie de la misma para recoger el agua proveniente de otros drenajes, y en la cima para evitar que el agua alcance la estructura (grietas de tensión).
- **Drenaje de contrafuerte:** Esta técnica consiste en excavar cortes verticales de 30 a 60 cm de ancho siguiendo la pendiente del terraplén y llenar con sedimento granular material permeable con bajo ángulo de fricción a 35°. Para aumentar la resistencia del suelo, la profundidad alcanzada debe ser mayor que la de la superficie de falla. Esto se debe tanto al aumento de la cantidad de material de alta resistencia contenido en las zanjas como al incremento de las tensiones efectivas provocado por el drenaje del agua, que previamente las había reducido.

Para taludes de con alturas que varían entre 3 y 8 metros y planos de falla de no más de cuatro metros y compuestos de suelos de baja resistencia, tales como arcillas y limos blandos, o que incluyen material orgánico en degradación, este enfoque puede resultar útil y económico.

Muros: Cabe mencionar que existe una alta probabilidad de que aumente la presión hidrostática detrás de un muro construido con un material de muy baja permeabilidad, como el hormigón, si se ubica frente a una pendiente de suelo que contiene agua. Para evitar este problema, se deben colocar drenes subhorizontales a diferentes alturas a lo largo del muro para dispersar la presión adicional. El muro de gaviones, que no utiliza ningún agente cohesivo aparte de la malla que mantiene unidos los gaviones y permite el paso del agua, es un tipo de muro de gravedad que resulta útil en este sentido. Estos muros tienen la ventaja de soportar deformaciones significativas sin perder resistencia, además de ser bastante económicos.

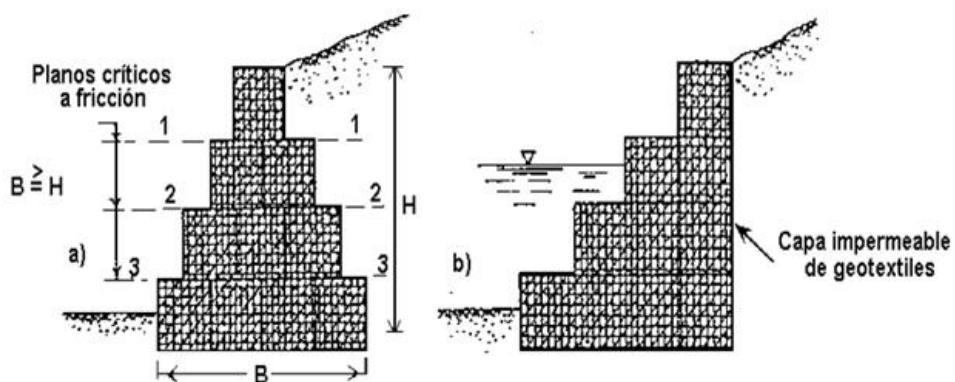


Imagen 20. Perfiles de muros de gaviones.

En regiones con suelos blandos, donde los fallos suelen deberse a la insuficiente resistencia de la capa de cimentación del terraplén, el mecanismo de contrapesos resulta altamente beneficioso para estabilizar los taludes. En este caso, se construye un terraplén inferior, denominado berma, junto al terraplén principal. Al actuar como contrapeso, esta berma amplía la superficie de fallo.

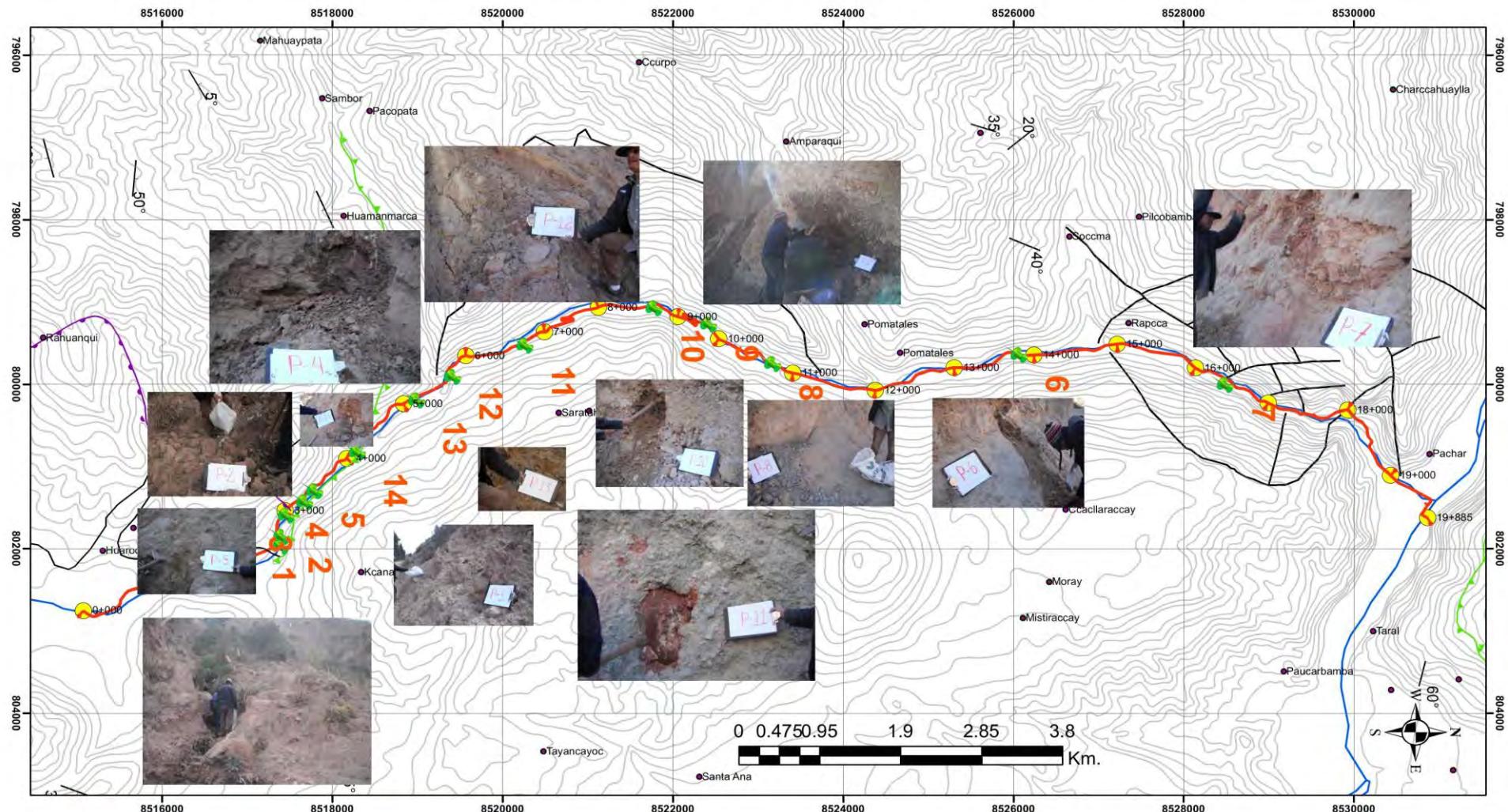
La aplicación de una carga en la base de un terraplén asentado sobre un terreno de baja resistencia, las bermas o contrabermas aumentan la resistencia bajo el pie. La berma se ubica donde el análisis de estabilidad indica que se puede elevar.

Además de ser estable por sí misma, la contrabерма debe construirse con el fin de asegurar de manera efectiva la estabilidad del terraplén principal, la contrabерма actúa generando un contrapeso que prolonga y profundiza el círculo crítico de falla.

Pantallas: Estos sistemas constan de una malla metálica que cubre toda la superficie de la pendiente; también se puede emplear geomembrana en la zona de estudio. Con frecuencia se utilizan anclajes que penetran completamente la superficie de falla para tensar la malla y aplicar un empuje activo en sentido contrario al movimiento del suelo. Además, la geomembrana se utiliza para la forestación y reforestación con especies autóctonas.

PLANO GEOTECNICO

PLANO GEOTECNICO



LEYENDA

- Falla
- Falla Inversa Inferida
- Falla Inversa
- Falla Inferida
- Lineamiento Fractura

SIMBOLOGIA

- Pueblos
- ⊕ Buzamiento
- Tramo Carretero
- Progresivas
- Puntos de Muestreo

ESTUDIO GEOLOGICO, GEOTECNICO E HIDROLOGICO PARA LA ESTABILIDAD DE TALUDES DEL TRAMO DE LA LINEA FERREA QUEBRADA POMATALES, DISTRITO DE HUAROCONDO, PROVINCIA DE ANTA, DEPARTAMENTO DEL CUSCO.

Mapa Geotecnico de la Quebrada Pomatales

DEPT:	CUSCO	ELABORADO POR:	Bach. Pachacuteec Champi John Bach. Loayza Serna Fidel Ronald
PROV:	ANTA	DATUM:	WGS84
DISTR:	HUAROCONDO	ZONA:	18L
ESCALA	1/45 000	FECHA:	20/09/2024

09

DISCUSION DE RESULTADOS

Los resultados de esta investigación fueron analizados, obteniendo lo siguiente:

1. La zona de estudio tiene una geodinámica bastante activa por cuanto presenta fenómenos naturales de movimientos de masa (deslizamiento, desprendimiento, caída de roca) en algunos puntos críticos, los deslizamientos se atribuyen a factores como: agua, baja cohesión de los granos y la gravedad, los cuales han actuado sobre un plano inclinado entre dos elementos de consistencia desigual que son el material detrítico (forma móvil) y las rocas del subsuelo (forma estacionaria).
2. El material geológico presente en la área de estudio de acuerdo a la clasificación de suelos SUCS tipo de suelo es GC(gravas arcillosas), GP(grava mal graduada), GM (gravas limosas), CL (arcillas de alta plasticidad), dentro de ello existe la presencia de clastos y calizas por ende los depósitos son inconsolidados. dados los resultados de los ensayos en mecánica de suelos y mecánica de rocas se determina que es un material con propiedades geotécnicas de baja resistencia por ende la zona de estudio se encuentra en un alto peligro y alta vulnerabilidad a causa de las infiltraciones que se viene dando lo largo de los terrenos de dicha zona, las fuertes lluvias y la capacidad del terreno a la absorción de aguas debilitaron la estabilidad del terreno. Esta absorción y penetración de agua en las formaciones más vulnerables generaran debilitamiento en la capacidad portante del suelo, la cual llegara a un límite y generara deslizamiento y perdida de estabilidad de los taludes.
3. La zona de estudio está situada a una altitud comprendida entre entre 3200-3750 m.s.m.n. En la zona de estudio se identificaron las unidades geomorfológicas siguientes: valle Huarocondo – Pachar, terrazas, laderas, quebradas y montañas. La zona investigada se encuentra en un valle en forma de V el valle es joven cuyos agentes modeladores son el agua y la gravedad, presentando taludes rocosos y de material inconsolidado de pendientes moderadas a fuertes, esto hace que la cobertura cuaternaria sea considerada como inestable, también presenta taludes escarpados y con cárcavas, debido a un control litológico de evaporitas de la formación Maras los cuales están tectonizados, fallados y deformados lo cual genera geodinámica externa como reptación de suelos, deslizamientos escalonados, desprendimientos de bloques, desplazamientos, derrumbes, etc.

4. La litología que presenta la zona de estudio, las rocas constituyentes son las andesitas y riolitas del Grupo Mitu (Pérmico superior - Triásico inferior), las cuarzoarenitas de la Formación Huancané (Neocomiano) y areniscas calcáreas de la Formación Paucarbamba (Albiano inferior), las arcillas, limos y yesos de la Formación Maras (Albiano medio) y las calizas de la Formación Ayabacas (Albiano superior - Turoniano). Los yesos, arcillas y limos pertenecientes a la Formación Maras, constituye la zona de mayor inestabilidad en la zona de estudio, debido a que están ubicados en zonas de fuerte pendiente y los materiales constituyentes están in consolidados y son altamente porosas, por lo que las aguas pluviales infiltran fácilmente y saturan el suelo especialmente los yesos que actúan como nivel de despegue haciendo que el deslizamiento sea más rápido. Se puede concluir que el deslizamiento aludido está en pleno proceso de actividad y puede reiniciar su movimiento en cualquier momento, sobre todo después de fuertes precipitaciones.
5. El área de estudio cuenta con tres fallas que fragmentan la falla principal de la quebrada de Huarococondo. Tectónicamente la zona de estudio esta controlada por fallas regionales inversas, que siguen la dirección del valle (N20°W), también hay fallas secundarias paralelas a la falla principal, las que afectan el flanco NE del valle de Pomatales siendo uno de los causantes principales de los deslizamientos en la zona de estudio. Las areniscas calcáreas de la Formación Paucarbamba y las calizas de la Formación Ayabacas las que tienen un rumbo: NS y buzamiento: 35°W se encuentran altamente fracturadas, cuya estratificación es en contra de la pendiente, las fracturas que en su mayoría constituyen tres sistemas de fracturamiento por lo que hacen el talud inestable y las rocas se encuentran prácticamente sueltas, propensas a caer.

CONCLUSIONES

- 1) Los taludes en la línea férrea de la quebrada Pomatales son altamente inestables debido a factores geológicos, geotécnicos e hidrológicos, como la presencia de suelos inconsolidados y la saturación por aguas subterráneas, lo que favorece los deslizamientos y desprendimientos de masa .

- 2) La presencia de fallas tectónicas y el material altamente fracturado de la Formación Maras contribuyen a la debilidad estructural de los taludes, exacerbando la vulnerabilidad de la zona cercana a la línea férrea .
- 3) La estabilidad de los taludes adyacentes a la línea férrea en la quebrada Pomatales es insuficiente, con factores de seguridad por debajo de los valores críticos, lo que pone en riesgo la infraestructura vial y ferroviaria .

RECOMENDACIONES

1. Instalar un sistema de drenaje integral con drenaje superficial y subsuperficial para gestionar el agua subterránea y la lluvia. Incluir zanjas de coronación en la cima del talud, tubería clivada en la parte intermedia y cunetas en la base para canalizar el escorrimiento y evitar la saturación. Además, se debe aplicar enrrocamiento en la parte baja de los rieles del tren, donde está el cauce del río, para proteger la infraestructura ferroviaria y prevenir la erosión.
2. Es crucial llevar a cabo un monitoreo geotécnico constante de los taludes mediante la instalación de inclinómetros y otros sensores que permitan detectar de manera temprana cualquier signo de inestabilidad
3. Implementar programas de reforestación masiva en las laderas para mejorar la cohesión del suelo y reducir los riesgos de erosión, contribuyendo a la estabilización natural de los taludes.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. **Arzate, F. (2006):** Estudio Geológico-Geofísico para la Evaluación de los Hundimientos y Agrietamientos en el Area Metropolitana San Luís Potosí-Soledad de Graciano Sánchez, *SGP B 45.*
2. **Braja M. Das. (2008):** Fundamentos de Ingeniería Geotécnica, CENGAGE Learning, México.
3. **Chacón, N., Jacay, J y Moreno, C. (2005):** PROCESOS GEODINÁMICOS EN EL ÁREA RÍO QUILLCAY, HUARAZ – ANCASH Revista del Instituto de Investigación FIGMMG. Vol. 8, N.º 16, 22-28, Universidad Nacional Mayor de San Marcos ISSN: 1561-0888 (impreso) / 1628-8097 (electrónico).
4. **Chávez M. A. Estabilización de taludes,** Curso - Proyecto CYTED XIII - 3 - Junio 2005 - Córdoba – Argentina
5. **Cuenca, J.** Investigación de la Actividad Sísmica en la Región Inca. Rol de Universidad en la investigación de desastres.
6. **Gómez J. y Martín-Vivaldi M. E.** CARTOGRAFÍA Y UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS DE LA PROVINCIA DE TETUÁN, MARRUECOSBoletín de la Asociación de Geógrafos Españoles N.º 54 - 2010, págs. 149-173 I.S.S.N.: 0212-9426.
7. **Gonzales de Vallejo L., Ortuño I., Ferrer M. y Oteo C. (2002).** INGENIERIA GEOLOGICA. Pearson Educación - Madrid
8. **Krynine y Judd. (1961).** Principios de Geología y Geotecnia para ingenieros. Ed. Omega Barcelona.
9. **Mancebo J. A.** Karstología de Yesos. Algunas Aplicaciones En Ingeniería Civil, UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID, 2008.
10. **Oviedo, Martin.** “Geología, Geodinámica y Simulación de Flujos Flo 2d En La Quebrada de Saphy – Cusco”. Tesis UNSAAC. Cusco.
11. **Shackerlford James., (2010).** Introducción a la ciencia de materiales para ingenieros. Cuarta Edición.
12. **Smith William., (2011).** Fundamentos de la ciencia e Ingenieria de materiales. Tercera Edición.
13. **Vásquez Acuña, Jenny Marina** “Movimientos en Masa en la Quebrada Canto Grande. Lima” (2009). Tesis UNMSM-Lima.

ANEXOS

A.FOTOGRAFIAS



Foto 17. Se muestra las tres zonas críticas del talud en la quebrada de Pomatales.



Foto 18. Se muestra la zona inestable observando una necesidad de eliminar la carga de material.



Foto 19. Vista mostrando el banqueo a realizarse.



Foto 20. Vista muestra la zona activa en estudio.



Foto 21. Se muestra el deslizamiento activo.



Foto 22. Se muestra el material coluvial totalmente inestables, que deberá ser descargado o eliminado.



Foto 23. Sistema de banqueo de las plataformas.



Foto 24. Presencia de flujos subterráneos.



Foto 25. Fotografía que muestra la presencia de vallas que evitan el desprendimiento de bloques.

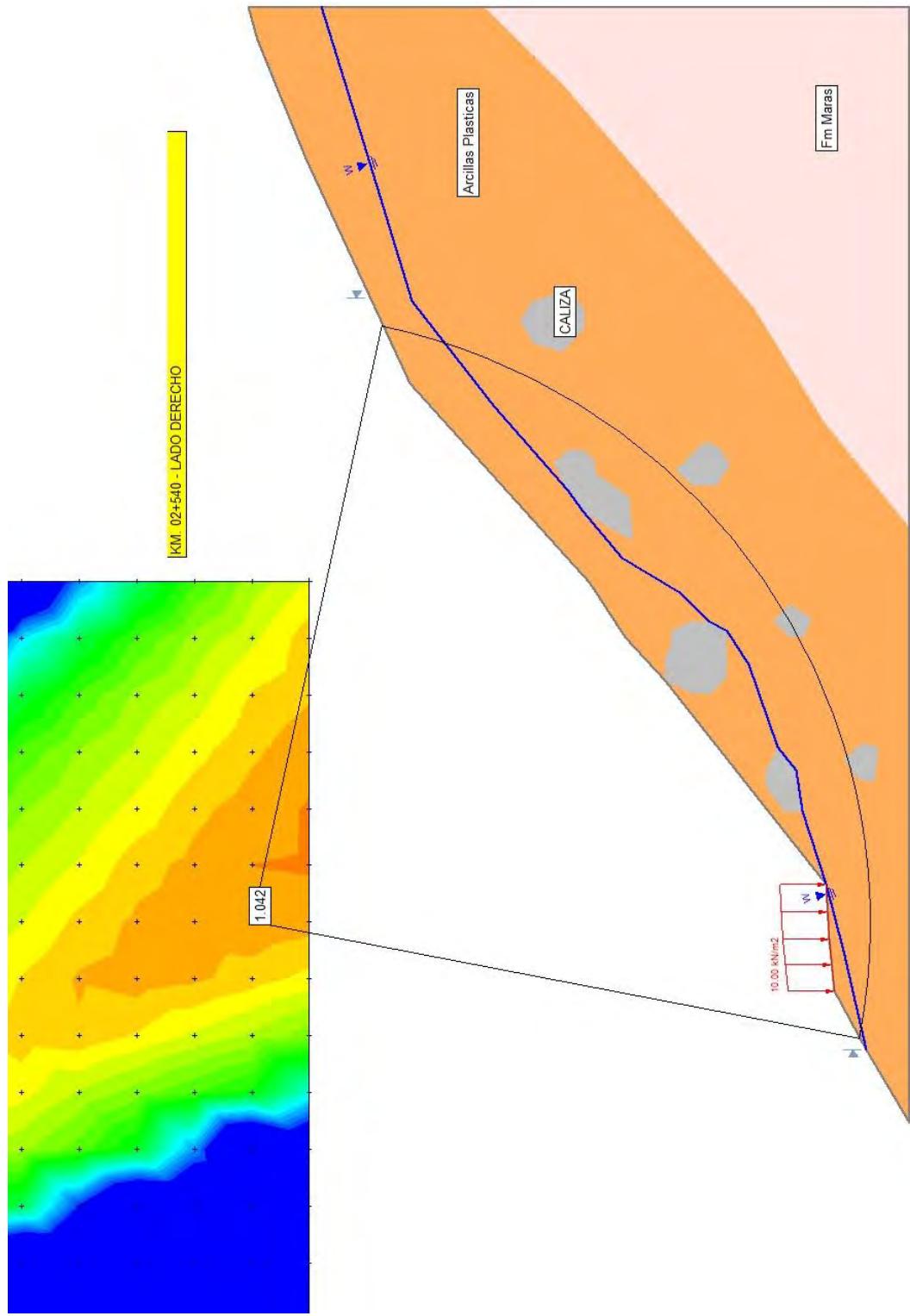


Foto 26. Tránsito del tren en la zona inestable en estudio.

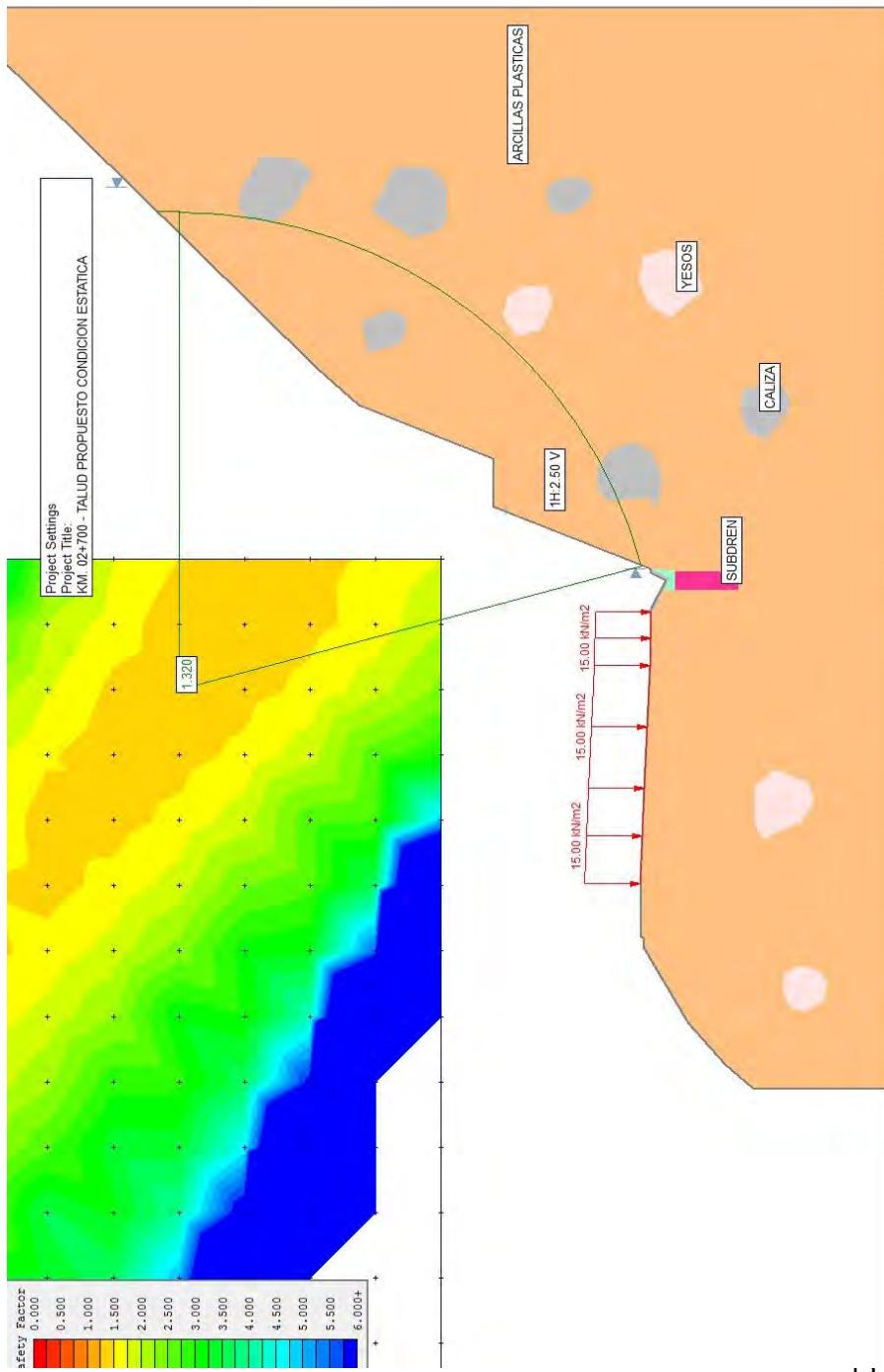
B. ANALISIS DE ESTABILIDAD **DE TALUDES**

El diseño de taludes es uno de los aspectos más importantes de la ingeniería geológica, pues está presente en la mayoría de las actividades constructivas o extractivas. Aplicando los métodos de Bishop y Jambu.

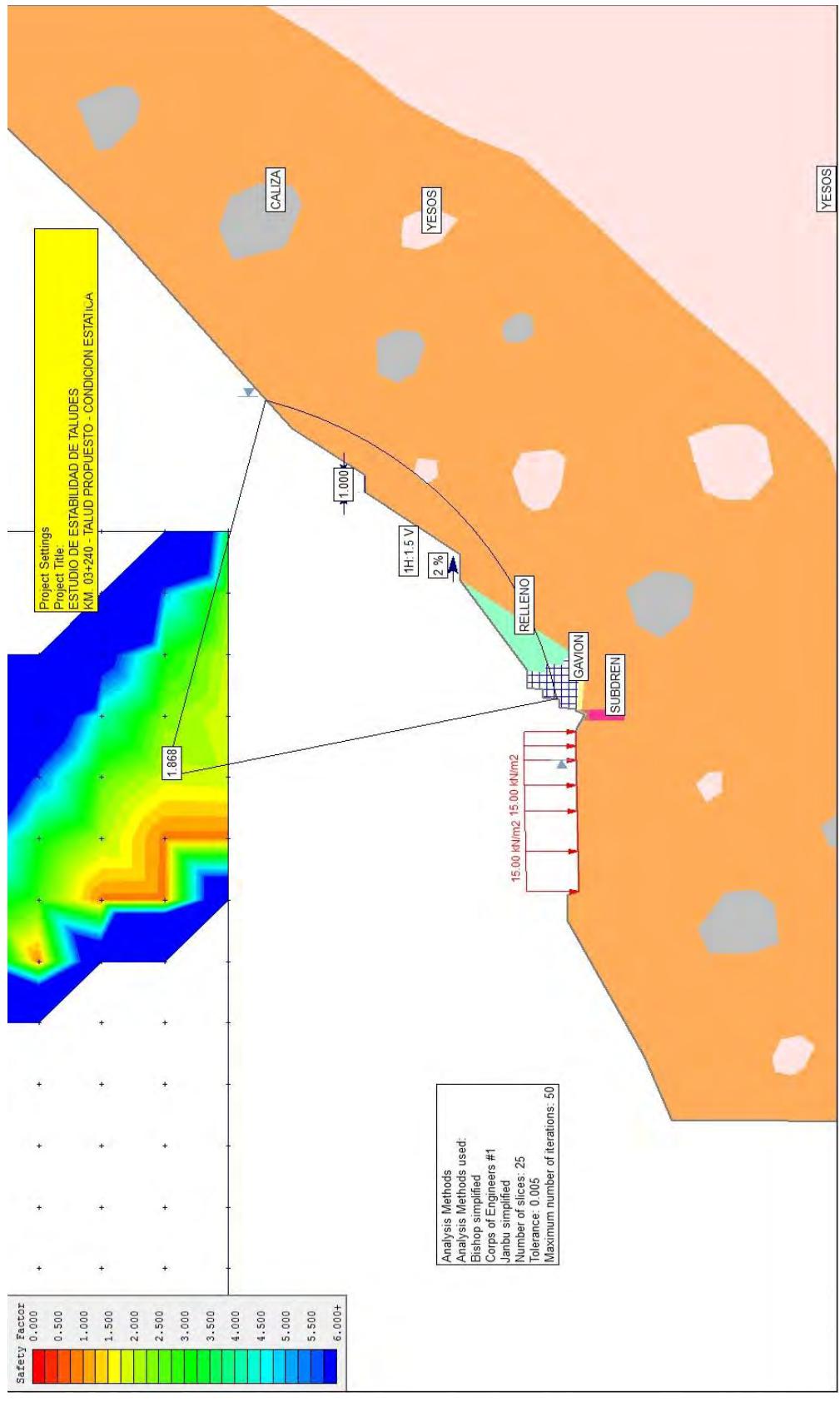
Km. 02+540 SIN INTERVENCION (CONDICION ESTATICA)



Km. 02+700 CON INTERVENCION (CONDICION ESTATICA)



Km. 03+240 CON INTERVENCION (CONDICION ESTATICA)



C. CALICATAS Y ANALISIS DE
LABORATORIO

MUESTRA 01

Ubicación:

- **Long: 0801939.**
- **UTM: 8517356.**
- **Altura: 3306 msnm.**

Resumen de Propiedades			
Muestra	P - 01		
Norma		NTP	ASTM
Humedad Natural %	4,94	339.127	D-2216
Granulometría	-	339.128	D-422-63
Límite Líquido %	18,52	339.129	D-4318
Límite Plástico %	15,26	339.129	D-4318
Índice de Plasticidad %	2,96	339.129	D-4318
Clasificación SUSC	SM	339.128	D-422-63
Clasificación AASHTO	A-1-b(0)	339.128	D-422-63
Peso Específico Saturado	2,28		
Peso Unitario Compactado gr/cm ³	1,50		
Peso Unitario sin Compact gr/cm ³	1,30		
Cohesión kg/cm ²	0,19	339.167	D-2166
Ángulo de Fricción.	28		



MUESTRA 02

Ubicación:

- **Long: 0801269.**
- **UTM: 8517754.**
- **Altura: 3294 msnm.**

Resumen de Propiedades			
Muestra	P - 05		
Norma		NTP	ASTM
Humedad Natural %	5,23	339.127	D-2216
Granulometría	-	339.128	D-422-63
Límite Líquido %	18,75	339.129	D-4318
Límite Plástico %	13,12	339.129	D-4318
Índice de Plasticidad %	5,63		
Clasificación SUSC	SC-SM	339.128	D-422-63
Clasificación AASHTO	A-2-4(1)	339.128	D-422-63
Peso Específico Saturado	2,00		
Peso Unitario Compact.	1,57		
Peso Unitario Sin Compact	1,33		
No confinada	0,16	339.167	D-2166
Ángulo de Fricción.	26		



MUESTRA 03

Ubicación:

- Long: 0799616.
- UTM: 8526028.
- Altura: 2997 msnm.

Resumen de Propiedades			
Muestra	P – 06		
Norma		NTP	ASTM
Humedad Natural %	2,56	339.127	D-2216
Granulometría	-	339.128	D-422-63
Límite Líquido %	18,02	339.129	D-4318
Límite Plástico %	13,66	339.129	D-4318
Índice de Plasticidad %	4,37		
Clasificación SUSC	GC-GM	339.128	D-422-63
Clasificación AASHTO	A-1-b(0)	339.128	D-422-63
Peso Específico Saturado	2,06		
Peso Unitario Compact.	1,64		
Peso Unitario Sin Compact	1,40		
No confinada	0,15	339.167	D-2166
Ángulo de Fricción.	23		



MUESTRA 04

Ubicación:

- Long: 0799503.
- UTM: 8520223.
- Altura: 3239 msnm.

Resumen de Propiedades			
Muestra	P - 11		
Norma		NTP	ASTM
Humedad Natural %	1,80	339.127	D-2216
Granulometría	-	339.128	D-422-63
Límite Líquido %	20,51	339.129	D-4318
Límite Plástico %	15,48	339.129	D-4318
Índice de Plasticidad %	5,03		
Clasificación SUSC	CL-ML	339.128	D-422-63
Clasificación AASHTO	A-4(0)	339.128	D-422-63
Peso Específico Saturado	1,87		
Peso Unitario Compact.	1,71		
Peso Unitario Sin Compact	1,47		
No confinada	0,14	339.167	D-2166
Ángulo de Fricción.	28		



MUESTRA 05

Ubicación:

- **Long: 0800796.**
- **UTM: 8518254.**
- **Altura: 3267 msnm.**

Resumen de Propiedades			
Muestra	P – 14		
Norma		NTP	ASTM
Humedad Natural %	1,25	339.127	D-2216
Granulometría	-	339.128	D-422-63
Limite Liquido %	20,43	339.129	D-4318
Limite Plástico %	9,41	339.129	D-4318
Índice de Plasticidad %	11,07		
Clasificación SUSC	SC	339.128	D-422-63
Clasificación AASHTO	A-6(0)	339.128	D-422-63
Peso Específico Saturado	1,97		
Peso Unitario Compact.	1,47		
Peso Unitario Sin Compact	1,22		
No confinada	0,19	339.167	D-2166
Angulo de Fricción.	29		



D. ESTRATIGRAFIA DE CALICATAS

UBICACIÓN DE CALICATA Km. 00+250		C - 2		Profundidad Total : 1.70 Profundidad del N.F. : N.E.
PROF. (m)	SIMBOLO	CLASIFICACION AASHTO	DESCRIPCION	MUESTRA
0.10 1.70	 1.60		A-4 (0) Mezcla pobremente gradada de clastos con forma sub redondeada y redondeada. Limo Inorgánicos, polvo de roca, limo arenosos, o arcillosos ligeramente plásticos.	M-2

UBICACIÓN DE CALICATA Km. 01+000		C - 5		Profundidad Total :1.70 Profundidad del N.F. : N.E.	
PROF. (m)		SIMBOLO	CLASIFICACION AASHTO	DESCRIPCION	MUESTRA
0.15	1.70	0.15 1.55		A-6 (4) Mezcla pobremente gradada de clastos con forma sub redondeada y redondeada. Arcillas inorgánicas de baja plasticidad, arcillas con grava, arcillas arenolimosas.	M-5

UBICACIÓN DE CALICATA Km. 02+000		C - 9		Profundidad Total :1.50 Profundidad del N.F. : N.E.	
PROF. (m)		SIMBOLO	CLASIFICACION AASHTO	DESCRIPCION	MUESTRA
0.20	1.50	0.20 1.30		A-4 (0) Mezcla pobremente gradada de clastos con forma sub redondeada y redondeada. Gravas Limosas, mezclas de grava, arena y limo.	M-9

UBICACIÓN DE CALICATA Km. 03+000		C - 13		Profundidad Total : 1.50 Profundidad del N.F. : N.E.	
PROF. (m)	SIMBOLO	CLASIFICACION AASHTO	DESCRIPCION	MUESTRA	
0.15 1.50	0.15 1.35		A-2-4 (0)	<p>Mezcla pobremente gradada de clastos con forma sub redondeada y redondeada.</p> <p>Gravas Limosas, mezclas de grava, arena y limo.</p>	M-13