



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRÍCOLA



**EVALUACIÓN DE LOS DESLIZAMIENTOS PARA LA GESTIÓN
DE RIESGOS DE DESASTRES NATURALES EN LA QUEBRADA
JILARI - CUYOCUYO, SANDIA**

TESIS

PRESENTADA POR:

Bach. GUSTAVO MAMANI ALFARO

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO AGRÍCOLA**

PUNO – PERÚ

2017



DEDICATORIA

A mis abuelos Ross Alfaro Zapana y Naty Zapana Aguilar, que, con cariño y amor, me han apoyado en todo momento durante tantos años, por transmitirme sus sabios consejos, enseñarme a valorar la vida, motivarme a seguir superándome en todo momento y darme la herencia más grande que pueda haber en este mundo “el estudio”.

A mis padres Mario y en memoria de mi madre Imelda que son los que me dieron el don de la vida, para el logro integral, formación académica y personal.

A mis tíos Silvia, Norma y Henry por estar conmigo en las adversidades de la vida y aconsejarme a estudiar, por su apoyo incondicional, gracias en verdad ya que ustedes han sido una parte muy importante en mi vida.

A mi querida hermana Imelda que me apoyó aconsejándome y esperando siempre lo mejor de mí.

A mis hijos Ángeles, Enrique, Karla y a mi amada esposa Carina, quienes esperan en mí ser ese ejemplo de padre, que son un motivo más para seguir luchando y superándome en este camino que aún me falta recorrer.

*Con amor, cariño y respeto: **Gustavo***



AGRADECIMIENTOS

A Dios, por darme la vida y permitirme entrar en el mundo del saber

A la Universidad Nacional del Altiplano nuestra alma mater, y muy en especial a la Escuela Profesional de Ingeniería Agrícola, por habernos formado profesionalmente.

Al M.Sc. Roberto Alfaro Alejo, patrocinador de la presente tesis, por su invaluable comprensión y apoyo en la ejecución del presente trabajo de investigación. Al M.Sc. José Antonio Mamani Gómez, asesor de la presente tesis, por su apropiado asesoramiento, revisión, estímulo, y apoyo constante para la culminación de la presente investigación.

Mi agradecimiento a los docentes de la Facultad de Ingeniería Agrícola, que impartieron sus conocimientos durante mi formación universitaria, A la Municipalidad Distrital de Cuyocuyo por compartir algunos datos acerca de la gestión de riesgos.

Mi gratitud también va a toda mi familia, a mis tíos, primos y compañeros de estudios, que de una u otra manera han contribuido en la ejecución del presente trabajo.

Gustavo



ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTOS

INDICE GENERAL

INDICE DE TABLAS

INDICE DE FIGURAS

LISTA DE ACRONIMOS

RESUMEN 13

ABSTRACT..... 14

CAPÍTULO I

INTRODUCCION

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 15

1.2. JUSTIFICACIÓN..... 16

1.3. OBJETIVOS..... 17

1.3.1. Objetivo general..... 17

1.3.2. Objetivos específicos. 17

CAPÍTULO II

REVISION DE LITERATURA

2.1. ANTECEDENTES..... 19

2.1.1. Antecedentes internacionales..... 19

2.1.2. Antecedentes nacionales. 19

2.1.3. Antecedentes del área de estudio. 20

2.2. CONCEPTOS DE GESTIÓN DE RIESGOS 21

2.2.1. Gestión de riesgos..... 22

2.3. DEFINICION DE DESLIZAMIENTOS 24



2.3.1. Nomenclatura en deslizamientos	24
2.3.2. Clasificación de deslizamientos.....	28
2.3.3. Sedimentos y tipos de flujo.....	30
2.4. CAUSAS TÍPICAS DE MOVIMIENTO DE MASAS	34
2.4.1. Efecto de la vegetación.....	37
2.4.2. Acciones antropogénicas	38
2.4.3. Actividad tectónica	39
2.4.4. Material geológico y estructura	40
2.4.5. Influencia de sismo	41
2.5. ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES	41
2.5.1. Método de las rebanadas (dovelas).....	42
2.6. METODOS DE PREVENCIÓN Y REMEDIACIÓN DE DESLIZAMIENTOS	
.....	47
2.6.1. Prevención de deslizamientos.....	47
2.6.2. Remediación y estabilización de deslizamientos.....	48
2.6.3. Medidas para evitar desastres flujo de escombros.....	56
2.7. HIDROLOGÍA E HIDRÁULICA.....	58
2.7.1. Tormentas de diseño	58
2.7.2. Modelamiento hidrológico con HEC-HMS.....	59
2.7.3. Modelo hidráulico hidrodinámico unidimensional HEC RAS.....	61
CAPÍTULO III	
MATERIALES Y METODOS	
3.1. AREA DE ESTUDIO.....	63
3.1.1. Algunas características de la microcuenca	63
3.1.2. Población	64



3.1.3. Clima.....	65
3.1.4. Vegetación	67
3.1.5. Geología y geomorfología	68
3.1.6. Geomorfología de la localidad de Cuyocuyo	73
3.1.7. Suelos de cobertera	76
3.1.8. Características geotécnicas	77
3.1.9. Uso de la tierra.....	78
3.2. MOVIMIENTO DE MASA SUPERFICIALES DISTRITO CUYOCUYO	79
3.3. TIPO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN	89
3.3.1. Tipo de investigación.....	89
3.3.2. Diseño de investigación	89
3.3.3. Población de estudio	89
3.3.4. Muestra.	90
3.4. METODOLOGIA	90
3.4.1. Análisis de información topográfica y cartográfica.....	90
3.4.2. Hidrología e hidráulica.	91
3.4.3. Deslizamiento de la quebrada Jilari	91
3.4.4. Medidas de mitigación.....	91
3.4.5. Gestión de riesgos de desastres naturales	91

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. INFORMACIÓN TOPOGRÁFICA Y CARTOGRÁFICA.	94
4.2. HIDROLOGÍA E HIDRÁULICA QUEBRADA JILARI.	95
4.2.1. Análisis de precipitación.....	95
4.2.2. Caudales de diseño	99



4.2.3. Comportamiento hidráulico de la quebrada Jilari.....	103
4.3. DESLIZAMIENTO QUEBRADA JILARI.....	108
4.3.1. Entrada de datos.....	109
4.3.2. Resultados del análisis	110
4.3.3. Comentario del análisis de estabilidad de talud en quebrada Jilari;	114
4.4. ESTIMACIÓN DE FLUJO DE ESCOMBROS	116
4.5. METODOS DE ESTABILIZACIÓN PLANTEADAS PARA LA ZONA	116
4.6. GESTIÓN DE RIESGOS DE DESASTRES	120
4.6.1. Enfoque de gestión de deslizamientos	121
V. CONCLUSIONES.....	127
VI. RECOMENDACIONES	128
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	129
ANEXOS.....	134
Anexo 1. DATOS CLIMATICOS.....	134
Anexo 2. FICHA DE DATOS DE AMENAZAS POR DESLIZAMIENTOS. ..	135
Anexo 3. ENSAYOS DE MECANICA DE SUELOS.	138
Anexo 4. PRESUPUESTO DE OBRAS DE ESTABILIZACION.	143
Anexo 5. PLANO DE TRABAJOS DE ESTABILIZACIÓN DE TALUD.....	145
Anexo 6. PLANO DETALLES DE TRABAJOS DE ESTABILIZACIÓN	146
Anexo 7. MAPA PARA GESTIÓN DE RIESGOS EN CUYOCUYO	147

ÁREA: Ingeniería y Tecnología.

LÍNEA: Ordenamiento territorial y medio ambiente.

FECHA DE SUSTENTACION: 30 de enero de 2017



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Clasificación de movimientos de ladera según tipo material	28
Tabla 2.	Concentración de sedimentos y tipo de flujo.....	30
Tabla 3.	Métodos de ingeniería comúnmente aplicados a cada tipo de falla.....	52
Tabla 4.	Métodos de estabilización de taludes y deslizamientos.....	54
Tabla 5.	Coefficiente de expansión y contracción	62
Tabla 6.	Temperatura media, mínima y máxima (°C) 2004 a 2006, Cuyocuyo	65
Tabla 7.	Precipitación total mensual (1964 a 2010), estación Cuyocuyo.....	66
Tabla 8.	Precipitación máxima en 24 Horas (mm) 1964-2010, Cuyocuyo.....	67
Tabla 9.	Sistemas y unidades geomorfológicas de la zona	74
Tabla 10.	Resultados de ensayos de suelos, para muestras de la zona	77
Tabla 11.	Coefficiente de permeabilidad K para diferentes tamaños de grano.....	78
Tabla 12.	Patrones de uso de tierra agrícola (Campaña Agrícola 2003-2004).....	79
Tabla 13.	Secuencia de desastres distrito Cuyocuyo	80
Tabla 14.	Resultados análisis de frecuencia precipitación máxima 24 horas.	98
Tabla 15.	Resultados análisis de frecuencia precipitación máxima 24 horas.	99
Tabla 16.	Resumen de caudal de la quebrada Jilari.	102
Tabla 17.	Tramos críticos de la quebrada Jilari.	106
Tabla 18.	Resumen resultados análisis de estabilidad de talud.	115



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Tipos de eventos registrados en el Perú (PCM, 2014).....	21
Figura 2.	Fases involucradas durante el ciclo de gestión de riesgos de desastres	23
Figura 3.	Enfoque alternativo de gestión de riesgos integrada.....	23
Figura 4.	Características importantes de un deslizamiento.	24
Figura 5.	Características y dimensiones de deslizamientos para cálculo de volumen	26
Figura 6.	Clasificación de movimientos de masa en taludes (USGS, 2004).....	29
Figura 7.	Descarga pico (Q_p) de flujos de escombros vs volumen (M) de flujo de escombro.	33
Figura 8.	Factores influyentes en la iniciación de deslizamiento e índice de susceptibilidad	35
Figura 9.	Corte transversal placas tectónicas zona del Pacífico sur.....	40
Figura 10.	Diagrama de definición para el método de Fellenius.....	43
Figura 11.	Diagrama de definición para el método de Bishop.....	45
Figura 12.	Fallas comunes en taludes de carreteras montañosas (Hearn, 2011).	51
Figura 13.	Medidas estructurales para flujo de escombros, Okubo et al. (1997).....	57
Figura 14.	Hietogramas de lluvia de 24 horas del Soil Conservation Service.	58
Figura 15.	Método del paso estándar en HEC RAS.....	61
Figura 16.	Mapa de ubicación del área de estudio, distrito de Cuyocuyo.....	64
Figura 17.	Precipitación mensual en estación Cuyocuyo, (SENAMHI, 2016).	66
Figura 18.	Columna estratigráfica regional (Quispe, 2008).....	70
Figura 19.	En la vista se aprecia un afloramiento de la formación Sandia.	71
Figura 20.	Columna estratigráfica local, Cuyocuyo (Quispe, 2008).....	73
Figura 21.	Tipos de geomorfología del cerro Ccalachaca (Dic. 2015).	75
Figura 22.	Terrazas en zona de confluencia río Jilari y Tambillo (Dic. 2015).	75



Figura 23. Escarpas que tienen pendientes mayores que 65° (Dic. 2015).	76
Figura 24. Quebrada Jilari en la ciudad de Cuyocuyo, se observan niveles de alerta... 76	76
Figura 25. Zona de un deslizamiento rotacional, quebrada Jilari.....	82
Figura 26. Zona donde se produjo desprendimiento de rocas (Quispe, 2008).	83
Figura 27. Zonas reptación de los suelos, quebrada Jilari (Quispe, 2008).	83
Figura 28. Inundación en las calles de la localidad de Cuyocuyo (Ene., 2005).	84
Figura 29. Flujo de agua en el talud Jilari que lo desestabiliza (Dic. 2015).	85
Figura 30. Procesos Erosivos en Sectores adyacentes a la quebrada (Dic. 2015).	86
Figura 31. Diques para control de erosión en quebrada Jilari (Dic. 2015).	88
Figura 32. Raíces de árboles ayudan a mejorar la estabilidad (Dic. 2015).	89
Figura 33. Regulaciones para zonas urbanas expuestas a deslizamientos.	92
Figura 34. Regulaciones para zonas rurales expuestas a deslizamientos.	93
Figura 35. Mapa de la microcuenca Jilari, del servidor Google Earth.	94
Figura 36. Mapa topográfico, según levantamiento topográfico, Civil 3D.	95
Figura 37. Variación de la precipitación mensual total, estación Cuyocuyo.	96
Figura 38. Variación de la precipitación máxima en 24 horas, estación Cuyocuyo.	97
Figura 39. Análisis de frecuencia para las precipitaciones máximas en 24 horas.	97
Figura 40. Esquema de cálculo en HMS, cuenca Jilari.	100
Figura 41. Caudal máximo quebrada Jilari para TR =5 Años.	100
Figura 42. Caudal máximo quebrada Jilari para TR =10 Años.	101
Figura 43. Caudal máximo quebrada Jilari para TR =20 Años.	101
Figura 44. Caudal máximo quebrada Jilari para TR =50 Años.	102
Figura 45. Tramo completo de la quebrada Jilari para la simulación hidráulica.	104
Figura 46. Perfiles hidráulicos de caudal máximo instantáneo para 5 y 10 años de periodo de retorno quebrada Jilari.	104



Figura 47. Perspectiva del tramo de simulación de la quebrada Jilari para 5 y 10 años de periodo de retorno.	105
Figura 48. Sección transversal de la quebrada Jilari, zona de deslizamientos.	108
Figura 49. Análisis de talud condición seco, sin tratamiento (FS=0.88).....	110
Figura 50. Análisis de talud condición saturado, sin tratamiento (FS=0.815).	110
Figura 51. Análisis de talud condición seco, con sismo, sin tratamiento (FS=0.763). ..	111
Figura 52. Análisis de talud condición seco, con muro de contención solamente (FS=0.988).	111
Figura 53. Análisis de talud condición seco, con muro de contención y banquetas (FS=0.830).	112
Figura 54. Análisis de talud condición seco, sin tratamiento (FS=0.708).....	112
Figura 55. Análisis de talud condición saturado, sin tratamiento (FS=0.612).	113
Figura 56. Análisis de talud condición seco, con sismo, sin tratamiento (FS=0.601). ..	113
Figura 57. Análisis de talud condición seco, con muro de contención solamente (FS=0.684).	114
Figura 58. Análisis de talud condición seco, con muro de contención y banquetas (FS=0.719).	114
Figura 59. Quebrada Jilari, durante un evento de lluvia, el flujo erosiona el cauce. ..	119
Figura 61. Flujo de escombros e inundación ocurrida (2005).....	120
Figura 61. Actividades de socialización con la población de Cuyocuyo.	123
Figura 62. Vista de la señalización existente en las vías de escape.	125



LISTA DE ACRONIMOS

- ANA:** Autoridad Nacional del Agua
- CENEPRED:** Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres
- HEC-HMS:** Hydrologic Engineering Center - Hydrologic Modeling System
- HEC-RAS:** Hydrologic Engineering Center - River Analysis System
- IAEG:** International Association for Engineering Geology and the Environment
- INDECI:** Instituto Nacional de Defensa Civil
- INEI:** Instituto Nacional de Estadística e Informática
- INGEMMET:** Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico
- MEF:** Ministerio de Economía y Finanzas
- PCM:** Presidencia del Consejo de Ministros, Gobierno del Perú
- PREDES:** Centro de Estudios y Prevención de Desastres
- SENAMHI:** Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología
- SINAGERD:** Sistema Nacional de Gestión de Riesgo de Desastres
- USDA:** United States Department of Agriculture
- USGS:** United States Geological Survey
- WGS84:** World Geodetic System 1984



RESUMEN

Para contribuir a la gestión de riesgos, este trabajo se centró en la evaluación de deslizamientos en la quebrada Jilari, aguas arriba de la ciudad de Cuyocuyo. La evaluación de las zonas susceptibles al deslizamiento implicó trabajos de campo para el inventario de los deslizamientos ocurridos con anterioridad en ambas márgenes, topografía de detalle, estudio geotécnico, hidrología, análisis de estabilidad de talud, propuesta de medidas de estabilización/remediación, adopción de lineamientos para la gestión de riesgos. Los resultados indican que el volumen potencial del flujo de escombros es de 9,900 m³, lo que mediante un método empírico desencadenaría un caudal pico de escombros de 213.58 m³/s, alcanzando una velocidad de 6.70 m/s. Identificándose un mecanismo desencadenante relacionado al aumento de la presión de poros durante las lluvias torrenciales de la época de verano. Con el empleo software de análisis de estabilidad de talud por equilibrio limite se encontró que los factores de seguridad de los taludes analizados están por debajo de 1.0 en las condiciones seca, con infiltración, con sismo; mejorando sustancialmente cuando se plantea medidas de estabilización de talud, cuyo presupuesto es de S/. 3'089,393.03 soles para dichos trabajos de estabilización y/o remediación. El enfoque de gestión de riesgos integrada planteado implica acciones prácticas para facilitar la integración de los hallazgos científicos que ayuden a las autoridades locales para la prevención y gestión de peligros geológicos, lo que en última instancia conducirá a mejores criterios de planificación y medidas de mitigación para el área afectada.

Palabras Clave: *Peligros, deslizamiento, estabilidad de taludes, factor de seguridad, gestión de riesgos.*



ABSTRACT

To contribute to risk management, this work focused on the evaluation of landslides in the Jilari creek, upstream from the city of Cuyocuyo. The evaluation of the areas susceptible to landslides involved field work for the inventory of landslides that occurred previously on both banks, detailed topography, geotechnical study, hydrology, slope stability analysis, proposal of stabilization/remediation measures, adoption of guidelines for risk management. The results indicate that the potential volume of the debris flow is 9,900 m³, which through an empirical method would trigger a peak debris flow of 213.58 m³/s, reaching a velocity of 6.70 m/s. Identifying a triggering mechanism related to the increase in pore pressure during the torrential rains of the summer season. With the use of limit equilibrium slope stability analysis software, it was found that the safety factors of the analyzed slopes are below 1.0 in dry conditions, with infiltration, with earthquake; substantially improving when slope stabilization measures are proposed, whose budget is S/. 3,089,393.03 soles for said stabilization and/or remediation works. The proposed integrated risk management approach implies practical actions to facilitate the integration of scientific findings that help local authorities for the prevention and management of geological hazards, which will ultimately lead to better planning criteria and mitigation measures for the affected area.

Keywords: *Hazard, landslide, slope stability, safety factor, risk management.*



CAPÍTULO I

INTRODUCCION

Inestabilidades de talud (incluyendo la erosión, transporte de masa y movimiento o fenómenos de deslizamientos de masa) son eventos generalizados que resultan en una de las principales causas de riesgo de los elementos expuestos (personas, propiedades, activos ambientales, las actividades económicas, el patrimonio cultural), también teniendo en cuenta que a menudo se relacionan con otros peligros naturales como terremotos e inundaciones (Ferlisi & De Chiara, 2016).

En la quebrada Jilari, los taludes son abruptos, un delgado manto de suelo, y eventos de precipitación extremas incrementan el riesgo de inestabilidad de talud, movimientos de talud y fallas. En las diversas zonas de la quebrada han sido identificados numerosos deslizamientos, huaycos, erosión en márgenes de ríos, deslizamientos por efecto de carreteras nuevas, deslizamientos de rocas.

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Los procesos geodinámicos que afectan a la superficie terrestre provocan movimientos superficiales de diversa magnitud y características, que afectan directa o indirectamente a la actividad humana y generan riesgos geológicos, con importantes pérdidas humanas y económicas.

Las zonas montañosas de la vertiente amazónica del departamento de Puno son altamente vulnerables a los problemas de deslizamientos, ya que los principales factores que los provocan son generalmente comunes, como la topografía, el suelo y las fuertes lluvias.



Los conocimientos de los factores gobernantes primarios serán de uso práctico en la evaluación rápida de riesgo de taludes, tanto anterior a un evento de precipitación pronosticado, o después de una tormenta, conduciendo aquellas tareas con garantía para un talud seguro como a los más probablemente lugares de falla, toda esta problemática se resumiría en las siguientes interrogantes:

INTERROGANTE GENERAL

¿Cómo se logra evaluar los deslizamientos para la gestión de riesgos de desastres en la quebrada Jilari?

INTERROGANTES ESPECÍFICAS:

- 1.- ¿Cuál es el efecto de los factores geológicos, antrópicos, climáticos en la generación de deslizamientos y flujo de escombros en la quebrada Jilari?
- 2.- ¿Cómo se puede reducir los riesgos de deslizamientos y flujos de escombros en la quebrada Jilari?
- 3.- ¿Cuál es el enfoque adecuado para gestión de riesgos ante deslizamientos en la localidad de Cuyocuyo?

1.2. JUSTIFICACIÓN

Como en cualquier investigación de deslizamiento usando software de modelamiento, los resultados del modelo deberán ser comparados con las ubicaciones de deslizamientos mapeados siempre que sea posible. En este estudio, investigaciones preliminares de campo fueron completadas en tres secciones transversales claves de la Quebrada Jilari. Imágenes satelitales fueron usadas para encontrar señales de deslizamientos, y la cobertura existente, para el desarrollo de una base de datos de



deslizamiento para la región, y para completar corridas del modelo más detallados para aquellas ubicaciones.

Entre todos los tipos de inestabilidades de talud, los provocados por la lluvia e involucrando a los suelos de grano grueso pueden estar asociada a la ocurrencia de un evento único (por ejemplo, un deslizamiento inicial superficial, después la propagación, como una avalancha de escombros en una unidad de terreno dado) o a un evento múltiple (por ejemplo, cientos de deslizamientos iniciales de poca profundidad, casi simultáneamente provocados por una tormenta que actúa sobre un área grande, y se convierte en flujos de escombros) , en ambos casos con resultado de enormes consecuencias directas en términos de pérdida de vidas y la destrucción de propiedades (Ferlisi & De Chiara, 2016).

En este trabajo, después de una ilustración de las principales cuestiones que diferencian la generación de riesgo por flujos de escombros, se presenta la gestión del riesgo, para la quebrada Jilari (Sandia), en gran medida afectada por la inestabilidad de taludes inducida por la precipitación en suelos granulares.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. Objetivo general.

- Evaluar los mecanismos de deslizamientos para la gestión de riesgos de desastres naturales en la quebrada Jilari - Cuyocuyo, Sandia.

1.3.2. Objetivos específicos.

- Examinar los factores geológicos, geomorfológicos, climáticos en la generación de deslizamientos y flujo de escombros.



- Esbozar medidas de estabilización adecuadas para contrarrestar los riesgos de deslizamientos y flujos de escombros en la quebrada Jilari.
- Plantear algunos lineamientos de mecanismos de gestión de riesgos en la localidad de Cuyocuyo.



CAPÍTULO II

REVISION DE LITERATURA

2.1. ANTECEDENTES

Los siguientes estudios han sido realizados en relación al proyecto de investigación:

2.1.1. Antecedentes internacionales.

Chen et al., (2007) en la región montañosa de Chengdu, al suroeste de China, mostró que la velocidad máxima de los escombros estuvo entre 2.4 y 4.7 m/s y la descarga máxima de escombros estuvo entre 6.7 y 35.7 m³/s. La descarga máxima aumentó inicialmente en la parte superior del canal, luego disminuyó en la parte inferior, lo que indica que el canal superior experimentó erosión, pero el canal inferior experimentó deposición.

Takahashi (2014) presentó seis ejemplos de campo, laboratorio e investigaciones numéricas, conducentes al estudio de eventos de flujos de escombros catastróficos en Japón, Italia, Colombia y Venezuela, incluyendo el flujo de escombros de diciembre de 1999 a lo largo de la costa caribeña de Venezuela que ha resultado en más de 20,000 fatalidades. Asimismo, muestra medidas que contrarrestan los flujos de escombros, incluyendo métodos de ingeniería “duros” y esquemas de planificación “suaves”.

2.1.2. Antecedentes nacionales.

Narvaez-Lopez (2012) elaboró mapas de vulnerabilidad en la quebrada arroyo seco y sus aportantes Puca Puca, Islachayocc, Pilacucho, que forma parte de la cuenca del río alameda, en Ayacucho, Perú, concluyendo que las lluvias intensas, la topografía y



la sismicidad son factores más importantes que provocan la ocurrencia constante de colapsos del terreno que afectan a los habitantes y la infraestructura de la región. A lo que sugiere diseñar las obras de ingeniería civil de forma pertinente garantizando la satisfacción de las necesidades de la población, asimismo controlar, corregir y preservar la estabilidad de la cuenca.

A nivel nacional se han tenido diferentes trabajos en varias zonas del Perú, fundamentalmente encaminadas por el INGEMMET, dentro de los muchos se puede rescatar algunos como “Evolución de la actividad de deslizamientos, y el origen de huaycos en la cuenca de la quebrada Paihua, Matucana, Huarochiri” y el estudio “Modelado de flujos de lodo usando FLO-2d en la quebrada Paihua: impacto en la ciudad de Matucana, Lima” (Castillo N., Fídel S., & Jackson Jr., 2006; INGEMMET, 2005).

2.1.3. Antecedentes del área de estudio.

Uno de los trabajos más resaltantes es el “Diagnóstico integral de la cuenca del río Sandía, Estudio y Manejo de la cuenca del río Sandía”. Proyecto Preparativos para Desastres y Reducción de Riesgos en la cuenca del río Sandía, formulado por PREDES, que comprende un capítulo sobre deslizamientos (PREDES, 2007).

Otro de los trabajos, importantes para la zona es el formulado por (Machaca, 2006), quien realizó la investigación “Vulnerabilidad de Movimientos en Masa y Riesgos en la cuenca del río Inambari”, para una Comisión Europea, Oxfam, PREDES.

La Autoridad Nacional del Agua (ANA) presentó un estudio sobre poblaciones vulnerables por activación de quebradas, presentando un mapa de ubicación mas no a nivel de detalle, donde se menciona 15 viviendas en riesgo, 60 personas afectadas directamente y 80 personas afectadas indirectamente (ANA, 2015).

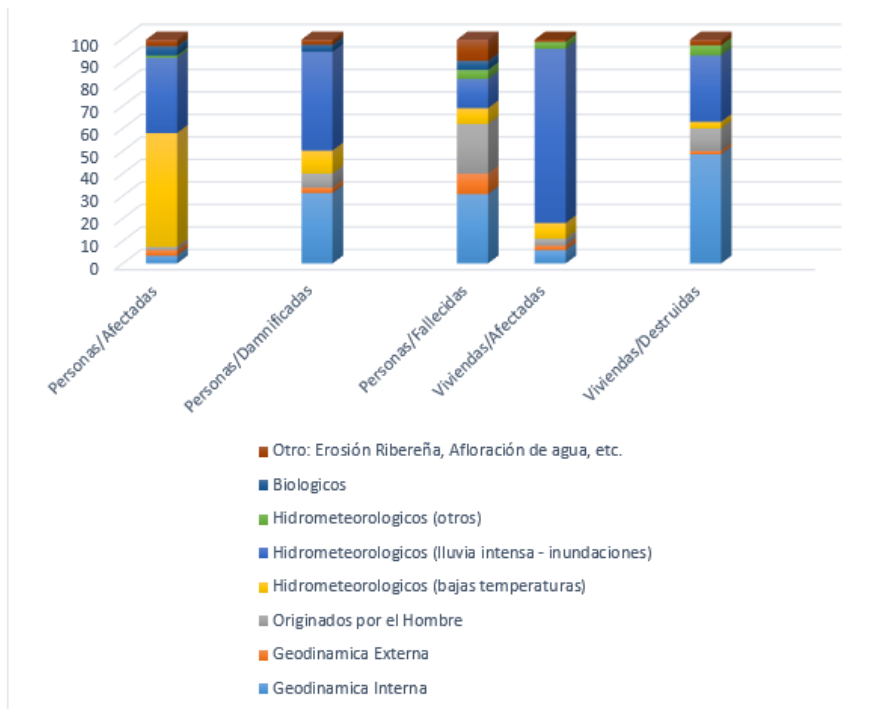


Figura 1. Tipos de eventos registrados en el Perú (PCM, 2014).

2.2. CONCEPTOS DE GESTIÓN DE RIESGOS

El territorio de la república del Perú es un área propensa a desastres. Su posición cerca a Ecuador y a la placa tectónica de Nazca crea un alto potencial para varios tipos de desastre en relación con la hidrometeorología, como son las actividades volcánicas, deslizamientos, inundaciones, sismos, aluviones (huaicos), como se ve en la figura 1. El fenómeno del cambio climático incrementa posibles desastres hidrometeorológicos (SINAGERD, 2014).

Peligro/Amenaza, Representa el fenómeno físico relacionado con el ambiente natural (p. ej., lluvias intensas, aumento del nivel del mar, heladas, etc.) que tiene el potencial de causar daños y pérdidas a la propiedad, la infraestructura, los medios de subsistencia, la prestación de servicios y los recursos ambientales.

Vulnerabilidad, Representa la propensión o predisposición de una comunidad, sistema o activo a verse afectado negativamente por una determinada amenaza. En un sentido

amplio, debe incluir factores económicos, sociales, geográficos, demográficos, culturales, institucionales, de gobernanza y ambientales.

Riesgo, Cuantifica y clasifica las consecuencias potenciales de un evento de peligro en las áreas y receptores investigados (es decir, elementos potencialmente en riesgo) combinando peligro, exposición y vulnerabilidad. Puede expresarse en términos probabilísticos o relativos/semicuantitativos. El **riesgo de desastre**, se refiere a las posibles pérdidas por desastres, en vidas, estado de salud, medios de subsistencia, activos y servicios, que podrían ocurrirle a una comunidad o sociedad en particular durante un período de tiempo específico en el futuro (Gallina et al., 2016). Esto quiere decir que el riesgo es una función de ambos componentes:

$$\text{Riesgo} = f(\text{Peligro}, \text{Vulnerabilidad})$$

2.2.1. Gestión de riesgos

Es bien conocido el aspecto cíclico del concepto de gestión de riesgo de desastre (Daniel & Krummenacher, 2013) (Figura 2), aunque ha sido criticado en los últimos años por conceptualizar y representar los desastres de una manera demasiado simplista que generalmente comienza con un "evento" de desastre y, posteriormente, conduce a otro desastre más y existen otros conceptos referidos a un ciclo de disminución del riesgo en el tiempo (Figura 3) (Bosher et al., 2021).

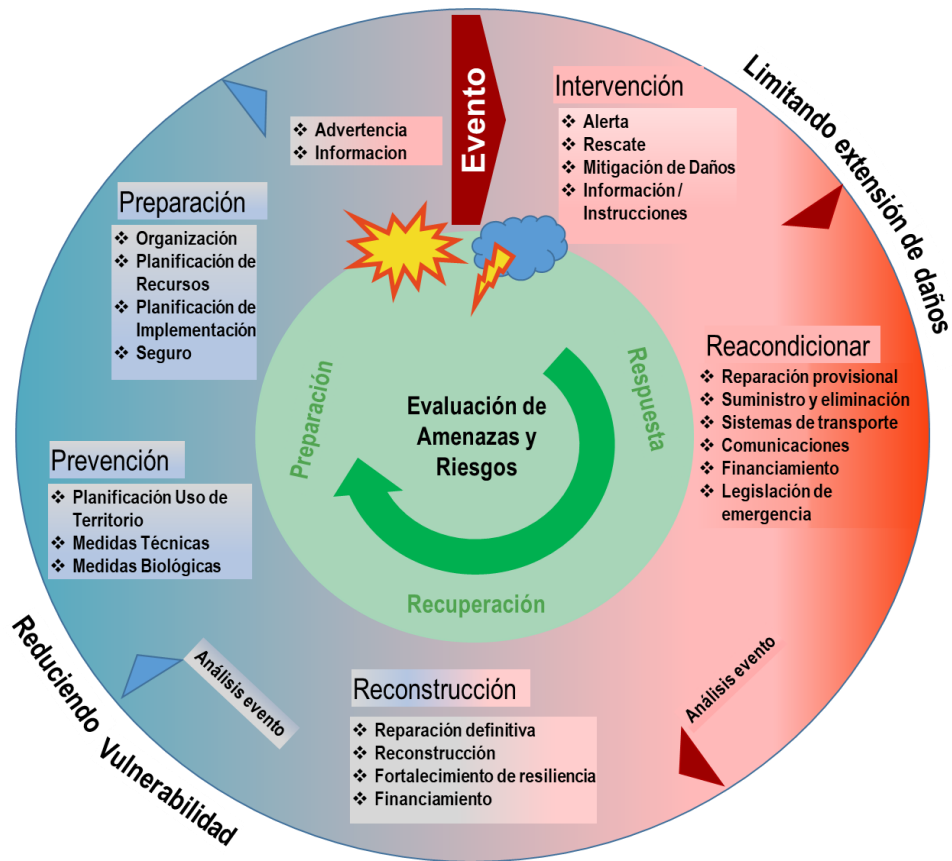


Figura 2. Fases involucradas durante el ciclo de gestión de riesgos de desastres

Fuente: (Daniel & Krummenacher, 2013).

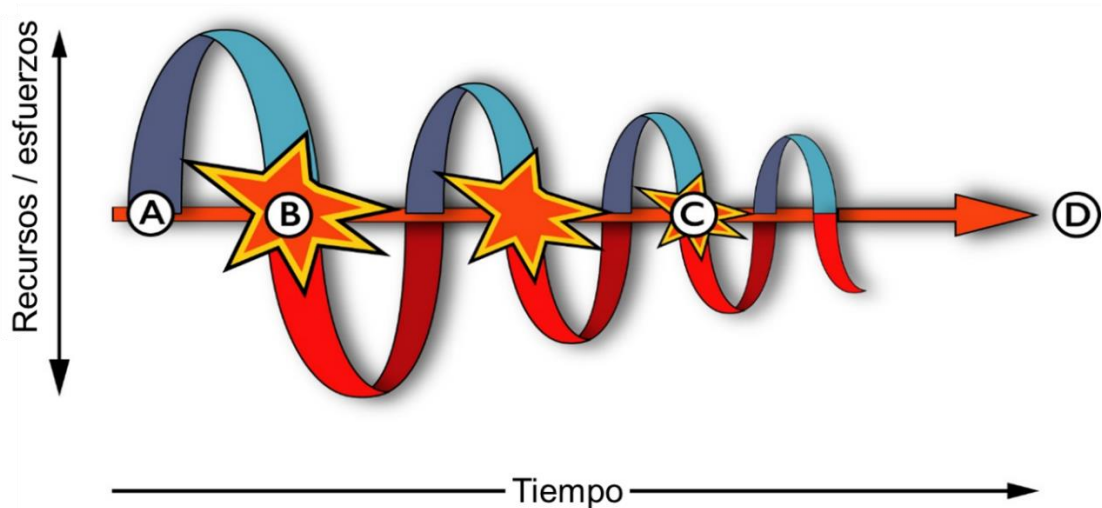


Figura 3. Enfoque alternativo de gestión de riesgos integrada

Fuente: (Bosher et al., 2021).

2.3. DEFINICION DE DESLIZAMIENTOS

Varnes (1978) ha sugerido una simple definición de deslizamiento: el movimiento de una masa de roca, escombros, o tierra abajo de un talud. En este trabajo, el término deslizamiento cubre todos los movimientos de talud que ocurren desde causas naturales o hechas por el hombre excepto subsidencia del terreno.

Algunos deslizamientos se mueven lentamente y causan daños gradualmente, mientras que otros se mueven rápidamente así destruyen propiedades y toman vidas repentinamente e inesperadamente. La gravedad es la fuerza que conduce el movimiento de deslizamiento (Suárez Díaz, 2014a).

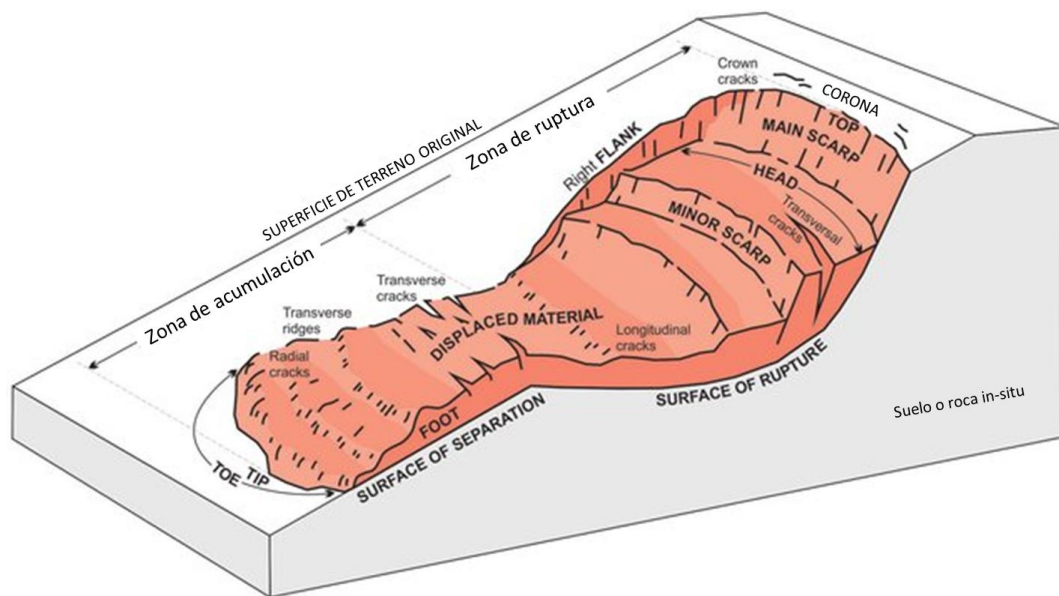


Figura 4. Características importantes de un deslizamiento.

Fuente: (Griffiths & Whitworth, 2012)

2.3.1. Nomenclatura en deslizamientos

Las dimensiones y geometría de deslizamientos han sido descritas por (Griffiths & Whitworth., 2012) usando el dibujo de la Figura 4. Subsecuentemente, la International Association of Engineering Geologists (IAEG) ha creado una Commission on Landslides



que ha producido la sección y las definiciones que se muestran en la figura 5. Pueden existir algunas variaciones para estos términos de uso común.

Los deslizamiento o movimiento en masa típicos, con sus diversas partes y sus denominaciones se muestran en la figura 4, y son:

- 1. Cima:** El punto más alto del contacto entre el material perturbado y el escarpe principal.
- 2. Cabeza (*Head*):** Las partes superiores del material que se mueve a lo largo del contacto entre el material perturbado y el escarpe principal.
- 3. Escarpe principal (*main scarp*):** Corresponde a una superficie muy inclinada a lo largo de la periferia del área en movimiento, causado por el desplazamiento del material fuera del terreno original. La continuación de la superficie del escarpe dentro del material forma la superficie de falla.
- 4. Escarpe secundario (*minor scarp*):** Una superficie muy inclinada producida por desplazamientos diferenciales dentro de la masa que se mueve.
- 5. Corona (*Crown*):** El material que se encuentra en el sitio, prácticamente inalterado y adyacente a la parte más alta del escarpe principal.
- 6. Superficie de falla:** Corresponde al área debajo del movimiento que delimita el volumen de material desplazado. El volumen de suelo debajo de la superficie de falla no se mueve.
- 7. Superficie original del terreno:** La superficie que existía antes de que se presentara el movimiento.

8. Pie de la superficie de falla (*toe of surface rupture*): Línea de interceptación (algunas veces tapada) entre la parte inferior de la superficie de rotura y la superficie original del terreno.

9. Punta o uña (*tip*): El punto de la base que se encuentra a más distancia de la cima.

10. Base: El área cubierta por el material perturbado abajo del pie de la superficie de falla.

11. Costado o flanco: Un lado (perfil lateral) del movimiento.

Para definir las dimensiones de un movimiento se utiliza la terminología recomendada por el IAEG (Figura 5):

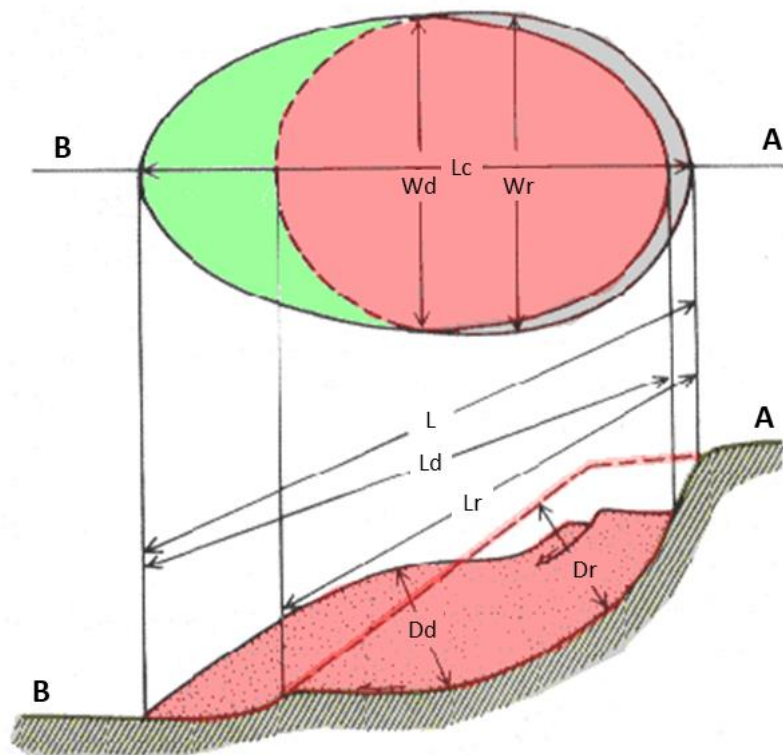


Figura 5. Características y dimensiones de deslizamientos para cálculo de volumen

Fuente: Cornforth (2005).

1. Ancho de la superficie de falla W_r



Ancho máximo entre los flancos del deslizamiento perpendicularmente a la longitud L_r .

2. Ancho de la masa desplazada W_d

Ancho máximo de la masa desplazada perpendicularmente a la longitud, L_d .

3. Longitud de la superficie de falla L_r

Distancia mínima desde el pie de la superficie de falla y la corona.

4. Longitud de la masa deslizada L_d

Distancia mínima entre la punta y la cabeza.

5. Profundidad de la masa desplazada D_d

Máxima profundidad de la masa movida perpendicular al plano conformado por W_d y L_d

6. Profundidad de la superficie de falla D_r

Máxima profundidad de la superficie de falla con respecto a la superficie original del terreno, medida perpendicularmente al plano conformado por W_r y L_r .

7. Longitud de la línea central L_{cl}

Distancia desde la punta o ña hasta la corona del deslizamiento a lo largo de puntos sobre la superficie original equidistantes de los bordes laterales o flancos.

8. Longitud total L

Distancia mínima desde la punta a la corona del deslizamiento.

2.3.2. Clasificación de deslizamientos

El sistema de clasificación de (Varnes, 1978) ha sido bien recibido y ha sido reiteradamente actualizado, una última adaptación fue publicada en (Cruden & Varnes, 1996). El objetivo de la versión actual de esta clasificación ha sido proveer definiciones y vocabulario que lleven al investigador a observar y describir un deslizamiento en el campo sucintamente y sin ambigüedades, como se muestra en la tabla 1.

Tabla.1. Clasificación de movimientos de ladera según tipo material

Tipo movimiento	Roca	Detrito (debris)	Tierra
Caida	1. Caída roca	2. Caída de detrito	3. Caída de suelo
Vuelco	4. Vuelco roca	5. Vuelco de detrito	6. Vuelco de suelo
Deslizamiento rotacional	7. Deslizamiento rotacional simple	8. Deslizamiento rotacional múltiple	9. Deslizamiento rotacional sucesivo
Deslizamiento traslacional	10. Deslizamiento traslacional roca	11. Deslizamiento traslacional de detrito	12. Deslizamiento traslacional de suelo
Expansion lateral	13. Rock spread	–	14. Earth spread
Flujo	15. Reptación roca	16. Flujo talus	17. Flujo de arena seca
		17. Flujo de detrito	22. Flujo de arena húmeda
		18. Avalancha de detrito	23. Flujo quick clay
		19. Solifluxion	24. Flujo de suelo
		20. Reptación de suelo	25. Flujo de suelo rápido
			26. Flujo de loess
Complejo	27. Rock slide-debris avalanche	28. Cambering, valley bulging	29. Earth slump-earth flow

Fuente: Hungr et al., (2014) basada en Varnes (1978)

Las clasificaciones se basan en el concepto de cómo las masas terrestres se ven afectadas por el movimiento, como se aprecia en la Figura 6.

Para cada uno de estas subdivisiones, los materiales están agrupados como (1) roca, (2) predominantemente material grueso (*debris*), y (3) predominantemente material fino (earth). Predominantemente grueso es definido considerando que 20–80% de partículas están en el tamaño grava/canto rodado (>2mm).

Esquemas de varios tipos de falla (excluyendo los composites) según Varnes (1978) están dados en la Figura 6 con comentarios abreviados.

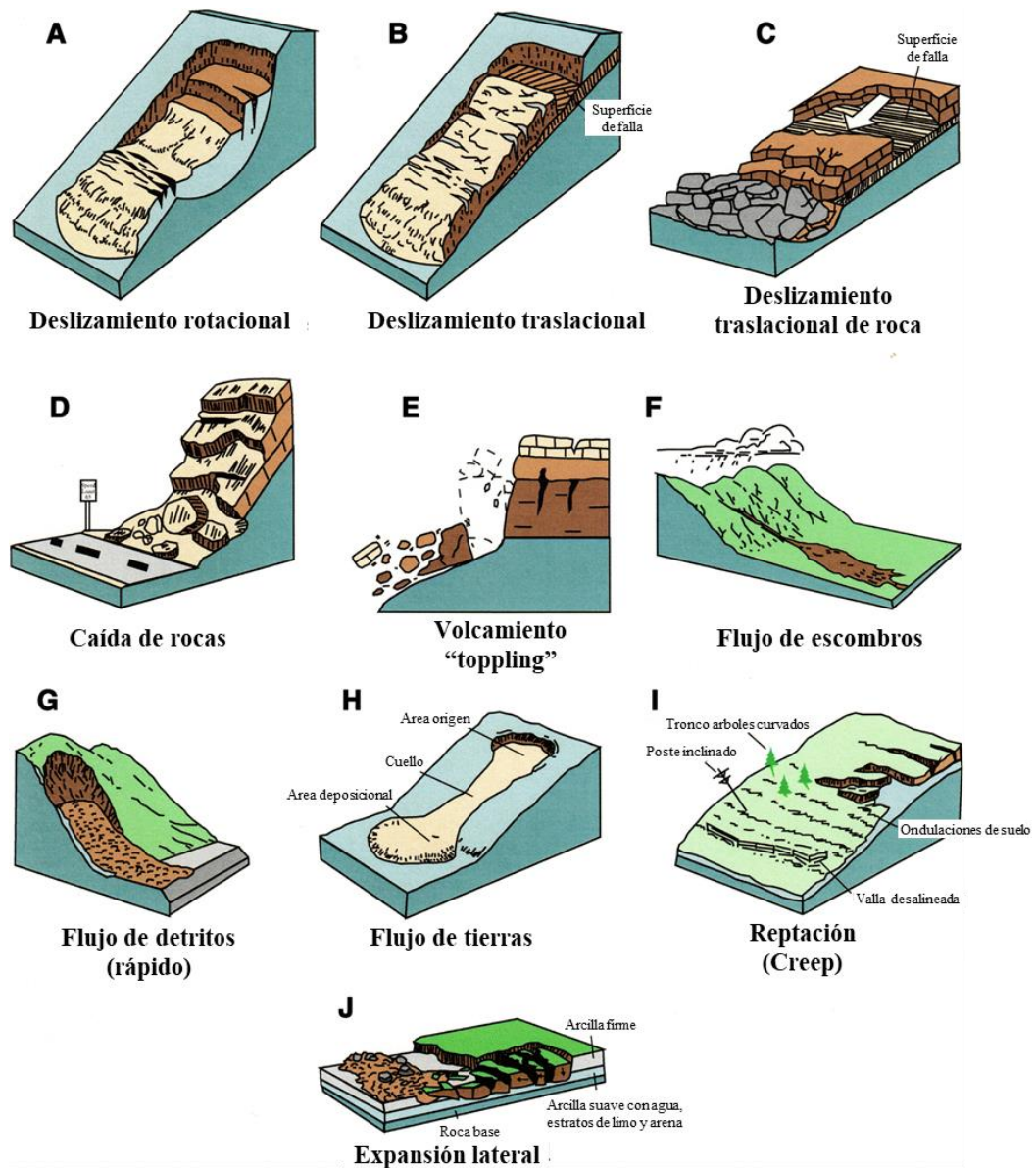


Figura 6. Clasificación de movimientos de masa en taludes (USGS, 2004).

2.3.3. Sedimentos y tipos de flujo

Según (Arancibia, 2012) existen los siguientes tipos flujos:

- Flujos de lodos
- Flujos hiperconcentrados
- Flujos de escombros / detritos

Concentración de sedimentos

Se trata de la relación Volumen de sedimentos / Volumen de sedimentos más agua.

Esta concentración nos indica el comportamiento del flujo según la Tabla 2.

Tabla 2. Concentración de sedimentos y tipo de flujo

Tipo de Flujo	Concentración de sedimentos		Características del flujo	
	En volumen	En peso		
Deslizamientos	0.65 – 0.80	0.83 – 0.91	No hay flujo; falla por deslizamiento de bloques	
	0.55 – 0.65	0.76 – 0.83	Derrumbe de bloques con deformación interna durante el deslizamiento, movimiento paulatino del terreno antes de fallar	
Flujo de lodo	0.48 – 0.55	0.72 – 0.76	Flujo evidente; deslizamiento lento sostenido por el flujo de lodo; deformación plástica bajo su propio peso, cohesivo, no se expande en la superficie	
	0.45 – 0.48	0.69 – 0.72	Flujo se extiende sobre la superficie, flujo cohesivo; algo de mezcla	
Inundación de lodo	Flujos hiperconcentrados	0.40 – 0.45	0.65 – 0.69	El flujo se mezcla fácilmente; muestra las propiedades fluidas en la deformación; distribuido en la superficie horizontal pero mantiene una superficie fluida inclinada; partículas grandes se depositan (peñones); aparecen ondas pero se disipan rápidamente.
		0.35 – 0.40	0.59 – 0.65	Deposición marcada de gravas y cantos rodados; se expande casi completamente sobre la superficie horizontal; aparece la superficie líquida con dos fases del fluido; las olas viajan en la superficie.
		0.30 – 0.35	0.54 – 0.59	Separación del agua en la superficie; las olas viajan fácilmente, la mayoría de las arenas y gravas se han sedimentado y se mueven como arrastre de fondo
		0.20 – 0.30	0.41 – 0.54	Se distinguen claramente las olas y ondas; todas las partículas descansando en el fondo en condición inmóvil
Inundación de agua		< 0.20	< 0.41	Inundación de agua con carga suspendida convencional y arrastre de fondo

Fuente: (O'Brien & Julien, 1988)



Flujo de lodos: Alta concentración de limos y arcillas, Flujos viscosos, Pulsos intermitentes, Baja velocidad, Concentración de partículas finas 90 kg/m³, Cohesión por mezcla suelo-agua.

Flujos hiperconcentrados: Predominan partículas granulares, No hay cohesión sino Dispersión, Deposito clasificado de partículas.

Flujo de detritos/escombros (debris flow): Los sólidos controlan el flujo, “Flujo Turbulento de granos”, Flujos turbulentos de dos fases: slurry (agua+finos) y sólida, Gran velocidad

El término “Flujo de Escombros” (“*debris flow*”) es usado aquí para describir el evento de rápido movimiento de masa que ocurre predominantemente en suelos poco profundos, limosos a gravosos sobre taludes abruptos durante periodos de precipitación excepcionalmente fuertes (Cruden & Varnes, 1996) (Figura 6).

“Escombro” define al material que contiene 20-80 por ciento de partículas granular-grosso más grandes que 2mm. Estos materiales pueden incluir cantos rodados a arcillas con cantidades de agua variables (Suárez Díaz, 2014a). El “flujo” se inicia en depresiones o cavidades sobre taludes abruptos y tiende a moverse pendiente abajo siguiendo canales de drenaje preexistentes. La interface más común de movimiento está entre el contacto de la roca base-suelo, pero el resbalón puede también ocurrir dentro de suelos profundos. El flujo de escombros puede viajar por varios kilómetros antes de soltar su carga suspendida y llegar para descansar sobre un tramo de baja gradiente (Takahashi, 1991).



Los flujos de escombros se presentan en formas de ondas, y el pico (máxima altura) que alcanzan sucede detrás del frente de material grueso, de comportamiento laminar, seguido de material más fino (Arancibia, 2012).

Modelos matemáticos: Los modelos matemáticos para flujo en cauces se pueden clasificar en los siguientes

- Modelo de fluido Bingham: Flujo de Lodos
- Modelo de Manning (n): Avenidas de agua limpia
- Modelo reológico Cuadrático de (O'Brien & Julien, 1985)
- Modelo de fluido dilatante (Takahashi 1983): Fase líquida + Fase sólida
- Otras relaciones empíricas

Modelos empíricos

Descarga Pico: para estimar flujo de escombros granular, bajo la suposición que el volumen de flujo de escombros sería igual al volumen de material de deslizamiento, mostrado en la figura 7 (Rickenmann, 1999).

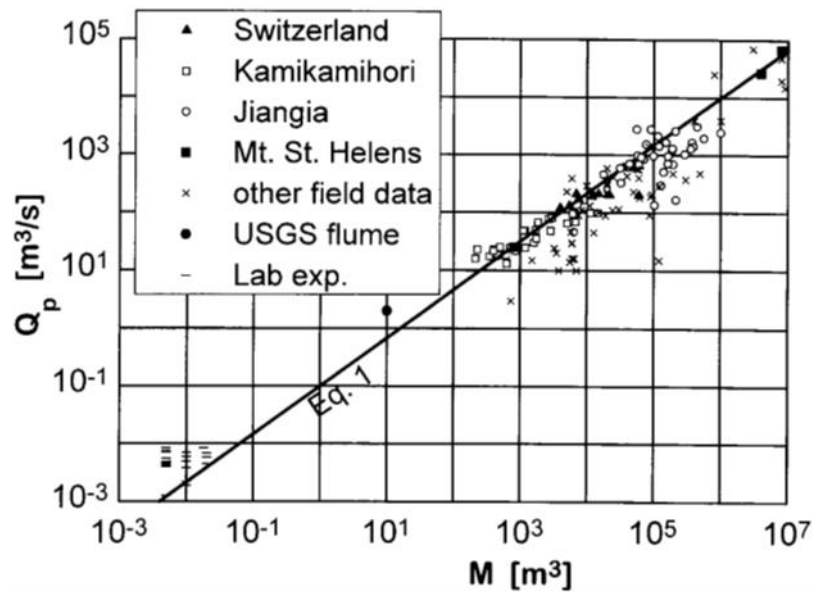


Figura 7. Descarga pico (Q_p) de flujos de escombros vs volumen (M) de flujo de escombros.

Descarga Pico (Q_p): El conocimiento de la descarga y la velocidad de flujo asociada son importantes cuando evaluamos la capacidad de acarreo del tramo del río o sección crítica, como, por ejemplo, bajo puentes. Según (Mizuyama, Kobashi, & Ou, 1992; Takahashi, 1991) para descargas granulares se tiene:

$$Q_p = 0.1M^{0.833}$$

M : Volumen del flujo de escombros (m^3)

Velocidad Media de Flujo (V): Utilizado en China y Japón (Rickenmann, 1999), se tiene una relación para predecir la velocidad, en este caso antes de la ocurrencia de un flujo de escombros granular.

$$V = 2.1Q^{0.33}S^{0.33}$$

V = velocidad de flujo de escombros (m/s)

Q = descarga máxima (m^3/s)



$S =$ pendiente local (m/m)

Distancia de Viaje (L): La distancia total del recorrido, L , de un flujo de escombros puede ser importante conocer para una delimitación aproximada de áreas potencialmente amenazadas. Se ha encontrado de desprendimientos de roca o sturzstrom que el gradiente medio de la trayectoria de flujo H_e / L depende en cierta medida del volumen de la caída de rocas. La siguiente ecuación de regresión entre L , M y H_e se ha derivado de los datos de campo de flujo de escombros (Rickenmann, 1999):

$$L = 1.9M^{0.16} H^{0.83}$$

2.4. CAUSAS TÍPICAS DE MOVIMIENTO DE MASAS

Un análisis de estabilidad de taludes requiere una buena comprensión del mecanismo de los deslizamientos de tierra, para determinar los factores más importantes. La iniciación de deslizamientos de tierra es causada de manera compleja por un conjunto amplio y variado de factores que interactúan. Porque los procesos implicados ocurren en una manera continua desde causas a efectos (Vittorio De Blasio, 2011), de esta manera, una sola causa no sea el simple factor en un deslizamiento.

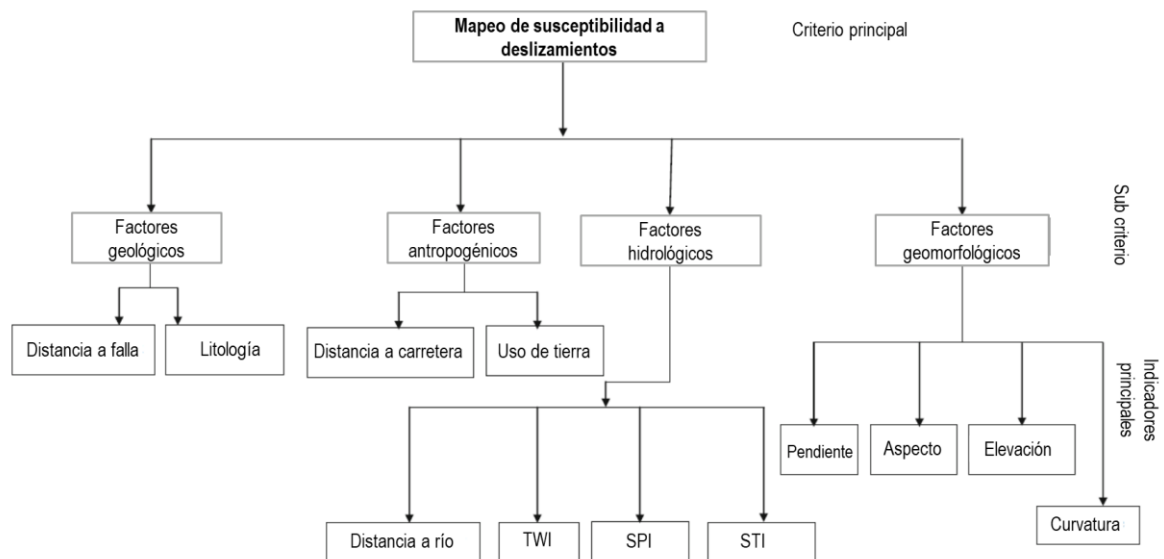


Figura 8. Factores influyentes en la iniciación de deslizamiento e índice de susceptibilidad.

Fuente: Pourghasemi et al. (2012).

Donde: TWI = Índice topográfico de humedad, SPI = Índice de potencia de la corriente, STI = Índice de transporte de flujo.

Existe, sin embargo, una diferencia entre las condiciones inherentes que afectan la estabilidad de un talud (**factores condicionantes**) y los procesos que actúan sobre aquellas condiciones (**factores desencadenantes**). Siguiendo este alcance, (Varnes, 1984) lista cuatro factores o condiciones que afectan la estabilidad: geológico, antropogénico, hidrológico y geomorfológico (Figura 8). Algunos autores incluyen otros factores tales como las propiedades del suelo y sismicidad.

Los deslizamientos ocurren cuando las condiciones inherentes de un talud son cambiadas por ciertos procesos o fuerzas. Estos procesos son agrupados en dos categorías básicas:



Aquellos que incrementan el **esfuerzo de corte** y aquellos que reducen la **resistencia cortante**. Este enfoque para evaluación de inestabilidad es llamado “análisis de equilibrio límite” y se expresa como:

$$FS = \frac{\text{Resistencia Cortante del material talud}}{\text{Esfuerzo Cortante actuante}} \quad (2.1)$$

Cuanto más alto es el valor del Factor de Seguridad (FS) es más estable el talud. Esfuerzos cortantes actuantes pueden ser incrementados a través de la remoción del soporte lateral o subyacente, imposición de sobrecargas (por ej. carga excesiva), esfuerzos transitorios o ascendentes y ladeo (Cruden & Varnes, 1996; Varnes, 1978).

Mientras un simple **detonante** puede causar de hecho que un talud falle, un número de otros factores **condicionantes** son a menudo necesarios para contribuir a una reducción en la resistencia cortante del material en orden a finalmente iniciar. Primero, sin embargo, la topografía debe tener un suficiente talud. Usualmente los taludes de 35° o mayores son propensos a inestabilidad simplemente por los efectos de la gravedad. Pero a menudo otros factores, tales como suelo y cohesión de raíces, incrementan la resistencia cortante de materiales en un talud (Glade, Anderson, & Crozier, 2005).

Precipitación y aguas subterráneas

Un gran número de movimientos de masas son generados por una excesiva cantidad de agua, usualmente debido a una fuerte precipitación o una moderada precipitación de varios días de duración (Kuroiwa, 2002). Pudiendo existir taludes complejos con una interacción transiente saturado-no saturado que usualmente conduce a un nivel freático ascendente que podría ser muy difícil predecir.



La acumulación de flujo en una cierta área debido a la precipitación conducirá a incrementar la presión de poros como una función de tiempo en un punto en la potencial superficie de deslizamiento. Si la presión de poros incrementa a lo largo de toda la longitud de la superficie de deslizamiento, como será en un pequeño talud durante una precipitación extendida, el factor de seguridad disminuirá. Esto es un común en la estación de lluvias o siguiendo los eventos de precipitación importantes (Montalvo-Arrieta, Chávez-Cabello, Velasco-Tapia, & Navarro de León, 2010). El mecanismo de accionamiento de tal falla es el incremento en la presión de poros a lo largo de los planos potenciales.

El agua subterránea puede quitar por lavado sustancias cementantes solubles y así debilita los lazos inter-granulares y reduce la resistencia mecánica del terreno.

2.4.1. Efecto de la vegetación

La influencia de la vegetación en la estabilidad de taludes ocurre a través de la modificación del agua en el suelo, el cual a su vez causa una variación en la succión del suelo o presión de poros. La vegetación también mejora la estabilidad de un talud a través del reforzamiento de raíces. (T. H. Wu, McKinnel, & Swanston, 1979) Investigaron la estabilidad de taludes antes y después de la remoción de cobertura forestal y concluyeron que la resistencia cortante contribuido por las raíces de árboles es importante para la estabilidad de taludes. El estudio indica que la vegetación podrá contribuir la resistencia cortante de los taludes a través del refuerzo de las raíces. (W. Wu & Sidle, 1995) demostraron que la falla del talud ocurrirá si los efectos de la vegetación no es tomado en cuenta en el análisis de estabilidad de taludes.

Por otra parte, los árboles existentes pueden disminuir considerablemente la generación de deslizamientos poco profundos o superficiales, debido, principalmente, a



la acción de sus raíces que actúan como un sistema de refuerzo, aumentando la resistencia al corte del suelo dentro de los primeros metros de profundidad (Sanhueza & Villavicencio, 2012).

2.4.2. Acciones antropogénicas

La construcción de vías es una principal contribución a la falla de taludes y su mitigación puede a menudo incurrir grandes costos públicos. Excavación al pie de los taludes abruptos para emplazar una vía, canal, cantera, y otro tipo de corte, remueve el soporte y puede inducir movimiento de taludes (Cruden & Varnes, 1996).

Los rellenos de carreteras y el tráfico también incrementan el peso de un talud, incrementando esfuerzos de corte en materiales. En áreas desarrolladas, la saturación del talud puede ocurrir, aun durante eventos de recarga moderada, por escorrentía concentrada desde desvíos de sistemas drenaje durante construcción de vías y desde estructuras hechas por el hombre tales como tubos dren, edificaciones, y superficies impermeables pavimentadas (Aversa, Cascini, Picarelli, & Scavia, 2016).

La vegetación a menudo actúa para estabilizar taludes e incrementa la resistencia cortante y cohesión de raíces. Follaje intercepta precipitación mientras que raíces y tallos extraen humedad desde el suelo (reduciendo la presión de poros de agua), incrementa rugosidad superficial y proveen una red entrelazamiento que fortalece sedimento no consolidado (Suárez Díaz, 2014b). La remoción de vegetación por actividades tales como cosecha de madera, disminuye cohesión de raíces y puede disminuir resistencia cortante e iniciar una falla.



2.4.3. Actividad tectónica

En áreas tectónicamente activas, erupciones volcánicas y sismos a menudo causan inestabilidad y deslizamientos provocando ascenso o volcamiento (Glade et al., 2005).

La actividad tectónica regional está gobernada por la interacción de las placas de Nazca y América del Sur. Los principales rasgos tectónicos de la región occidental de Sudamérica, como son la Cordillera de los Andes y la fosa oceánica Perú-Chile, están relacionados con la alta actividad sísmica y otros fenómenos geológicos como una consecuencia de la interacción de las dos placas convergentes, cuya resultante más notoria es, precisamente, el proceso orogénico contemporáneo constituido por los Andes (Pomachagua, 2000).

La placa América del Sur se genera en la cadena meso-oceánica del Atlántico, avanzando con una dirección predominante (NW), con velocidad promedio de 2 a 3 cm/año y converge con la Placa de Nazca en su extremo occidental, constituido por la costa Sudamericana del Pacífico.

La colisión de la placa oceánica de Nazca y la placa continental América del Sur es causante de todos los procesos orogénicos que se desarrollan en esta parte del continente, dentro de los cuales se puede mencionar los siguientes rasgos estructurales (Pomachagua, 2000).

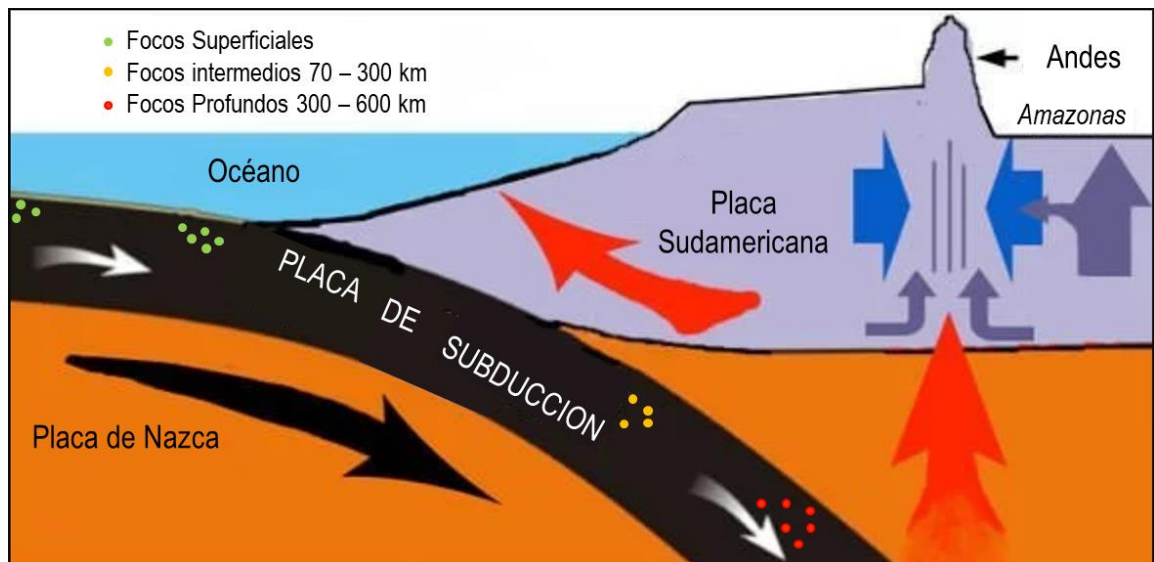


Figura 9. Corte transversal placas tectónicas zona del Pacífico sur.

Fuente: <https://learnodo-newtonic.com/chile-earthquake-1960-facts/>

2.4.4. Material geológico y estructura

Algunos tipos de suelos y rocas pueden ser esencialmente débiles y pueden influenciar inestabilidad de talud. Suelos orgánicos y arcillas naturalmente tienen baja resistencia al corte y son particularmente por procesos intemperización (Cruden & Varnes, 1996). Un estrato de suelo arcillo predominantemente puede prevenir infiltración vertical de agua y causa un aumento de presión de poros del agua, mientras que también proveniente una superficie lisa de baja fricción para la falla. En contraste, suelos arenosos comúnmente erosionan rápidamente a pesar de la rápida infiltración y los taludes arenosos pueden ser socavados por ríos y escorrentía (Alfaro, 2011). Un suelo superficial permeable sobre un estrato duro, impermeable de roca puede también ser susceptible a movimiento de masa.

Como el agua se acumula y viaja a lo largo de la interface roca regolito, cohesión entre estratos disminuye y provee un alisamiento, baja-fricción en la superficie de deslizamiento (Takahashi, 2014).



2.4.5. Influencia de sismo

Sacudidas del terreno causado por sismos, explosiones a grande escala, vibración por vientos fuertes y vibraciones mecánicas todas afectan al equilibrio del talud tomando en cuenta cambios temporales de esfuerzos causado por oscilaciones de diferentes frecuencias. En arena fina saturada de agua y arcillas sensitivas, el desplazamiento y rotación de granos pueden resultar en licuefacción brusca del suelo. Movimiento de corteza terrestre es acompañado por grandes deformaciones de la superficie de terreno y destrucción de taludes de montañas.

La probabilidad de ocurrencia de los sismos, la intensidad que tendrían los sismos dentro del área de interés de la zona en estudio, es de mucha importancia para la zona de la cuenca de Cuyocuyo, tanto a nivel urbano, rural, vías de acceso, entre otro tipo de obras, por lo que permitirá realizar mejores diseños estructurales, estimar daños que puedan causar esté en las obras que se realicen en la zona y calcular los posibles efectos en las poblaciones aledañas. Por lo que es importante desde el punto de vista humano sino también de pérdidas económicas.

2.5. ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES

El factor de seguridad es un concepto es introducido para cuantificar el grado de estabilidad de una simple masa de suelo. También en este método, los modos potenciales de falla, identificados por el análisis cinemático, son analizados posteriormente por introducción de varias cargas tales como la gravedad, fuerza hidrostática, sobrecargas, y otras fuerzas externas (Huang, 2014). Dos alcances básicos para análisis de estabilidad de taludes de suelo con respecto al modo de falla son: (1) Análisis de Equilibrio Limite y (2) Análisis de deformación. La mayoría de los métodos están disponibles para la primera categoría. El resultado final de este método es un simple Factor de Seguridad. Los

métodos varios usados para análisis de estabilidad de taludes dependen de las condiciones de sitio, topografía, homogeneidad y no homogeneidad del suelo y las suposiciones hechas según el tipo de análisis.

2.5.1. Método de las rebanadas (dovelas)

Los métodos utilizados actualmente dividen la masa inestable en dovelas o rebanadas verticales deslizantes (Duncan, Wright, & Brandon, 2014).

El plano de talud infinito (línea recta) discutido en la sección anterior no es el usualmente asociado con la mayoría de la falla de taludes, y en particular para taludes de extensión finita. La forma real de una superficie de deslizamiento en el caso de taludes finitos es curvilínea. Por conveniencia, esto es aproximado como circular. En esta suposición la superficie de falla i.e. el arco es subdividido en un número de dovelas verticales los cuales nos ayudan a tomar en cuenta la variación de algunas propiedades del suelo tales como cohesión, ángulo de fricción interna, peso unitario del suelo y el perfil del talud.

(A) Método ordinario de las dovelas

El método ordinario de las dovelas o Circulo sueco es un método general de análisis de estabilidad de talud. Puede ser usado para masas de suelo heterogéneos, depósitos estratificado condiciones completamente sumergidos y parcialmente sumergidos (Huang, 2014).

En este método, el arco de falla es subdividido en un número de tajadas como se muestra en la Figura 10. El espesor de las dovelas individuales es asumido a ser la unidad. El esfuerzo actuante en una típica dovela es el peso de la dovela, la normal y el esfuerzo cortante, presión de poros, y los esfuerzos efectivo normal y de corte en la interface de la

dovela inducida por la deformación. El deslizamiento de masa es dividido en dovelas en la manera normal y estas son numeradas como 1, 2, 3, etc., para facilitar la identificación.

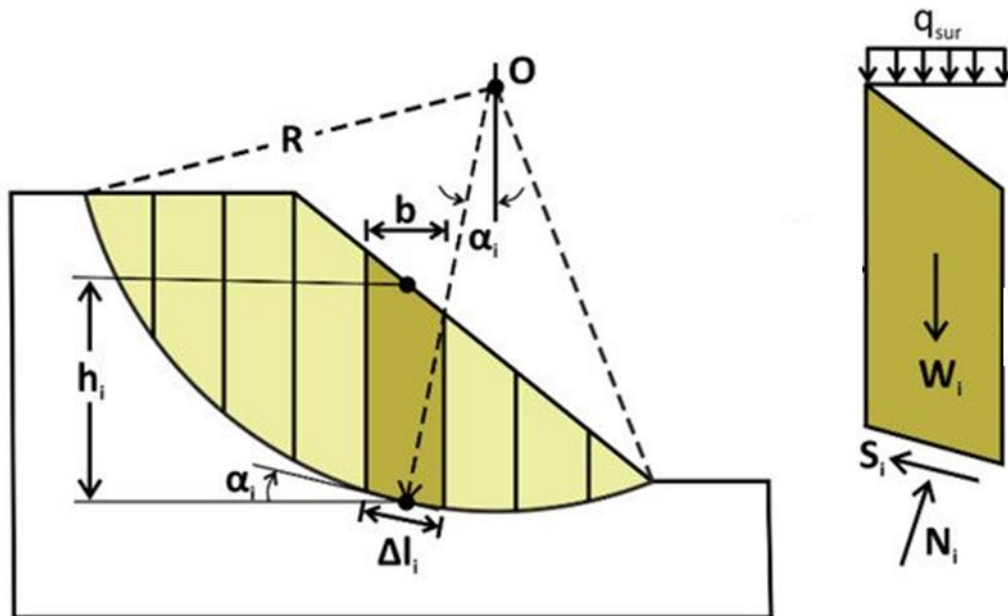


Figura 10. Diagrama de definición para el método de Fellenius.

Una simple superficie de deslizamiento es asumida, y los momentos totales son determinados por sumatoria de momentos de cada dovela. El factor de seguridad está definido como la relación de la suma de los momentos resistentes dividido por la suma de los momentos accionantes.

El factor de seguridad es igual a la relación de momentos resistentes y los momentos de volcamiento, y es como sigue:

$$F.S. = \frac{\sum_1^n c\Delta L + \sum_1^n (W \cos \alpha - u\Delta L) \tan \varphi}{\sum_1^n W \cdot \text{sen} \alpha} \quad (2.20)$$



donde,

c = cohesión en términos de esfuerzos efectivos (kN/m²)

ΔL = longitud de la base de un talud (m)

W = carga vertical de la dovela (kN)

α = ángulo positivo o negativo de la línea tangente en el centro de la base de la dovela (grados)

ϕ = ángulo de fricción en términos de esfuerzos efectivos (grados)

u = presión de poro promedio en la dovela (kN/ m²)

El análisis de estabilidad es repetido para un número de superficies prueba. El círculo que nos dé el mínimo factor de seguridad es el más crítico.

(B) Método de las dovelas de Bishop simplificado

El método convencional de círculo sueco satisface únicamente la ecuación de momento de equilibrio global. Ello no toma en cuenta el equilibrio de momento de las dovelas individuales, también deja de lado el efecto de las fuerzas actuando sobre los lados de las dovelas individuales, y, consiguientemente, es únicamente una aproximación del equilibrio de fuerzas de cada dovela. Los métodos de análisis los cuales satisfacen todas las ecuaciones de equilibrio son complicados y no convenientes para usar (Suárez Díaz, 2014a).

Bishop provee un método simplificado de análisis el cual considera las fuerzas en los lados de cada dovela. La condición de equilibrio es aplicada a las dovelas. El factor de seguridad es dado como sigue:

$$F.S. = \frac{\sum \frac{1}{m_a} [c \cdot b + (W - u \cdot b) \tan \varphi]}{\sum W \cdot \sin \alpha} \quad (2.21)$$

Donde,

$$b = \Delta L / \sec \alpha$$
$$m_a = \left[\frac{1 + \tan \varphi \cdot \tan \alpha}{F.S.} \right] \times \cos \alpha$$

El factor de seguridad determinado por el método de Bishop simplificado es más bajo y, su error es sobre el lado seguro. El error es generalmente menos del 2% y no más del 7% hasta en un caso extremo.

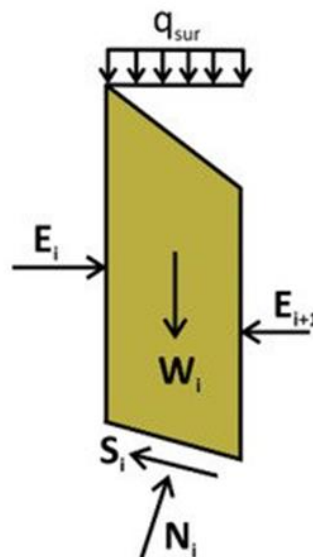


Figura 11. Diagrama de definición para el método de Bishop.

C) Otros Métodos

Existen metodologías más rigurosas tales como:

- Método de Janbu:

- Toma en cuenta superficies de falla no necesariamente circulares.



- Supone que no hay interacción entre dovelas.
- Se define una línea de empuje entre las dovelas.
- Toma en cuenta el equilibrio de fuerzas y momentos.

- Método de Spencer:

- Es un método más riguroso.
- Supone que en la interacción entre dovelas aparece una componente de empuje con ángulo de inclinación constante.
- Utiliza iteraciones, analiza tanto el equilibrio en momentos como en fuerzas en función.
- La convergencia hacia un mismo valor determina el FS correspondiente.
- Su empleo es tanto a fallas circulares como superficies generales.

- Elementos Finitos:

- Utiliza forma de la superficie de falla de cualquier tipo
- En análisis se realiza a través de esfuerzos y deformaciones o factores de resistencia.
- Cumple con todas las condiciones de esfuerzo. En los nodos se obtienen los esfuerzos y deformaciones, pero no hay factor de seguridad específico.

El método de análisis, el cual deberá ser usado para determinar el factor de seguridad, depende del tipo de suelo, los parámetros de resistencia del suelo y el tipo de



talud que está siendo diseñado o analizado. En la actualidad podemos encontrar software que realiza estos cálculos rápidamente tal es el caso de SLOPE/W de Geoslope, SLIDE de Rockscience, GEO5, estos con el método de equilibrio limite, así como PLAXIS 2D, Midas GTS NX que lo realizan por el método de deformaciones.

2.6. MÉTODOS DE PREVENCIÓN Y REMEDIACIÓN DE DESLIZAMIENTOS

2.6.1. Prevención de deslizamientos

Es más deseable la prevención que la remediación, donde la falla del talud sea probablemente rápida y hay un alto riesgo de daños y lesiones. Estas fallas incluyen flujo de deslizamientos, deslizamientos inducidos por sismo, y deslizamiento de rocas. (Cornforth, 2005; Duncan et al., 2014; Suárez Díaz, 2014b).

Los potenciales deslizamientos debido a estas causas pueden ser reducidas en una manera de costo-efectividad tomando estas acciones:

Identificando riesgos de deslizamiento a través de mapeo de peligros y experiencias pasadas, entonces implementando un plan de reducción de peligros sobre unas bases priorizadas.

Inspecciones periódicas de instalaciones que son vulnerables a deslizamientos, observar cualquier signo temprano de intranquilidad y, si es apropiado, tomar acciones preventivas para evitar un deslizamiento.

Mantenimiento y mejoramiento de medidas de drenaje en áreas vulnerables a deslizamientos.

Protección de instalaciones de andarivel, casas, y otros lugares de acceso público de deslizamientos inducidos por sismo.



2.6.2. Remediación y estabilización de deslizamientos

Necesitamos hacernos dos preguntas básicas:

1. *Cuál es la causa de los deslizamientos?*

2. *Cuál es la cantidad de remediación necesaria para mantener la estabilidad para condiciones futuras razonablemente previsibles?*

El enfoque recomendado para remediación de deslizamientos evita los comunes tropiezos de una mentalidad en desarrollo “una solución abarca todo” (por ej., instalar drenes horizontales o construir bermas de soporte) y ciegamente aplicando un factor de seguridad de “diseño” de 1.3 o 1.5 a un deslizamiento, cuando la cantidad de remediación necesaria para responder la pregunta 2 puede ser determinada racionalmente desde una comprensión de causalidad.

La pregunta 1 es a menudo el foco de reclamo legal sobre la responsabilidad para pérdidas económicas o de vidas. Sin embargo, las razones técnicas para la determinación causal son que este entendimiento a menudo puede llevar al más apropiado tratamiento y ayuda para determinar la cantidad de tratamiento necesario.

Algunos ejemplos simples ilustrarán la relación entre causalidad y tratamiento:

- Un canal que se filtra provoca inestabilidad de un talud cercano.

Causa: Nivel de agua subterránea elevado debido a filtraciones de agua

Tratamiento posible: (i) revestir el canal, (ii) crear una barrera de infiltración colina abajo, (iii) instalar una zanja de drenaje para aminorar nivel de agua subterránea detrás de los niveles antes del canal.



- El proyecto de ensanchamiento de carretera causa falla en el talud de corte.

Causa: Descarga del pie del talud

Tratamiento posible: (i) construir muro estructural, (ii) elevar nivel de carretera para restaurar terreno, o (iii) reubique carretera, y otras opciones. Sin embargo, el conocimiento que el talud fue estable antes del corte que ensancha la vía permite al diseñador calcular cuanta fuerza es necesaria para volver a la estabilidad anterior.

- El deslizamiento se desarrolla desde erosión en un talud de corte.

Causa: Pérdida de terreno desgasta el talud

Tratamiento posible: (i) control de infiltración con un manto de filtro, (ii) instalar drenes horizontales para reducir infiltración en la cara, o (iii) reestablecer cara del talud original, incluyendo suficiente drenaje para prevenir erosión futura.

La Pregunta 2 generalmente requiere un margen extra de seguridad a ingresar en la remediación a tener en cuenta para razonables condiciones futuras previsibles. Por ejemplo, es improbable que la tormenta que provocó un deslizamiento sea la más pesada probablemente a ser experimentada durante la vida útil de la instalación. Por consiguiente, el diseño remediador debería asumir que algunos niveles de agua subterránea más altos (pero razonables) ocurrirán en el futuro.

Cuando se involucran cálculos de estabilidad, un margen extra de seguridad toma en cuenta la incertidumbre en el análisis. El geotecnista diseñador de la remediación de un deslizamiento tiene distintas ventajas sobre un análisis de estabilidad de talud convencional. Las ventajas son: (i) el factor de seguridad se sabe que es 1.00 en un deslizamiento a comienzo de la falla; (ii) la forma de la superficie de deslizamiento puede



ser medida por inclinómetros; y (iii) presiones de poros en la actual superficie de deslizamiento puede ser medida. Así, un retro análisis (back analysis) del deslizamiento en la falla puede ser modelado con buena precisión, permitiendo análisis paramétrico (variaciones de resistencia cortante y agua subterránea) a ser examinado. Debido a que los tratamientos remediadores y el retro análisis son realizados sobre la misma sección transversal son estudios comparativos (“antes” y “después”).

Adicionalmente (Hearn, 2011) tipifica los deslizamientos y da solución a cada uno de estos tipos de talud, principalmente dados desde el enfoque de una obra vial, como se muestra en la figura 12, los deslizamientos pueden impactar a una carretera:

- Como falla en el talud de corte (tipo 1);
- Como falla en el talud de relleno (tipo 2);
- Como falla en la ladera natural encima de la vía (tipo 3)
- Como falla regresiva en talud abajo de la vía que remueve el soporte de parte o toda la vía (tipo 4); o
- Como falla en talud entero sobre la que se construye la carretera (tipo 5).

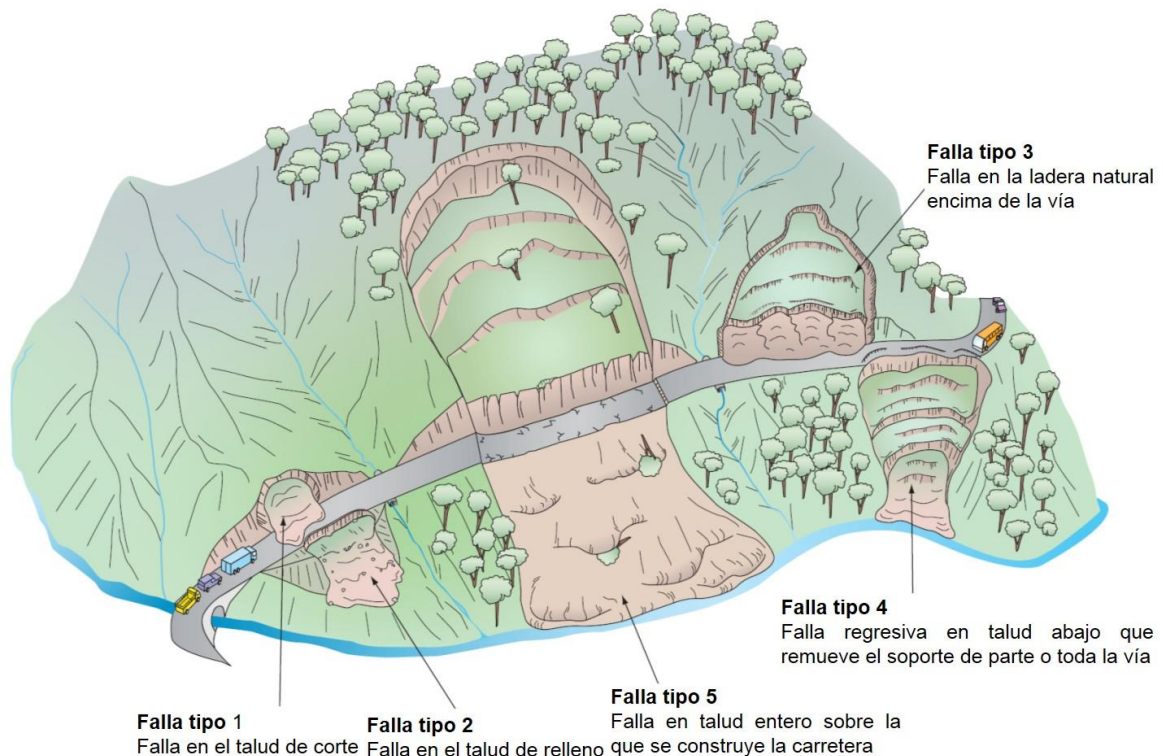


Figura 12. Fallas comunes en taludes de carreteras montañosas (Hearn, 2011).

Un resumen de estos enfoques, que se podrían plantear para la zona de estudio, en sus diferentes taludes, ya sean naturales o artificiales, se muestran en la tabla 4, cabe indicar que no todas las posibilidades serían adecuadas debido a las características de la zona.

Varios métodos de estabilización de taludes y deslizamientos son resumidos en la Tabla 3. A menudo uno o más de estos esquemas pueden ser usados conjuntamente. Esquemas I al V son listadas aproximadamente en orden de costo incremental. Excavación (esquema I) y Drenaje (Esquema II) son con frecuencia los esquemas más efectivos para deslizamientos de tamaño pequeño a medio. Contrafuertes o rellenos de bermas (esquema III), pueden ser usados para deslizamientos medianos a grandes previendo un área que esté disponible para acceso de equipo y para el acopio temporal de suelos excavados. Estructuras de retención (esquema IV) no son generalmente usados

para grandes deslizamientos porque el costo es elevado. Los métodos mostrados en el esquema V, técnicas especiales, son generalmente usados bajo condiciones inusuales los cuales los hace más efectivos o económicos que otros procedimientos (Cornforth, 2005; Duncan et al., 2014; Hearn, 2011; Turner & Schuster, 1996).

Tabla 3. Métodos de ingeniería comúnmente aplicados a cada tipo de falla.

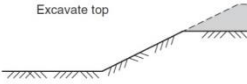



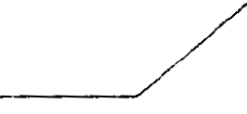


Tipo de Falla	Manejo de Ingeniería				
	Evitar	Remover	Estabilización	Protección	Aceptación
1 Estas fallas suelen ser activadas como resultado de excavación de talud y por tanto evitación durante selección del trazo no suele ser una opción.	fallas ser de escombros de la una opción de caso lo más pequeño la puede del no	La eliminación de restos de escombros en el caso de fallas más pequeños si el talud restante es estable y se puede proteger contra la erosión.	Puede lograrse generalmente a través de movimiento de tierras, drenaje y estructuras de retención (ver Tabla 4).	Muros de atrapadores o vallas pueden proporcionarse para proteger la caída de escombros	Las pequeñas fallas en la carretera pueden ser aceptadas si la eliminación, de estabilización o protección de la fuente es demasiado difícil o costosa en comparación con el daño causado.
2 Cambie la carretera hacia ladera evitar pendiente relleno debajo. embargo, puede iniciar fallas de tipo 1 y 3.	la posible para una de relleno. Sin extracción completa lugar a pérdida de ancho de carretera.	No suele ser cuando hay grandes taludes. También una extracción parcial dará a la pérdida de la superficie de la carretera.	Esto se logra generalmente mediante excavación y recompactación, drenaje mejorado o mediante el uso de estructuras de retención bajo superficies de falla.	La construcción de los muros de borde y contención del relleno de carretera fundada debajo de las superficies de falla puede aislar la carretera del talud de relleno fallada.	Los movimientos en curso que causan la pérdida progresiva de todo o parte de la carretera por lo general no se aceptan sin la pérdida de la función de la carretera.
3 Estas fallas son a menudo causadas por excavación del talud. Por tanto, evitación durante selección de rutas no suele ser una opción. En	No suele ser practicable dado grandes volúmenes, de accesos e incertidumbres sobre la estabilidad del talud remanente.	No suele ser practicable dado grandes volúmenes, de accesos e incertidumbres sobre la estabilidad del talud remanente.	Puede no ser realizable o económicamente factible lograr la estabilización en el caso de fallas de taludes grandes, aunque se pueden lograr mejoras a través de movimiento	Se pueden proveer muros de atrapadores o vallas para proteger la carretera de los escombros de caída de rocas (Sección C4), pero es probable que	Normalmente sólo es factible aceptar movimientos continuos si éstos son lentos y pueden ser acomodados por el mantenimiento.



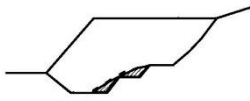
<p>los peores casos, donde los deslizamientos frecuentemente causan bloqueo de caminos, el realineamiento podría resultar rentable a largo plazo si existe una alternativa adecuada.</p>	<p>de tierras, sean apropiadas drenaje y para las fallas estructuras de más grandes de retención (Tabla talud de suelo. 4).</p>
<p>4 Evitar mediante la selección de alineamiento (nuevas carreteras) o realineamiento (carreteras existentes) si existe una alternativa adecuada. A menudo, las carreteras se desplazan hacia la ladera para evitar el desarrollo de problemas abajo. Sin embargo, esto puede iniciar fallas de tipo 1 y 3.</p>	<p>Si la falla del talud es local a la carretera, entonces la estabilización por estructuras de retención y drenaje puede ser posible, aunque es improbable a bajo costo. La construcción de los muros de borde y la contención del relleno de la carretera fundada debajo de las superficies de falla puede usualmente ser aceptados sin la pérdida de la función de la carretera.</p>
<p>5 Evitar mediante la selección de alineamiento (nuevas carreteras) o realineamiento (carreteras existentes) si existe una alternativa adecuada.</p>	<p>La estabilización de deslizamientos grandes suele estar fuera del alcance de las carreteras de bajo costo. Normalmente la carretera no se puede proteger contra movimientos de tierra. Por lo general sólo es posible aceptar movimientos en curso si éstos son lentos y pueden ser acomodados por la reparación de la superficie de la carretera y drenaje. Se debe considerar una superficie de camino de grava.</p>

Fuente: Adaptado de (Hearn, 2011; Turner & Schuster, 1996)

Tabla 4. Métodos de estabilización de taludes y deslizamientos

Esquema	Método Aplicable	Comentario
I. Excavación		
 <p>Excavate top</p>	1. Reducir altura de talud por excavación encima del talud.	El área tiene que ser accesible para equipo de construcción. Es necesario un lugar apropiado para colocar suelo excavado. Algunas veces el drenaje es incorporado en este método.
 <p>Excavate bench</p>	2. Excavar una banqueta en la parte alta del talud	
 <p>Flatten slope</p>	3. Tendido del ángulo de talud.	
	4. Excavar completamente la masa de deslizamiento	
II. Drenaje		
	1. Drenes horizontales de diámetro pequeño, (hydraugers).	1. Más efectivo si llega al acuífero natural. Drenes son usualmente de flujo libre.
	2. Zanjas de subdren profundas y continuas. Generalmente a una profundidad de 5 a 15 ft.	2. El fondo de las zanjas deben tener pendiente para drenar y ser conectado con una tubería de salida. Debe colocarse tubería perforada en el fondo de las zanjas. La parte superior deberá cubrirse con material impermeable.
	3. Pozos verticales perforados. Generalmente de 18 a 36 pulgadas de diámetro.	3. Puede ser bombeado o conectado con una salida por gravedad. Varios pozos en una fila unidas al fondo pueden formar una galería de drenaje.
	4. Mejora del drenaje superficial a lo largo de la parte superior con zanjas abiertas o canales pavimentados. Sembrar plantas en el talud con raíces profundas y resistentes a la erosión.	4. Buena práctica para la mayoría de los taludes. Dirigir la descarga fuera de la masa deslizante.

III. Contrafuerte de tierra o roca (o bermas de relleno)



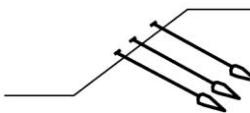
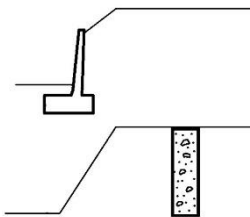
1. Excavación de masa deslizada y reemplazo con tierra compactada o relleno de contrafuerte de roca triturada. El pie del contrafuerte debe reposar en suelo firme o roca por debajo del plano de deslizamiento. Se utiliza manto de drenaje con salida de flujo por gravedad detrás del relleno de contrafuerte.

2. Utilización de bermas de tierra compactada o roca colocados en el pie y más allá del pie. Debe proporcionarse drenaje detrás de la berma.

1. Acceso para equipo de construcción y área de acopio temporal requerido. Suelo excavado puede usualmente ser usado en relleno. Calzaduras de estructuras existentes puede ser requerido. Se puede realizar en secciones cortas si la estabilidad durante la construcción es crítica.

2. Se requiere suficiente ancho y espesor de las bermas de modo que la falla no ocurra por debajo o a través de las bermas.

IV. Estructuras de retención.



1. Muro de Retención – gravedad o cantiléver

2. Pilotes verticales vaciados en sitio, con la base cimentada por debajo del plano de falla. Generalmente de diámetro de 18-36 pulgadas y espaciamiento de 4 – 8 pies.

3. Pilotes verticales vaciados en sitio anclados o batería de pilotes o bloques de cimentación. La base de los pilotes por debajo del plano de falla. Generalmente de diámetro de 12 -30 pulgadas y espaciamiento de 4 – 8 pies.

4. Pernos de anclaje en roca y suelo.

5. Uso del Suelo reforzado con geosintéticos (geotextiles, geomallas, geoceldas, etc.)

1. Usualmente costosos. Los muros de cantiléver pueden ser anclados.

2. El espaciamiento deberá ser tal que el suelo arquee entre pilotes. Puede utilizarse una viga superficial para amarrar los pilotes. Pilotes de gran diámetro (6 ft) pueden utilizarse para deslizamientos profundos.

3. Espaciamiento lo suficientemente cercano para que el suelo arquee entre pilotes. Pilotes pueden ser amarrados con viga superficial.

4. Pueden ser usados para taludes altos, y en áreas muy limitadas. Un diseño conservador deberá ser usado, especialmente para soportes permanentes.

5. Especialmente útil en casos de refuerzo interno y externo de las masas del talud. Se pueden alternar con otros tipos de soluciones.



V. Técnicas especiales	<ol style="list-style-type: none">1. Grouting2. Inyección Química3. Electroosmosis (en suelos de grano fino)4. Congelamiento (Freezing)5. Calentamiento (Heating)	<p>1. y 2. Usado satisfactoriamente en varios casos. En otros casos no fue satisfactorio. En el presente, la teoría no está completamente desarrollada.</p> <p>3. Generalmente costoso.</p> <p>4. y 5. Métodos especiales que pueden ser evaluados específicamente en cada sitio. Pueden ser costosos.</p> <p>Todas estas técnicas deberán ser cuidadosamente evaluadas por adelantado para determinar los costos probables y efectividad.</p>
------------------------	---	--

Adaptado de Alva (2020); (Duncan et al., 2014).

2.6.3. Medidas para evitar desastres flujo de escombros

Según (Okubo, Ikeya, Ishikawa, & Yamada, 1997) la infraestructura de flujos de escombros puede ser clasificado en:

1. Obras para restringir la ocurrencia de flujo de escombros
2. Trabajos de captura de flujo de escombros
3. Obras que controlan dirección de flujo de escombros
4. Diques de formación de flujo de escombros
5. Zona de dispersión de bosque de flujo de escombros
6. Obras de deposición de flujo de escombros.

La práctica común es combinar múltiples unidades o diferentes estrategias, ya que una obra individual es en general insuficiente. El tamaño de la obra y la estrategia usada variará según las condiciones topográficas locales, factibilidad de construcción, costo,

importancia de la cuenca y fuerzas externas, la figura 13 muestra una infraestructura típica.

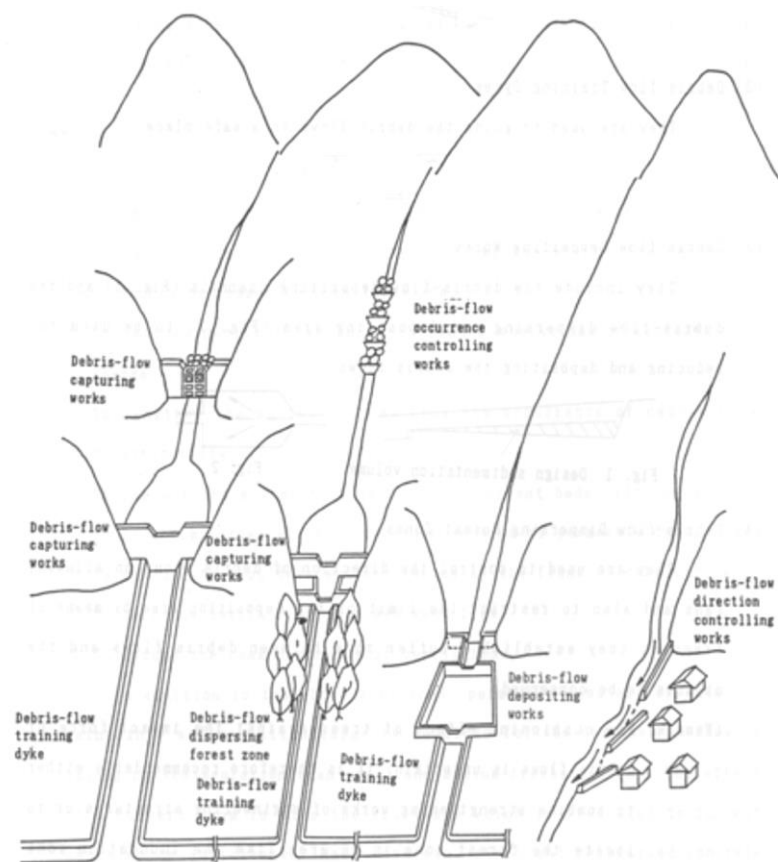


Figura 13. Medidas estructurales para flujo de escombros, Okubo et al. (1997).

Las áreas susceptibles a desastres flujo de escombros son, en general, estrechas y no son adecuados para la instalación de grandes estructuras. Por otra parte, el establecimiento de una sola estructura, ya sea un dique filtrante (check dam) o un canal de desvío, a menudo es insuficiente para hacer un flujo de escombros inofensivo. Además, por ejemplo, se dice que en Perú existen miles de quebradas propensas a flujo de escombros; vastas cantidades de costo y el tiempo sería necesario para hacer todas estas quebradas seguro, incluso a un nivel mínimo. Por lo tanto, una integración de las contramedidas efectivas duras y blandas es importante, se tienen las siguientes medidas (Mizuyama, 2008; Takahashi, 2014).

- presas de retícula de tipo abierto
- interruptor de flujo de escombros y la pantalla inferior de drenaje
- barrera de flujo de escombros o red de alambre
- contramedidas para carreteras y vías férreas

2.7. HIDROLOGÍA E HIDRÁULICA

2.7.1. Tormentas de diseño

El *Soil Conservation Service (SCS)* del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, produjo hietogramas sintéticos de tormentas para los Estados Unidos con duraciones de lluvia de 6 y 24 h ((Dingman, 2015). La figura 14 muestra las cuatro tormentas de 24 horas, denominadas Tipos I, IA, II y III, para las cuales dichos hietogramas pueden usarse geográficamente. El tipo II tendrá alguna relevancia para nuestro campo de estudio.

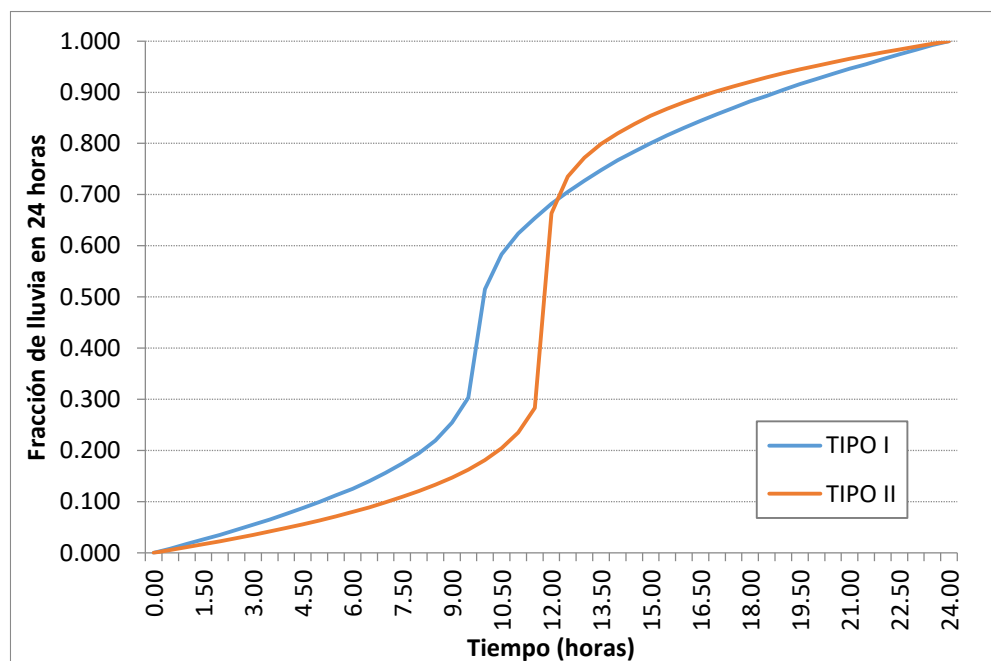


Figura 14. Hietogramas de lluvia de 24 horas del Soil Conservation Service.



2.7.2. Modelamiento hidrológico con HEC-HMS

Los procesos de lluvia-escorrentamiento se pueden simular en sistemas dendríticos de cuencas, con el uso de herramientas informáticas como HEC-HMS (*Hydrologic Engineering Center-Hydrologic Modeling System*) (Villon Bejar, 2010).

Siendo HEC-HMS un programa gratuito desarrollado en los EE. UU. en el dominio público. Centro de Ingeniería Hidrológica del Cuerpo de Ingenieros del Ejército. Es un desarrollo posterior del programa HEC-1, pero con muchas mejoras, como una interfaz gráfica y la conexión a un sistema de información geográfica (ArcGIS, QGIS).

El HEC-HMS se utiliza para modelar la respuesta hidrológica de una cuenca. Esto incluye modelos de cuencas hidrográficas, modelos meteorológicos, especificaciones de control y datos de entrada. El programa crea una simulación que combina modelos y especificaciones. Puede ejecutar corridas de precipitación o caudal, puede guardar toda la información del estado de la cuenca hidrográfica en un punto y puede iniciar nuevas ejecuciones de simulación basadas en la información del estado previamente guardada.

Los resultados de la corrida se pueden ver en el esquema grafico de la cuenca. Crea tablas de resumen globales y por cada elemento que incluyan información sobre el caudal pico y el almacenamiento total. De igual modo, el programa HEC-HMS es capaz de imprimir todos los gráficos y tablas (Fuente: Manual HEC_HMS)

El modelo contiene:

- Caracterización física de la cuenca hidrográfica
- Característica de los datos meteorológica



- Corrida de Simulación hidrológica
- Estimación de parámetros
- Reporte de simulaciones
- Acoplamiento con Sistemas de información geográfica

El periodo de la simulación se controla con las especificaciones de control que incluyen: la fecha y hora de inicio, de terminación y un intervalo de tiempo.

Las fases de trabajo del programa son:

- Separación neta de lluvia, es decir, cálculo de qué fracción de precipitación produce escorrentía directa.
- Calcular la escorrentía directa de esta precipitación neta.
- Suma de la escorrentía directa y el caudal base, si es preexistente.
- Calcular la evolución de la escorrentía base a lo largo del tiempo.
- Calcular la evolución del hidrograma a medida que avanza por los diferentes tramos de cauce.

HEC-HMS nos permite crear múltiples subcuencas, donde se realizan cálculos para los primeros 3 pasos descritos anteriormente. Luego se suman todos los flujos producidos y ruteados a lo largo de los tramos de río, proporcionando un hidrograma en la salida de las subcuencas o de la cuenca total.

2.7.3. Modelo hidráulico hidrodinámico unidimensional HEC RAS

Este software, fue desarrollado por el Centro de Ingeniería Hidrológica (Hydrologic Engineering Center) del cuerpo de ingenieros de la armada de los EE.UU. (Brunner, 2016). El sistema HEC RAS está diseñado para estudiar el flujo en cauces artificiales y naturales configurados en regímenes ramificados, subcríticos, críticos o mixtos. El procedimiento básico de cálculo se basa en la solución de la ecuación de energía unidimensional. La pérdida por fricción se estima mediante la ecuación de Manning; los causados por la contracción y expansión de la sección transversal, con los coeficientes correspondientes en la ecuación, bajo flujo no uniforme, con el empleo del método del paso estándar.

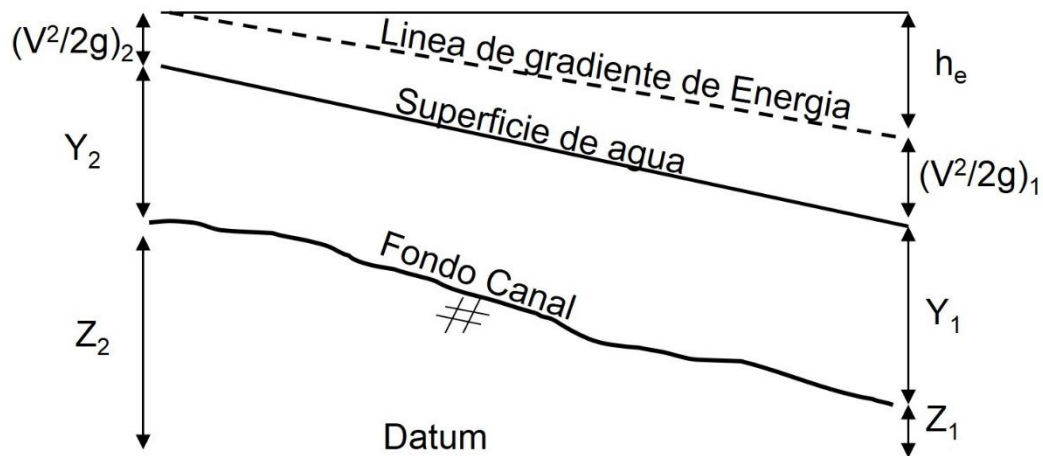


Figura 15. Método del paso estándar en HEC RAS.

$$Y_2 + Z_2 + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} = Y_1 + Z_1 + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} + h_e$$

$$h_e = L \bar{S}_f + C \left(\frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} - \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} \right)$$

$$\bar{S}_f = \frac{1}{2} (S_{f1} + S_{f2})$$



Donde Y_i Tirantes o las profundidades del flujo en la sección i , Z_i Cota o elevación del fondo en la sección i , V_i Velocidad media en la sección i , α_i Coeficiente de distribución de velocidades o de Coriolis correspondiente a la sección i , h_e Pérdida de energía en el tramo entre las secciones 1 y 2, L Longitud del tramo entre las secciones 1 y 2, S_{fi} Gradiente longitudinal de pérdidas por fricción en la sección i y C Coeficiente por pérdidas por contracción expansión (tabla 5).

Tabla 5. Coeficiente de expansión y contracción

	CONTRACCION	EXPANSION
Perdida no transición	0.0	0.0
Transición gradual	0.1	0.3
Secciones de puentes típica	0.3	0.5
Transiciones abruptas	0.6	0.8

Simulación de un hidrograma de precipitaciones para un periodo de 24 horas

El flujo de lodo y escombros se requiere las propiedades hidrológicas de la cuenca y su efecto en el hidrograma líquido. Por lo tanto, durante diferentes períodos de retorno, deberá crear un hidrograma con el software HMS para 24 horas.



CAPÍTULO III

MATERIALES Y METODOS

3.1. AREA DE ESTUDIO

La zona de estudio, políticamente se encuentra ubicada dentro del departamento de Puno, provincia Sandia, distrito Cuyocuyo, cuenca del río Inambari. Geográficamente la quebrada Jilari, se encuentra situada al Nor-Este del departamento de Puno, en las coordenadas 8°390,000-8°405,000 Sur y 425,000-455,000 Oeste, proyección WGS84 Zona 19, la capital del distrito se encuentra a 3401 msnm.

El distrito fue creado el 2 de mayo de 1854 según ley 12301. Tiene como límites al Este: con el distrito de Quiaca, al Oeste: con el distrito de Crucero provincia de Carabaya, al Norte: con los distritos de Patambuco y Sandia, y al Sur: con el distrito de Ananea provincia de San Antonio de Putina. En el ámbito territorial del distrito se encuentran 18 centros poblados.

Vías de acceso

La principal vía de acceso es la carretera Juliaca a Sandia cuyos principales puntos de paso partiendo de la ciudad de Juliaca son: Putina, Oriental, llegando a la localidad de Cuyocuyo con una distancia total de 220 km.

3.1.1. Algunas características de la microcuenca

La microcuenca de la quebrada Jilari tiene un área aproximada de 13.80 km², un perímetro 16.55 km, longitud del cauce principal 5.409 km. (Figura 3.1). El cauce descrito confluye con el río Tambillo en las inmediaciones de la localidad de Cuyocuyo, formando el río Cuyocuyo, más abajo esto confluye a lo que se denomina río Sandia correspondiente

a la cuenca del río Inambari. La microcuenca del río Jilari se encuentra en el límite con la vertiente Atlántico y Titicaca, hacia el lado del Atlántico, por tanto, se trata de una zona con fuertes pendientes, siendo los ríos relativamente rectos en planta y fuertes pendientes longitudinales, haciendo también que todo el valle sea muy empinado, valle en formación en “V”.

Las cotas en el punto más lejano se ha encontrado que es de 4780 msnm y en el punto de la salida tiene un 3432 msnm.

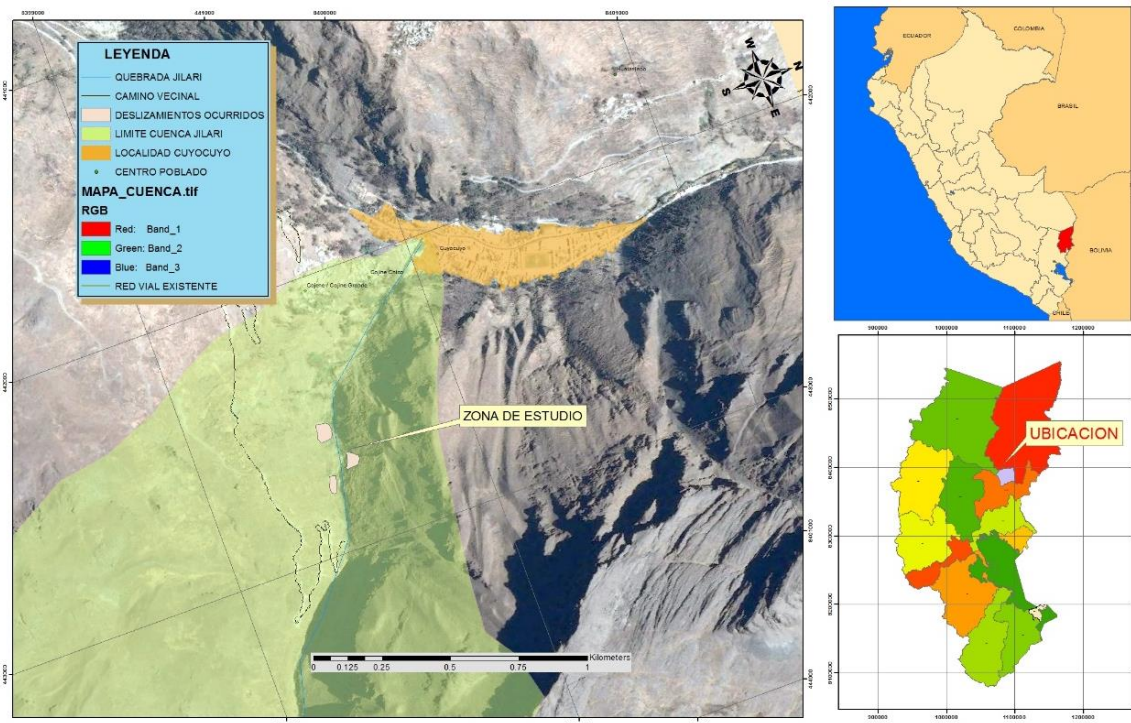


Figura 16. Mapa de ubicación del área de estudio, distrito de Cuyocuyo.

3.1.2. Población

Según el censo del 2007 (INEI, 2009) la población total del distrito del Cuyocuyo es de 5,355 habitantes, con las siguientes características.

Población censada	5355
-------------------	------



Población Urbana	1330
Población Rural	4025
Población Censada Varones	2574
Población Censada Mujeres	2781
Tasa Crecimiento (1981-1993)	1.8

En la capital del distrito residen 1330 habitantes, según este censo.

3.1.3. Clima

Debido a la variación de altitud (2700 a 5350 m) dentro de la cuenca Cuyocuyo, el clima del distrito de Cuyocuyo es frío-húmedo con constantes neblinas. La temperatura promedio anual es de 8 °C, siendo la máxima de 14 °C y la mínima de 2 °C.

Tabla 6. Temperatura media, mínima y máxima (°C) 2004 a 2006, Cuyocuyo

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	ANUAL
PROM	9.6	10.0	10.1	9.6	8.7	8.0	8.2	8.6	8.5	9.1	9.5	9.6	9.1
MIN.	5.8	5.9	5.7	4.3	3.2	2.7	2.7	3.5	3.8	4.5	4.9	5.3	4.3
MAX.	13.3	14.1	14.5	14.8	14.2	13.8	13.7	13.6	13.2	13.8	14.0	14.0	13.9

Fuente: SENAMHI, citado en (PREDES, 2007).

La precipitación media anual en la estación de Cuyocuyo está en los rangos de 455.60 a 1696.50 mm siendo su promedio histórico de 1281.79, según registros de SENAMHI. Los demás valores registrados, que corresponden a la variación mensual se muestran en la tabla 7.

Tabla 7. Precipitación total mensual (1964 a 2010), estación Cuyocuyo

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	ANUAL
PROM.	216.98	188.52	176.83	99.28	48.82	31.75	31.31	45.87	67.46	98.14	108.18	168.65	1281.79
MIN.	71.40	41.40	47.50	3.30	0.90	0.00	2.20	3.10	8.90	21.20	21.30	49.90	455.60
MAX.	283.70	241.50	234.20	170.10	134.20	151.90	84.50	103.50	114.80	192.30	197.30	316.80	1696.50

Fuente: (SENAMHI, 2016), y Elaboración propia.

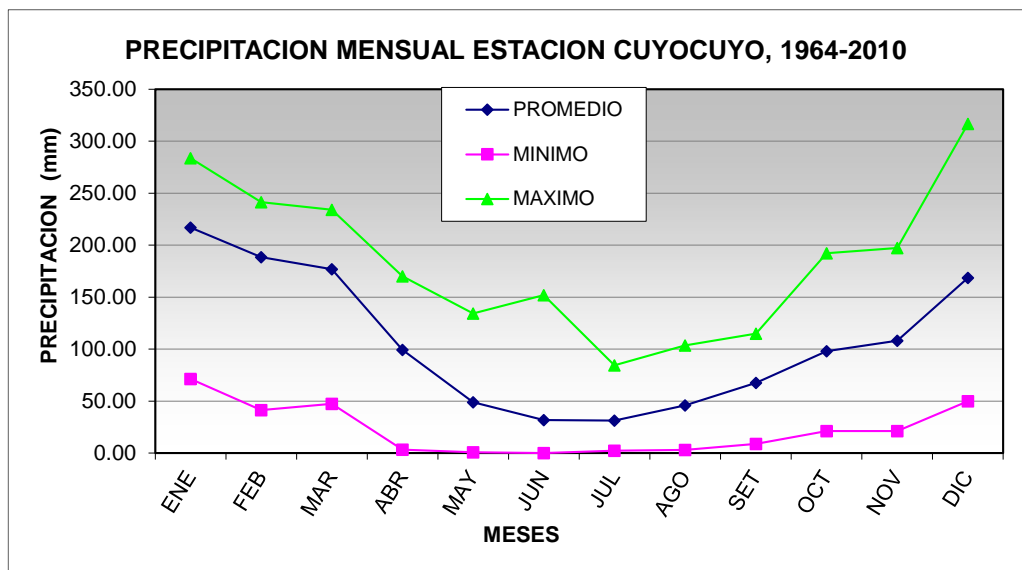


Figura 17. Precipitación mensual en estación Cuyocuyo, (SENAMHI, 2016).

Como se puede ver en la Fig. 17, existe un marcado incremento en la cantidad de la precipitación en la temporada del verano.

Tabla 8. Precipitación máxima en 24 Horas (mm) 1964-2010, Cuyocuyo

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	MAX. ANUAL
PROM	19.86	18.13	17.36	12.74	7.69	4.73	5.47	9.24	11.45	12.70	11.28	17.46	22.80
MIN.	10.00	6.90	6.40	2.30	0.90	0.00	1.60	1.00	2.40	4.70	6.10	7.00	14.93
MAX.	38.50	43.40	36.30	23.00	20.80	19.90	20.90	35.20	23.30	23.80	26.80	36.30	43.40
Mediana	19.10	16.70	16.00	12.60	6.40	3.50	4.43	7.00	10.88	11.42	10.60	15.60	24.60

Fuente: (SENAMHI, 2016).

La precipitación total en 24-horas más alta en el distrito (43.4 mm) fue medido en febrero del año 2000 cuando un evento extremo pasó en el área.

3.1.4. Vegetación

La vegetación dentro de la cuenca varía con la topografía, el aspecto de la pendiente y sombreado de los cerros adyacentes más altos, influyen la distribución de principales especies de vegetación nativa y cultivos dominantes. En elevaciones bajas (debajo de 3600 m) dominan bosques dispersos de eucaliptos con tallo delgado, vegetación arbustiva y pastos nativos.

Las áreas están a menudo expuestas al viento y los árboles son dañados, en general no tienen la verticalidad absoluta en las zonas donde hay fuerte frecuencia de vientos. Estas plantas crean sistemas de raíces extensivos o manta que incrementa la cohesión del suelo y raíces, influyen en la estabilización al suelo subyacente.

3.1.5. Geología y geomorfología

La zona de estudio tiene su cabecera en el flanco oriental de la cordillera oriental y en la faja subandina, la cuenca tiene una amplia variedad de caracteres físico geográficos, condicionados por las estructuras litológicas las cuales son erosionadas por los principales ríos y precipitaciones pluviales (PREDES, 2007).

Dado el tamaño grande de la cuenca, varias unidades geológicas y tipos de suelos son los que existen. Según los estudios realizados en la zona mencionada, existen rocas muy disturbadas que pertenecen a la formación Sandia (Caradociano), y la formación Ananea donde constituyen secuencias de areniscas cuarzosas de grano fino y medio, también pizarras gris oscuras, azuladas laminares y foliadas (Quispe, 2008).

Litoestratigrafía regional

La secuencia estratigráfica de la cordillera oriental del Perú, presenta unidades que van desde el Paleozoico al Cuaternario. Se describen las unidades litoestratigráficas a fin de conocer los diferentes Grupos y Formaciones geológicas que existen en el área regional, así como localmente también se irán describiendo las características técnicas de las formaciones que existen en la zona de estudio.

Depósitos Aluviales (Qh-al) ()

Se caracterizan por presentar gravas y arenas en matriz areno limosa, incluye conos aluviales, depósitos aluviales y de terrazas.

Depósitos Morrenicos (Qpl-mo)

Los depósitos morrénicos proceden de la fusión del hielo, es decir cuando cede la acción transportadora del glaciar. Se acumulan en morrenas de retroceso, que marcan



diferentes estadios en el retroceso del hielo glaciario. Las morrenas externas e internas se superponen a la de fondo, formando un solo depósito. Bloques angulosos a sub angulosos de rocas sedimentarias, metamórficas y volcánicas, de diámetro variable en matriz arena limoarcillosa.

Formación Arcoaja (Np-ar)

Esta unidad está compuesta por estratos de arcillas y grava en la parte inferior y estratos de grava con arena en la parte superior. Los elementos gruesos son cuarcitas y pizarras. La formación ha sido ubicada en el plioceno. Aflora formando las pampas de Baltimore y Pariráni, y alrededor de la laguna Sillacunca y las pampas de Urubambilla y pampa blanca.

Intrusivo (Ki-co/gr)

Es un intrusivo en forma de stock que aflora al norte de la mina Rinconada y en la naciente del río Sandía. Es de granito blanco, de grano grueso y masivo. Los minerales que lo forman son cuarzo, feldespatos, muscovita, biotita, etc. La edad asignada a este stock es Silúrico –Devónico.

Plutones Graníticos (PTr-u/gr)

Los plutones graníticos son rocas ígneas caracterizadas por su tamaño, dureza, resistencia mecánica, inercia química y agradable aspecto. (Leucogranito) pizarras y esquistos de cuarzo – muscovita – clorita gris oscuros.

Formación Ananea (SD-a)

Toma su nombre de la localidad de Ananea en el departamento de Puno donde Laubacher G., op cit 1978, la describe como una gruesa secuencia de pizarras y esquistos

aflorantes a lo largo de la ruta entre Ananea a CuyoCuyo. Con espesores de 500 a 1000 m. de pizarras y esquistos de cuarzo – moscovita – clorita gris oscuro, azulados laminares y foliados.

En la figura 18 se aprecia la Columna Estratigráfica Regional.

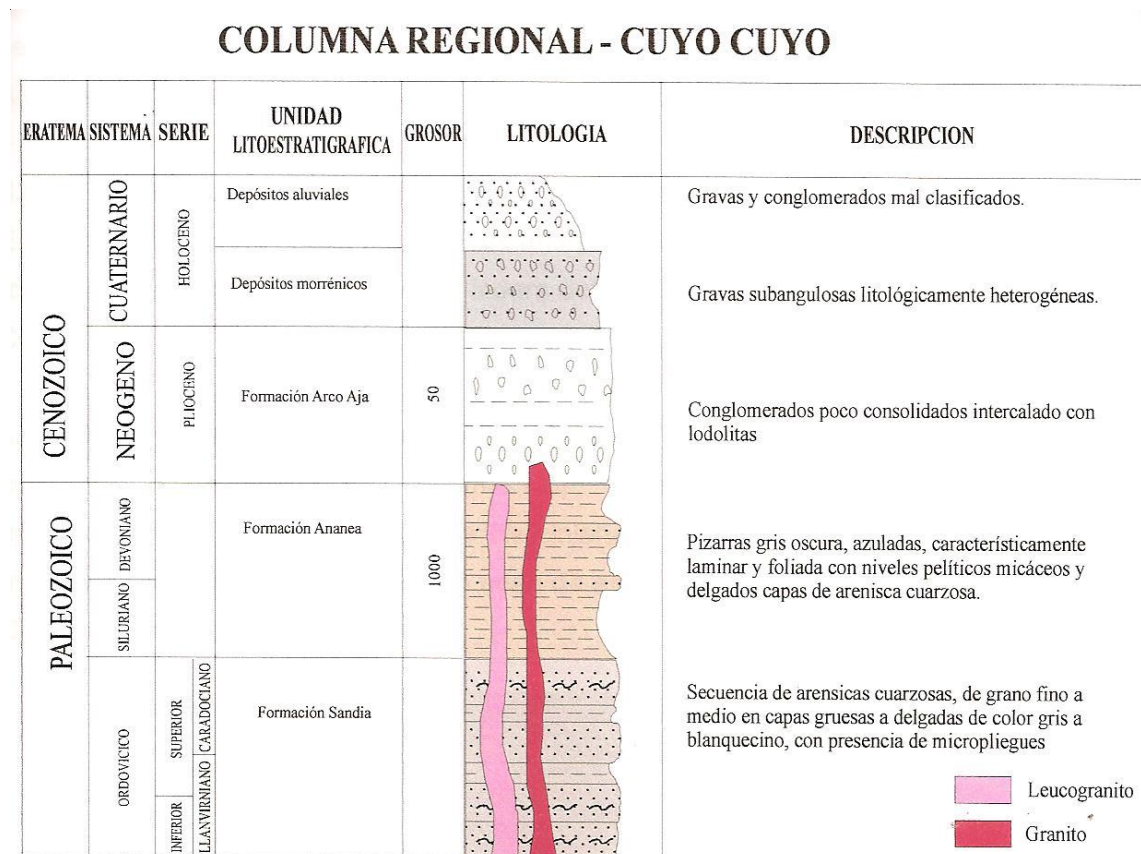


Figura 18. Columna estratigráfica regional (Quispe, 2008).

Formación Sandia (Os-s)

La Formación Sandia está constituida por una secuencia de cuarcitas y areniscas grises intercaladas con algunas limoarcillitas gris oscuras, estando su mejor exposición entre el caserío Huancaluque y la Qda. Garita. Esta formación presenta abundantes estructuras de corriente. El grosor de la Formación Sandia es de 1641 m. aproximadamente.

3.1.5.2 Litoestratigrafía local

En el área afloran rocas metamórficas, (Formación Ananea – Siluriano Devónico), sedimentarias (Formación Sandia - Carodiciano) y depósitos de terraza (Depósitos Aluviales y Depósitos Coluviales).

Formación Sandia (Os-s)

Esta formación es de origen marino. Los afloramientos de rocas correspondientes a la formación Sandia se presentan en la ladera del valle Tambillo y hacia el este del cerro Chucho.

La litología consiste en una secuencia fliشوide interestratificado con pizarras y cuarcitas, presentando dos sistemas de esquistocidad micro plegados que corresponden a las fases tectónicas Hercinianas, la tectónica andina ha deformado mediante sistemas de fallamiento. La edad de estas rocas está considerada como del Caradociano - Ordovísico Superior.



Figura 19. En la vista se aprecia un afloramiento de la formación Sandia.



Formación Ananea (SD-a)

Los afloramientos de rocas correspondientes a la formación Ananea, se presentan en la quebrada Jilari tanto en la ladera valle como en la ladera de las montañas Chucho y Chocñacota.

La litología consiste en una secuencia de esquisto pizarroso de cuarzo muscovita de color gris medio oscuro, de grano criptocristalino, presenta dos sistemas de esquistocidad hercinianas, pero se encuentran intensamente fracturados por la falla Chucho y Hualli que corresponden a la tectónica andina incluso existe evidencias de una actividad neotectónica. La edad de estas rocas está considerada como del Siluro - Devoniano.

Depósitos Aluviales (Qh-al)

Este depósito consiste en pequeñas acumulaciones de materiales sueltos o poco consolidados de naturaleza heterogénea y heterométrica, que se encuentran conformados por bloques y gravas redondeadas, envueltas por una matriz areno-limosa, que fueron depositadas en un ambiente fluvial durante el Holoceno.

Depósitos Coluviales (Q-col)

Son acumulaciones constituidas por materiales de diverso tamaño, pero de litología homogénea, englobados en una matriz arenosa que se distribuye irregularmente en las vertientes del territorio montañoso, habiéndose formado por alteración y desintegración in situ de las rocas ubicadas en las laderas superiores adyacentes y la acción de la gravedad. Se caracterizan por contener gravas angulosas a subangulosas distribuidas en forma caótica, sin selección ni estratificación aparente, con regular a pobre consolidación; ocasionalmente contienen algunos horizontes lenticulares.

En la siguiente figura se observa la Columna Estratigráfica Local.

COLUMNA ESTRATIGRAFICA LOCAL - CUYOCUYO

ERATEMA	SISTEMA	SERIE	UNIDAD LITOESTRATIGRAFICA	GROSOR	LITOLOGIA	DESCRIPCION	
CENOZOICO	CUATERNARIO	HOLOCENO	Depósitos aluviales	3.0		Gravas y conglomerados mal clasificados.	
			Depósitos glaciofluviales			Conglomerados subredondeados, gravas.	
			Depósitos morrénicos			Gravas subangulosas litológicamente heterogéneas.	
PALEOZOICO	SILURIANO DEVONIANO		Formación Ananea	1000		Pizarras gris oscura, azuladas, característicamente laminar y foliada con niveles pelíticos micáceos y delgados capas de arenisca cuarzosa.	
			Formación Sandia	3000		Secuencia de areniscas cuarzosas, de grano fino a medio en capas gruesas a delgadas de color gris a blanquecino, con presencia de micropliegues	
	ORDOVICICO	SUPERIOR	CARAOCICANO				
	INFERIOR	LLANVIRIVIANO					

Figura 20. Columna estratigráfica local, Cuyocuyo (Quispe, 2008).

3.1.6. Geomorfología de la localidad de Cuyocuyo

Regionalmente el área de estudio se encuentra ubicada en la zona de la cordillera oriental contigua al área ínter cordillerano de los Andes. Cada una de las geoformas que se pueden encontrar en el área de estudio está directamente relacionada a los procesos orogénicos que produjeron el levantamiento de la cordillera oriental y Occidental de Cuyocuyo.

Los procesos morfodinámicos ocurrido en el distrito de Cuyocuyo tienen sus orígenes en los deslizamientos de suelos de tipo rotacional que tienen sus inicios de la ladera derecha (Ccaucilluni) así como la ladera izquierda (Ccalacchaca) de deslizamientos de rocas y suelos en la quebrada de Jilari al NE de la referida localidad. Y de igual manera en otras quebradas tales como la de Cconi.

La principal característica de estos deslizamientos es la morfología de cáscara de naranja, lo que se conoce como caminos de vaca, con ondulaciones pequeñas que corresponden a pequeños deslizamientos rotacionales, con diámetro promedio (profundidad máxima) de hasta uno o dos metros.

Esta forma de cáscara de naranja forma escalones que son aprovechados por el ganado y la gente, evolucionando hacia una forma de escalones en trama enrejada o en rombos, que, en algunos casos, progresivamente se desploman, formándose gradas en las laderas, desapareciendo estas posteriormente, en otros casos son removidos de forma abrupta.

Sistemas y Unidades Geomorfológicas de la Zona

Durante el trabajo de campo de la zona de estudio se ha podido identificar varios sistemas los cuales veremos a continuación.

Tabla 9. Sistemas y unidades geomorfológicas de la zona

SISTEMA	UNIDAD
Montañas	- Cerros
	- Ladera de montaña
	- Ladera de valle
Fluvial:	- Terraza
	- Escarpas
	- Ríos
Glacial:	- Cárcavas
	- Terrazas
	- Valle fluvial
Antrópico:	- Valle Glaciar
	- Circos glaciares
	- Carreteras
	- Caminos de herradura
	- Viviendas
	- Bosques
	- Defensas ribereñas
	- Obras civiles

Fuente: (Quispe, 2008).

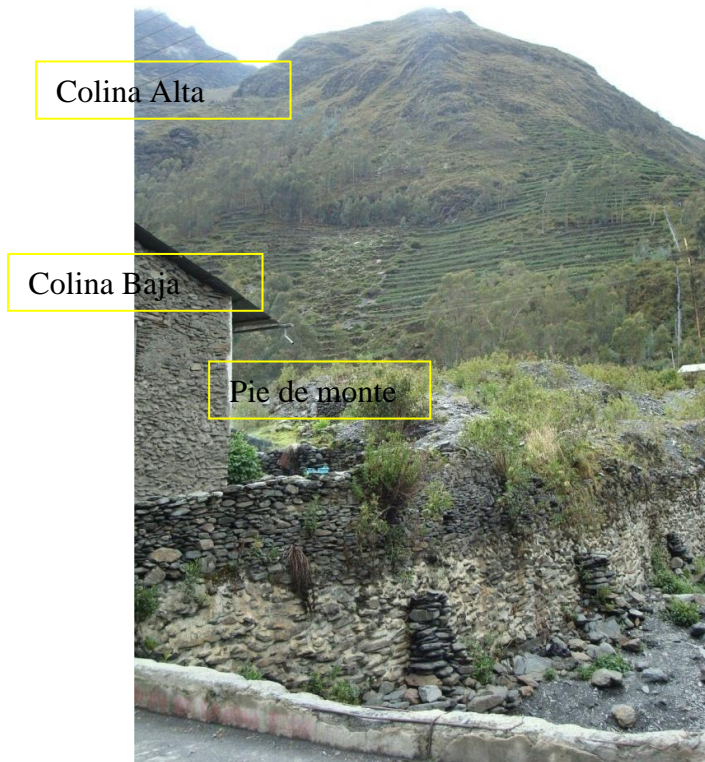


Figura 21. Tipos de geomorfología del cerro Ccalachaca (Dic. 2015).



Figura 22. Terrazas en zona de confluencia río Jilari y Tambillo (Dic. 2015).



Figura 23. Escarpas que tienen pendientes mayores que 65° (Dic. 2015).



Figura 24. Quebrada Jilari en la ciudad de Cuyocuyo, se observan niveles de alerta.

3.1.7. Suelos de cobertera

Los tipos de suelos en la cuenca reflejan la geología regional porque la variación en la geología particularmente controla la mineralogía del suelo (Figura 22).

En cuanto al suelo de cobertura superficial, los suelos serán definidos como “no consolidado o material orgánico sobre la superficie inmediata de la superficie de la tierra que ha sido sujeto y muestra los efectos de los factores genéticos y ambientales. La cobertura de suelo varía en espesor y desarrollo dependiendo del talud e intemperismo y el rango puede ir desde menos de un metro hasta varios metros de profundidad.

3.1.8. Características geotécnicas

El hecho de conocer las propiedades mecánicas de los suelos, implica utilizar una metodología para encontrar estas propiedades, básicamente para encontrar los parámetros de corte en los suelos, para poder realizar el análisis de estabilidad de taludes.

Resultados de los ensayos

Geotécnicamente corresponden a suelos friccionantes de gradación heterogénea empacados en finos, arena arcillosos o gravas arcillosas. En este caso se ha tomado las muestras de suelo en tres puntos de la quebrada Jilari (JI). De los cuales se presenta los resultados en la tabla 10, la información fue tomada de los ensayos que se muestran en el anexo.

Tabla 10. Resultados de ensayos de suelos, para muestras de la zona

Código	Ubicación	LL (%)	LP (%)	Peso Unitario (tn/m ³)	Peso Unitario Saturado (kN/m ³)	Clasificación SUCS	Angulo Fricción (grados)	Cohesión (kg/cm ²)
JI-01	Margen Izquierdo	NP	NP	1.81 (17.8 kN/m ³)	2.02 (19.8 kN/m ³)	SW-SM	27.56	0.64
JI-02	Margen Izquierdo	29.17	19.25	1.81 (17.8 kN/m ³)	2.02 (19.8 kN/m ³)	SC	32.53	0.706
JI-03	Margen Derecho	28.67	20.76	1.81 (17.8 kN/m ³)	2.02 (19.8 kN/m ³)	SC - SM	26.07	0.709

Permeabilidad

Según (Holting, 2013) la permeabilidad de roca suelta puede ser estimada aproximadamente, dependiendo de la distribución del tamaño de granos. Seis diferentes rangos de permeabilidad son generalmente considerados, desde gravas a arenas medias hasta arcillas (Tabla 11).

Zonas con diferentes tamaños de granos y permeabilidad diferente pueden constituir barreras hidráulicas y son más comunes en suelos heterogéneos. La probabilidad de incremento de presión de poros positivo es más alta en tales ubicaciones.

Tabla 11. Coeficiente de permeabilidad K para diferentes tamaños de grano

Clase	Tamaño de grano	Valores de permeabilidad K (m/s)	Coefficiente de permeabilidad <i>m</i>
1	Grava pura	$< 10^{-8}$	0.15
2	Arena	10^{-7} a 10^{-8}	0.30
3	Arena fina	10^{-6} a 10^{-7}	0.45
4	Arena limosa	10^{-4} a 10^{-6}	0.60
5	Limo arcilloso	10^{-2} a 10^{-4}	0.75
6	Arcilla	$> 10^{-2}$	0.90

3.1.9. Uso de la tierra

Un mapa de uso de la tierra da una razonable visión general acerca del uso de la tierra en el distrito de Cuyocuyo (PREDES, 2007). Pastos cubren cerca del 57 % de la región de Cuyocuyo. Pasto son nativos o mejorados y particularmente según las observaciones (Dic 2008).

Tabla 12. Patrones de uso de tierra agrícola (Campaña Agrícola 2003-2004)

Cultivos	Area (ha)
Arracacha	4
Calabaza	2
Haba grano seco	40
Haba grano verde	5
Maiz amilaceo	153
Mashua – izaño	10
Oca	120
Olluco	22
Papa	530
Yacon	5
	891

Fuente: Oficina de Información Agraria Puno, citado en (PREDES, 2007).

También existen cultivos anuales en cerca 41 % del área total. El mercado de productos está limitado a la agricultura de subsistencia principalmente. Los principales cultivos cultivados son la papa, oca y el maíz amiláceo. Como se puede apreciar en la tabla 12.

3.2. MOVIMIENTO DE MASA SUPERFICIALES DISTRITO CUYOCUYO

En toda la zona se presentan numerosos deslizamientos. En tal sentido, en el presente trabajo se hace un inventario de las zonas de inestabilidad de laderas (movimientos de masas) para determinar las posibles zonas de riesgo y tomar las medidas necesarias de prevención. Existen estudios casi detallados a nivel geológico de la localidad de Cuyocuyo, específicamente de la quebrada Jilari.

Los deslizamientos y flujos de escombros han ocurrido a través de la cuenca del río Cuyocuyo, un intento de mostrar la cronología de los diversos eventos se han documentado en diversos estudios, los cuales han seguido una secuencia que se puede

resumir en lo siguiente: (PREDES, 2008). Estudios preliminares a diferentes escalas y años cuya fuente principal lo constituye el INGEMMET. (PREDES, 2007, 2008) realizó la evaluación de la amenaza y vulnerabilidad de la quebrada del Jilari en Cuyocuyo.

La información solo se tiene en forma de registro de los fenómenos naturales que ocurrieron, en la oficina de Defensa Civil (INDECI Puno) y corroborado en los talleres que llevó a cabo PREDES, como detallamos en la tabla 13.

Tabla 13. Secuencia de desastres distrito Cuyocuyo

Evento	Año	Lugar	Impacto
Huayco	1984	Quebrada Jilari	50 casas destruidas del barrio San Antonio.
Huayco	2005	Quebrada Jilari	49 casas muy afectadas
Deslizamientos	2005	Quebrada Jilari	margen izquierda aguas abajo
Caídas de Rocas	2005	Cerro Calvario	margen derecha río abajo
Caídas de Rocas	2005	cerro Icani	río Tambillo
Deslizamientos	2007	Quebrada Cconi	margen izquierda aguas abajo

Fuente: (PREDES, 2007, 2008)

Huaycos (Flujo de escombros)

Es el flujo de lodo y piedras violento, que sepulta y destruye a lo largo de su desplazamiento. Es desencadenado por la precipitación de lluvias intensas en quebradas de fuerte pendiente, o depresiones topográficas en estado de abandono sin cobertura.

La localidad de Cuyocuyo es la que se encuentra amenazada por los huaycos de la quebrada Jilari. Esta quebrada es un valle joven, abrupto, presentando tanto en las laderas del valle y montaña, gran cantidad de material suelto. Tiene una gran fuerza



tractiva hidráulica y una carga de sólidos de material grueso, que impacta en los barrios de Miraflores y Central de la ciudad. Los huaycos de la quebrada Jilari se incrementan producen con los deslizamientos de las laderas de los cerros Ccaucilluni y Ccalacchaca (PREDES, 2008).

Estas propiedades físicas del terreno eventualmente facilitan el flujo de escombros de la quebrada Jilari y otras. Meteorológicamente, las intensidades de precipitación provenientes de la vertiente del Atlántico son usualmente más frecuentes e intensas.

Deslizamientos superficiales

Presentan una superficie de deslizamiento y provoca cambios notables de la estructura del suelo. Es un fenómeno en laderas empinadas. La principal característica de estos deslizamientos es la morfología de cáscara de naranja, con ondulaciones pequeñas que corresponden a pequeños deslizamientos rotacionales, con diámetro promedio (profundidad máxima) de hasta uno o dos metros.

En la quebrada Jilari las grietas geodinámicas de los deslizamientos de Ccaucilluni y Ccalacchaca, están relacionadas a fracturas tectónicas del sistema de fallas Ch'úcho, a la que se atribuye el elevado fracturamiento de las rocas.

Los depósitos de material suelto de Ccaucilluni y Ccalacchaca, presentan altas permeabilidades, que, con las infiltraciones de las lluvias, se generan flujos de aguas subterráneas provocando el reacomodo de los suelos y desequilibrio de los taludes y la activación de los deslizamientos.

La erosión en las márgenes del pie del talud de Ccaucilluni y Ccalacchaca, es otro factor desencadenante de los deslizamientos, así como la profundización del cauce de la quebrada Jilari, lo que aumenta la altura del talud, originando desequilibrio entre las

tensiones y por tanto disminución de la resistencia al corte principalmente en las masas de tierra.



Figura 25. Zona de un deslizamiento rotacional, quebrada Jilari.

Derrumbes y desprendimientos de rocas

Fenómenos que presentan una ruptura brusca y caída más o menos libre y a gran velocidad de un bloque o una masa rocosa “en seco”. Gran parte del transporte se da en el medio aéreo, pero también existe un componente de salto y rodamiento. Se producen en laderas inclinadas o acantilados de rocas muy fracturadas o suelos inconsolidados e inestables. La posibilidad de ocurrencia de estos fenómenos se incrementa en la temporada de lluvias, y por la desestabilización de taludes que genera la construcción de carreteras.

La zona de origen corresponde prioritariamente al talud Jilari que presenta acantilados rocosos o laderas de fuerte pendiente, donde la roca está fracturada y alterada.



Figura 26. Zona donde se produjo desprendimiento de rocas (Machaca, 2006).

Reptación de suelos

Es un desplazamiento lento, casi imperceptible, que afecta a los materiales de la cubierta de suelo (edáfica), es decir, a los materiales poco consolidados (afectando a arboles eucaliptos), en suelos hasta una profundidad promedio de un metro. Con velocidades de pocos milímetros hasta más o menos un centímetro por año; decreciente en profundidad.



Figura 27. Zonas reptación de los suelos, quebrada Jilari (Quispe, 2008).

Inundaciones y desbordes

Es el incremento del caudal de los ríos, lagunas por encima de la capacidad del cauce, y/o superado la altura de las riberas o defensas. Contribuye a este fenómeno, la falta de limpieza de los cauces, que reduce la capacidad de carga.

Las inundaciones reportadas en la ciudad de Cuyocuyo están relacionadas con la ocurrencia de huaycos en la quebrada Jilari, que producen desbordes que afectan la comunidad de Ura Ayllu situado aguas abajo, principalmente, sus chacras ribereñas, que carecen de defensas.

En la ciudad de Cuyocuyo, las inundaciones se han producido cuando los huaycos han colmatado el cauce del río, represándose en los puentes carrozables, dándose como resultado que el agua se desborde por las calles principales de la ciudad.



Figura 28. Inundación en las calles de la localidad de Cuyocuyo (Ene., 2005).

Fuente: Municipalidad distrital de Cuyocuyo

Valores de caudales máximos estimados en la localidad de Cuyocuyo, entre 20 a 40 m³/s, durante las épocas de avenidas, los cuales han estado consecuentemente ligadas

también a la ocurrencia, a eventos de flujo hiperconcentrados (huaycos) (Alfaro, 2000). La ocurrencia de la avenida de enero del 2005 es coincidente con la ocurrencia precipitación, según los datos de precipitación en enero que es un mes particularmente húmedo.



Figura 29. Flujo de agua en el talud Jilari que lo desestabiliza (Dic. 2015).

Umbral de precipitación e intervalos de recurrencia

La precipitación histórica diaria desde 1964 a 2010 está dentro de 6.4 mm/d a 43.4 mm/d, durante el periodo de lluvias enero a marzo, son por tanto los umbrales de precipitación para la generación de flujos de escombros. Una precipitación extrema no es necesariamente garantía que el flujo de escombros ocurrirá, pero ciertamente la precipitación extrema incrementa el riesgo de inestabilidad de talud.

Erosión Hídrica en la Cuenca

Es ampliamente conocido que la mayor cantidad de erosión producida en las cuencas es por efecto del agua, en este caso se han determinado la erosión de tipo laminar, surcos, cárcavas, ríos, entre otros.

Erosión laminar:

Este tipo es muy común en el área de estudio, y ocurre debido al impacto de las gotas de lluvia y flujo superficial en delgadas capas.

Erosión en surcos:

Proceso erosivo muy común en el área de estudio, se origina debido a la escorrentía superficial poco profunda. Cuando este proceso es concentrado a un canal se produce el proceso de formación en cárcavas.



Figura 30. Procesos Erosivos en Sectores adyacentes a la quebrada (Dic. 2015).



Erosión en cárcavas:

Se ha observado que la erosión de este tipo se presenta con mayor intensidad y estado más avanzado entre la ladera Ccausilluni y la ladera Ccalachaca de la quebrada Jilari se caracterizan por su profundidad, que facilita el avance lateral y frontal por medio de desprendimientos de masas de material en los taludes de pendiente alta que conforman el perímetro de la cárcava.

Erosión fluvial:

La quebrada Jilari, que forma el río Cuyocuyo, tienen un caudal regular durante todo el año a lo largo de su recorrido, de enero a marzo, incrementa su caudal y de junio a noviembre disminuye. Estos ríos erosionan las márgenes y desgastan el material adyacente ocasionando su crecimiento lateral y a su vez profundiza su cauce, en otros tramos también provoca sedimentación. En el caso de la erosión fluvial, esta erosión ha provocado la socavación del cauce desestabilizando el talud lateral adyacente. Sin embargo, en la mayor parte del tramo fue estabilizado colocando diques y muros de contención.



Figura 31. Diques para control de erosión en quebrada Jilari (Dic. 2015).

Erosión Eólica

La erosión eólica desgasta unidades litológicas formando colinas y morros, a su vez transportando material en suspensión para rellenar o desgastar o formar otra geoforma a través de la deposición de sedimentos. Muestras del desgaste eólico se observa en las unidades limo arcillosas que se encuentran en las partes bajas del valle principal de la quebrada Jilari.



Figura 32. Raíces de árboles ayudan a mejorar la estabilidad (Dic. 2015).

3.3. TIPO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

3.3.1. Tipo de investigación

El tipo de investigación es de carácter descriptivo, puesto que se describe los resultados obtenidos en campo, seguidos de las características del estudio, problema, objetivos y preguntas orientadoras que fueron respondidas sin manipulación de ninguna variable de investigación.

3.3.2. Diseño de investigación

Este es de carácter descriptivo, porque es necesario la recolectar los datos topográficos, geográficos, geotécnicos, hidrológicos, para la realización del estudio y comprobar los métodos.

3.3.3. Población de estudio

La población de estudio que se tomó la localidad de Cuyocuyo, específicamente la quebrada Jilari, del distrito de Cuyocuyo, Provincia de Sandia y departamento Puno.



3.3.4. Muestra.

Para determinar las muestras, se empleó la técnica del muestreo estratificado, el cual sirvió para tomar las muestras de distintos lugares, como ensayos de caracterización, corte directo en suelos, considerando tres especímenes.

3.4. METODOLOGIA

En este acápite se presentan los aspectos metodológicos en los análisis del efecto de los parámetros geológicos, precipitación, tipo de suelos, topografía, en la generación de deslizamientos en la quebrada Jilari.

La metodología seguida para el logro de los objetivos planteados en esta investigación se dividió en las siguientes etapas, las que son:

3.4.1. Análisis de información topográfica y cartográfica.

Para llevar a cabo la evaluación de los deslizamientos se requiere el plano topográfico de la quebrada, principalmente en la zona donde se han producido los deslizamientos, en este caso se tiene el levantamiento topográfico con estación total. Asimismo, se tiene imágenes de satélite con el fin de visualizar las zonas donde se han producido dichos fenómenos.

Tomando como partida los puntos topográficos se procede a generar curvas de nivel, así como las secciones transversales de la quebrada a fin de poder realizar el modelamiento hidráulico.

A nivel de la microcuenca se cuenta con la cartografía de la zona digitalizados de hojas catastrales 1/25000, convertidos a modelo digital de elevación, los cuales no sirven



para conocer la geomorfología de la cuenca, la cota máxima, cota mínima, entre otros valores.

3.4.2. Hidrología e hidráulica.

Tratándose que el proyecto de investigación se basa principalmente al análisis de eventos extremos, a los registros de precipitaciones máximas en 24 horas se les realiza pruebas de ajuste a las funciones de distribución de probabilidad que serán aplicadas a los datos de la estación Cuyocuyo que registra la precipitación máxima en 24 horas en la cuenca de la quebrada Jilari.

3.4.3. Deslizamiento de la quebrada Jilari

Con la información de los ensayos de mecánica de suelos, la topografía que nos ayuda a obtener las secciones transversales de la quebrada, realizaremos el análisis de estabilidad de talud mediante el método de equilibrio limite, a fin de calcular el factor de seguridad de las secciones más críticas y así conocer el comportamiento de dichas secciones en estado natural con presencia de agua, para lo cual se emplea un software de análisis de estabilidad de taludes, mediante el método de equilibrio limite.

3.4.4. Medidas de mitigación

Según los resultados del análisis de estabilidad de taludes realizados, se plantearán diversos métodos de estabilización de talud, los cuales se verán plasmados en los planos respectivos.

3.4.5. Gestión de riesgos de desastres naturales

Es fundamental la gestión de estos riesgos de desastres por parte de la población, para lo cual se presenta el plan de gestión de riesgos, en este caso, en cooperación con los principales actores locales involucrados en el proceso, se confirmaron los resultados

obtenidos y se desarrollaron las acciones necesarias para reducir la vulnerabilidad y se desarrollaron lineamientos de gestión de riesgos para su implementación.

El plan de gestión de riesgos contempla acciones y actividades en el campo de la educación, organizaciones de la sociedad civil, participación ciudadana, mejoramiento del uso del suelo de acuerdo a su capacidad, difusión de información, mecanismos de alerta temprana, manejo integrado de cuencas hidrográficas, etc., así como construir infraestructura involucrando a las autoridades distritales y municipales, las autoridades locales y el gobierno central, acondicionamiento de sitios como albergues en casos de contingencia incluso en casos determinados, reubicación de las áreas de alto riesgo. Asimismo, se debe considerar aspectos relacionados al cambio climático intentando reducir los riesgos urbanos y buscar las ciudades sostenibles (Barton & Irrázaval, 2016).

Asimismo, las existen regulaciones para zonas urbanas expuestas a fenómenos de deslizamientos para áreas urbanas (ver figura 33), los cuales se pueden adoptar para las zonas urbanas con riesgo a deslizamientos (Ramírez & Rubiano, 2009). Mientras que en la figura 34 se muestra para áreas rurales.

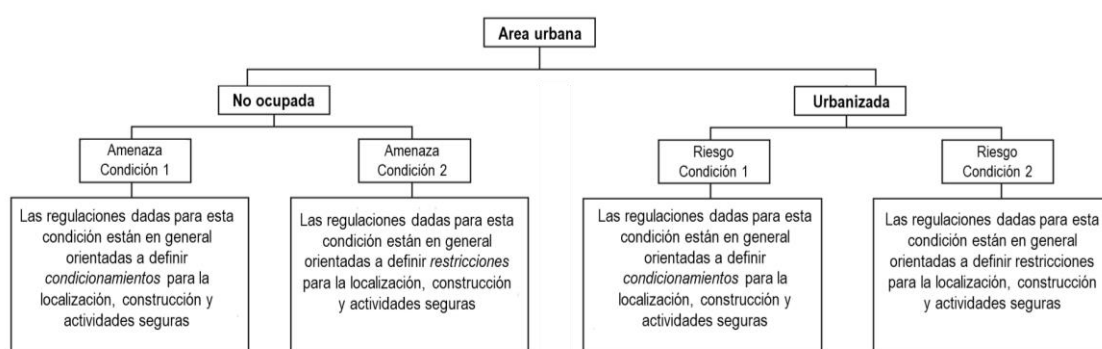


Figura 33. Regulaciones para zonas urbanas expuestas a deslizamientos.

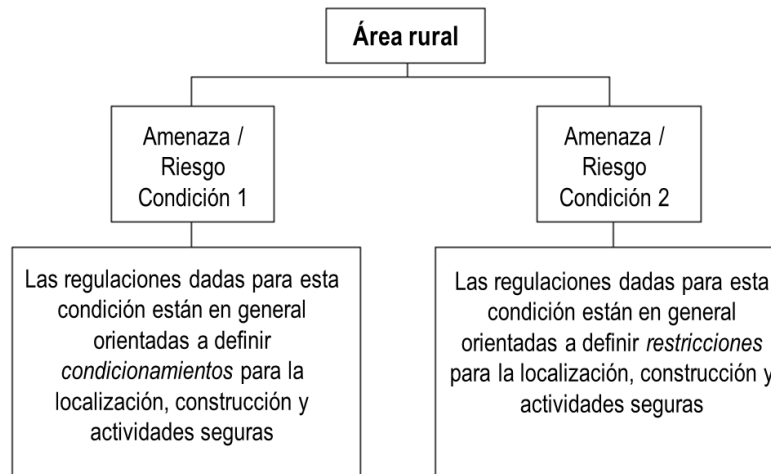


Figura 34. Regulaciones para zonas rurales expuestas a deslizamientos.

Fuente: Ramírez & Rubiano (2009).

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En esta sección, los resultados obtenidos del procedimiento anterior se muestran a continuación.

4.1. INFORMACIÓN TOPOGRÁFICA Y CARTOGRÁFICA.

Se identificaron los cuadrantes de la carta nacional y geoservidores actuales para la obtención de coordenadas (Figura 35), la información topográfica obtenida mediante levantamiento con estación total muestra fuertes pendientes (Figura 36)

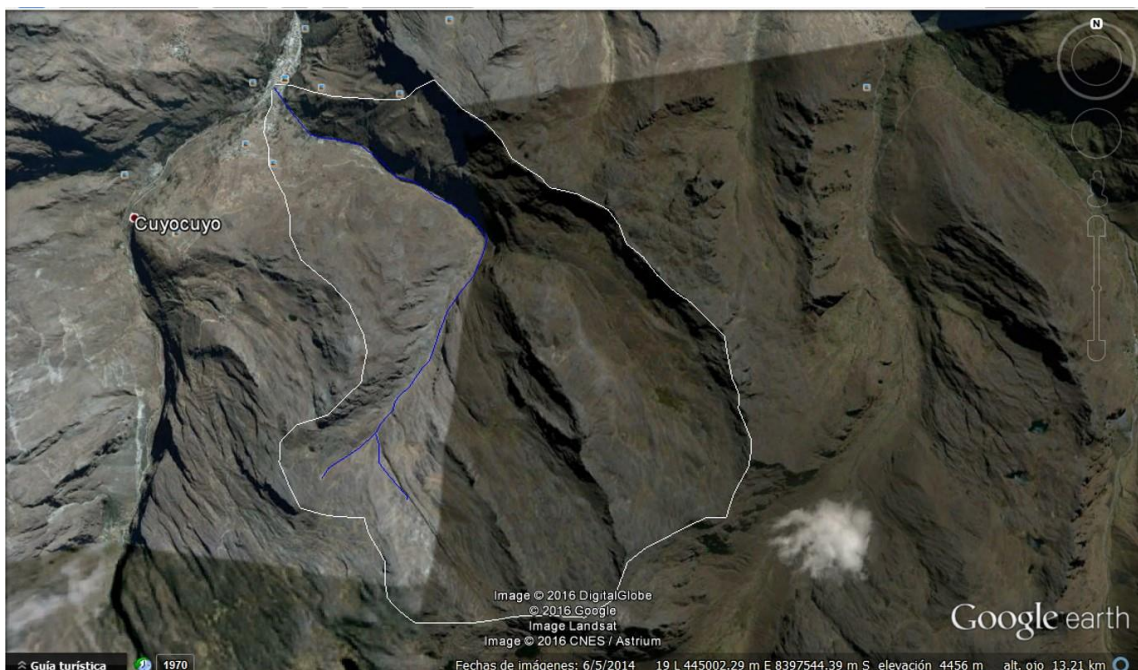


Figura 35. Mapa de la microcuenca Jilari, del servidor Google Earth.

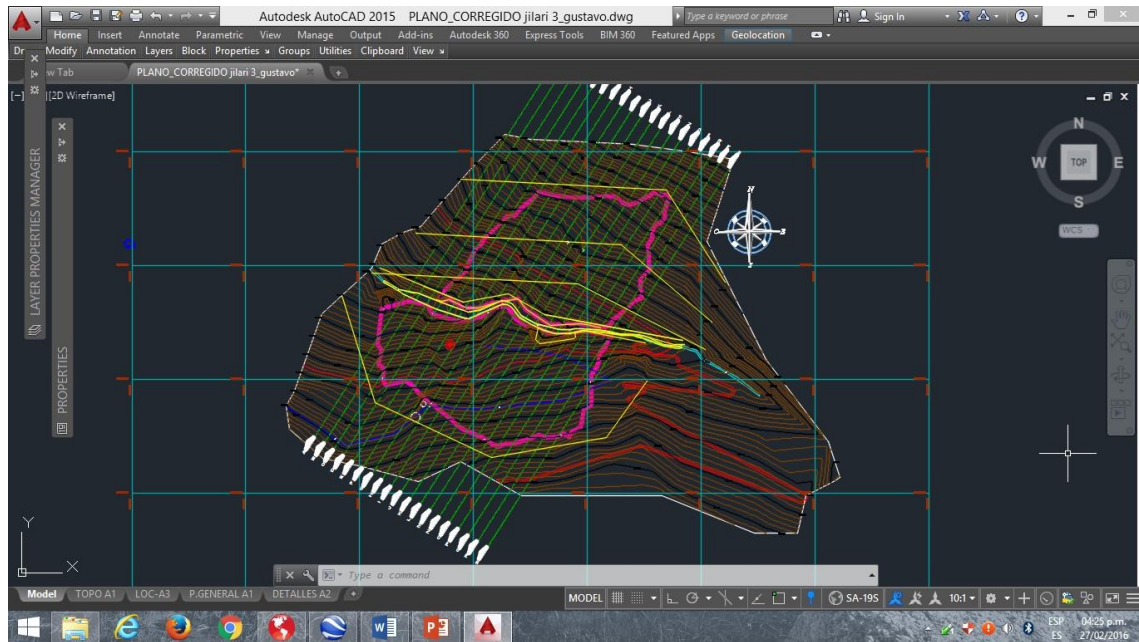


Figura 36. Mapa topográfico, según levantamiento topográfico, Civil 3D.

4.2. HIDROLOGÍA E HIDRÁULICA QUEBRADA JILARI.

Se llevaron a cabo las pruebas de independencia y homogeneidad y se describen a continuación:

4.2.1. Análisis de precipitación

La estación Cuyocuyo tiene registros desde el año 1964 al 2010, 46 años de precipitación total mensual y lluvias máximas en 24 horas, conforme se ve en la hoja del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI).

Otro aspecto es que como es normal en todo el país, excepto en la selva, los meses de precipitación altos se concentran en los primeros meses, enero, febrero, marzo con extensiones a diciembre y abril, el resto del año tienden a lluvias bajas, por esa razón se están considerando las máximas en 24 horas, es decir las lluvias diarias más altas.

Precipitaciones totales mensuales

Se tienen picos que sobrepasan el valor de 200mm-mes en los años 1971, 1974, 1979, 1985, 1986, 1987, 1988, 1990, 1991, 1994, 1997 y 2001, como se aprecia en la figura 37 y anexo respectivo.

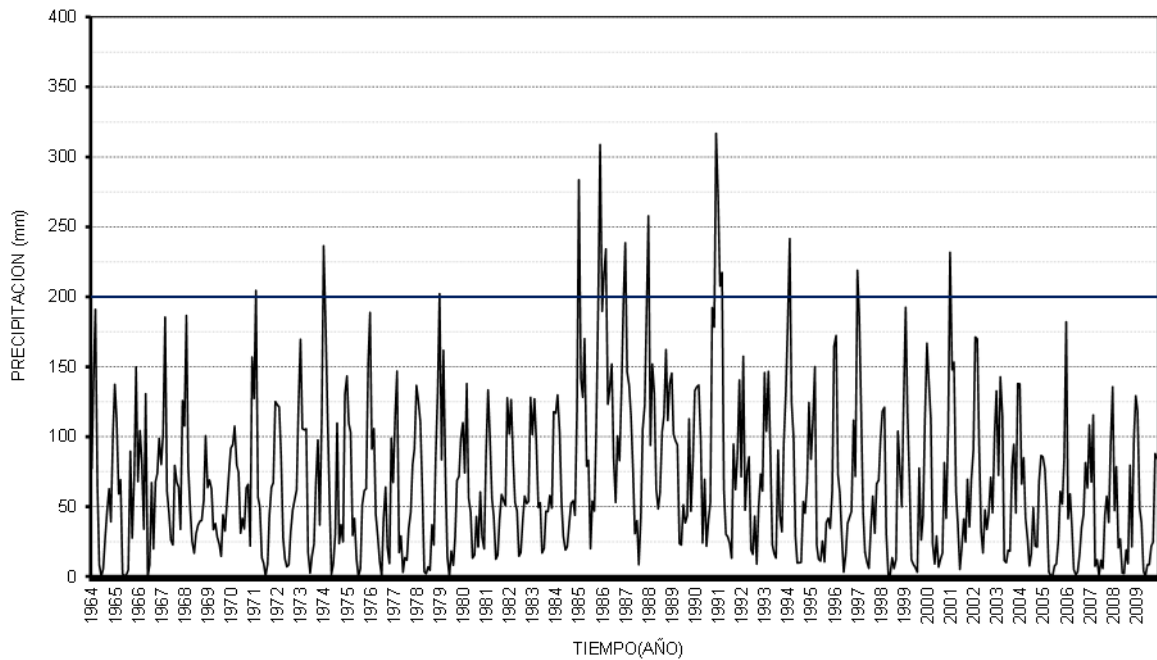


Figura 37. Variación de la precipitación mensual total, estación Cuyocuyo.

Precipitaciones máximas en 24 horas

Las precipitaciones diarias más altas han sido, de 36.3, 36.3, 38.5 y 43.4 mm en los años 1964, 1993, 1997 y 2000, años en que ocurrieron lluvias intensas (Figura 38 y 39).

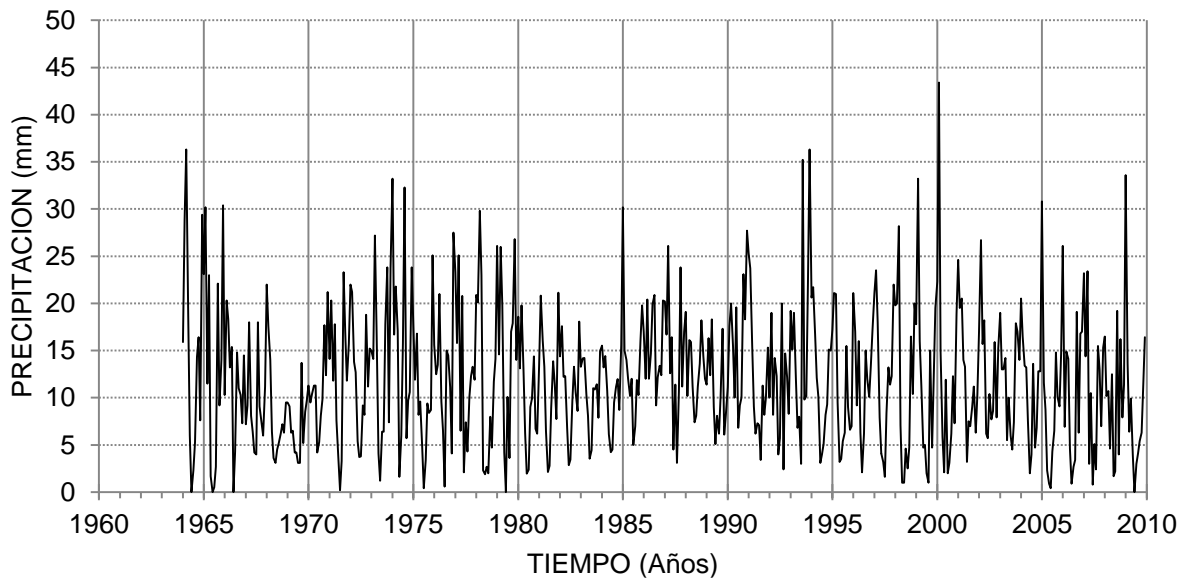


Figura 38. Variación de la precipitación máxima en 24 horas, estación Cuyocuyo.

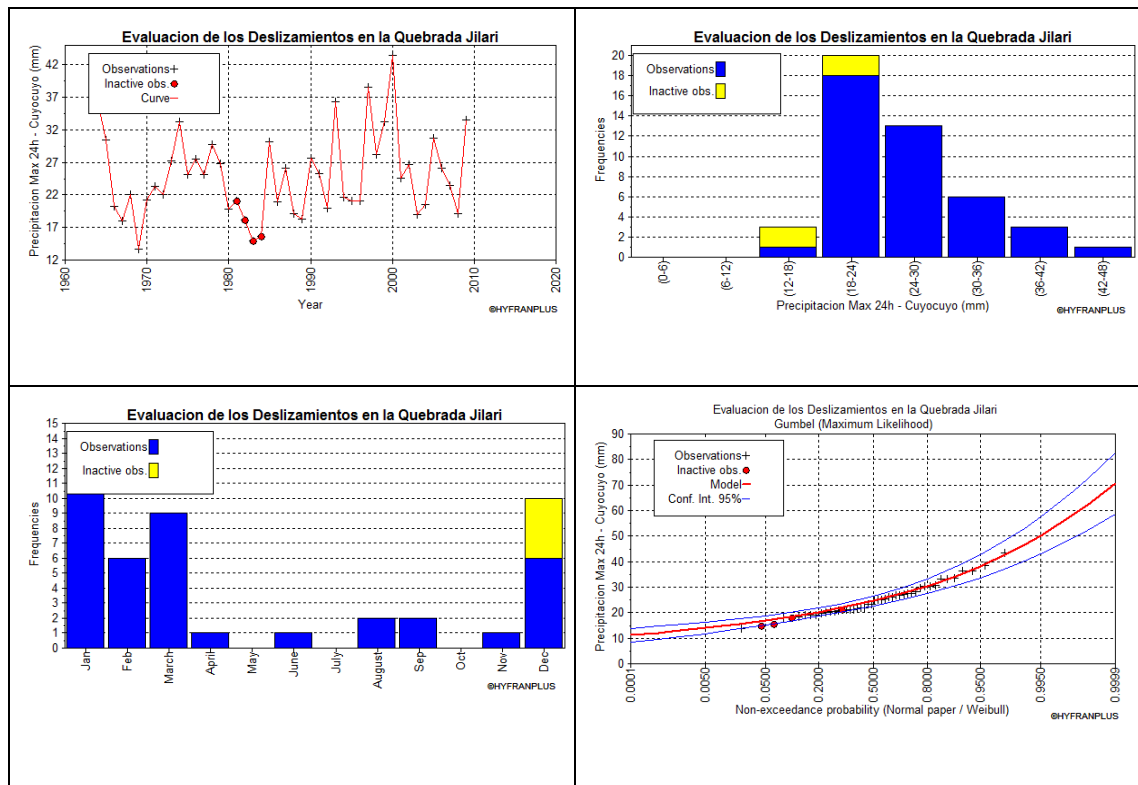


Figura 39. Análisis de frecuencia para las precipitaciones máximas en 24 horas.

Esto permite afirmar, que el sector del área sobre la cual influye el control de la estación Cuyocuyo, no recibe durante el año hidrológico precipitaciones intensas, por el contrario, está focalizado en lluvias puntuales que pueden llegar a formar torrentes

localizados de corta duración, pero de gran poder erosivo, debido principalmente a la fuerte pendiente del cauce del río.

Se muestran los resultados del análisis de frecuencia para las precipitaciones máximas en 24 horas, según el programa Hyfran, en este caso se ha desactivado las observaciones de los años 1981 a 1984, ya que no existen datos de estos años.

Tabla 14. Resultados análisis de frecuencia precipitación máxima 24 horas.

Gumbel (Máxima verosimilitud)

Numero de observaciones 42

Parámetros

u 22. 697738

alpha 5. 196548

$$f(x) = \frac{1}{\alpha} \exp\left[-\frac{x-u}{\alpha}\right] \exp\left[-\frac{x-u}{\alpha}\right]$$

T	q	XT	Desviación estandar	Intervalo de confianza (95%)
10000	0.9999	70.56	6.177	58.45 - 82.67
2000	0.9995	62.19	5.161	52.08 - 72.31
1000	0.999	58.59	4.725	49.33 - 67.85
200	0.995	50.22	3.717	42.93 - 57.5
100	0.99	46.6	3.285	40.16 - 53.04
50	0.98	42.97	2.856	37.38 - 48.57
20	0.95	38.13	2.292	33.64 - 42.63
10	0.9	34.39	1.869	30.73 - 38.06
5	0.8	30.49	1.452	27.65 - 33.34
2	0.5	24.6	0.9385	25.13 - 29.65
1.0001	0.0001	11.16	1.411	8.393 - 13.93

Como un resultado, la mayoría de los eventos formadores de huaycos y deslizamientos en la Cuenca ocurren en enero, febrero, marzo y diciembre.



En la tabla 14 se aprecia las precipitaciones máximas en 24 horas para periodos de retorno de 2, 5, 10, 20, 50 y 100 años son 24.6, 30.49, 34.39, 38.13, 42.97 y 46.6 respectivamente.

4.2.2. Caudales de diseño

Las características de la microcuenca Jilari se muestran en la tabla 15.

Tabla 15. Resultados análisis de frecuencia precipitación máxima 24 horas.

Característica cuenca	Parámetro
Area, A (km ²)	13.80
Longitud cauce principal, L (km)	5409.4
Cota mayor (msnm)	4780.0
Cota menor (msnm)	3432.0
Desnivel cauce principal, H (m)	1348.0
Pendiente cauce principal (%)	24.92
K	10836.24
Curva número CN	78
S (mm)	71.64
Perdida inicial Ia (mm)	14.33
Porcentaje impermeable	0.0
Tiempo de concentración Tc (min)	24.90
Tiempo de concentración Tc (hr)	0.42
SCS Lag (min)	14.94
SCS Lag (hr)	0.25

Fuente: Elaboración Propia

Con los parámetros considerados se calcula las máximas avenidas de diseño para diferentes períodos de retorno.

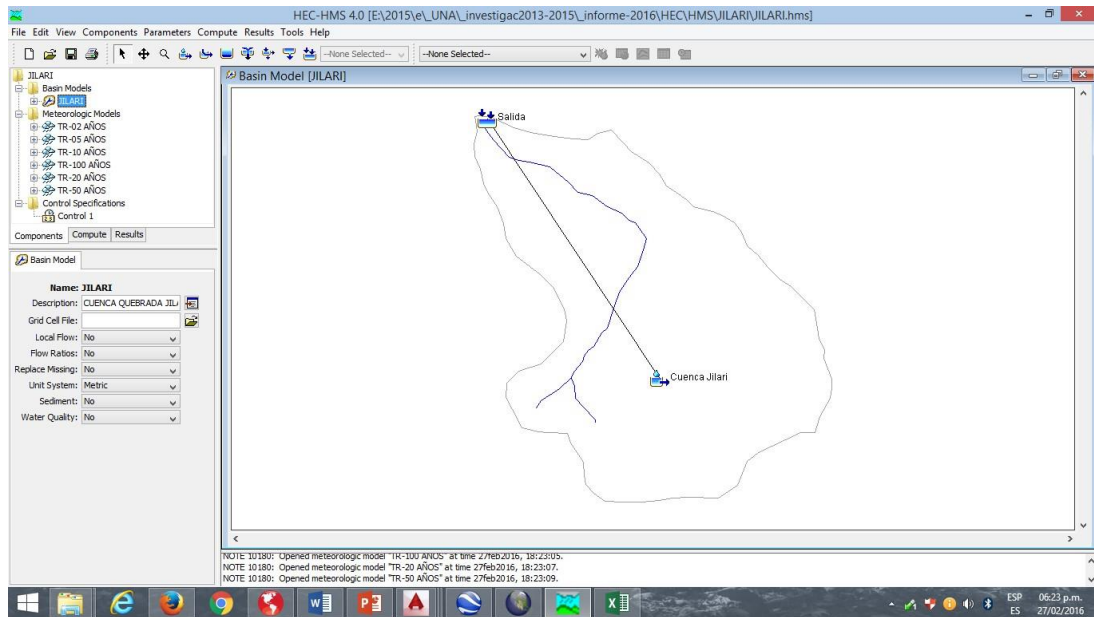


Figura 40. Esquema de cálculo en HMS, cuenca Jilari.

A continuación, se muestran los resultados de caudales máximos instantáneos para el cauce de la quebrada Jilari, para el período de retorno de 5, 10, 20, 50 y 100 años. Ver Figuras 41 al 44.

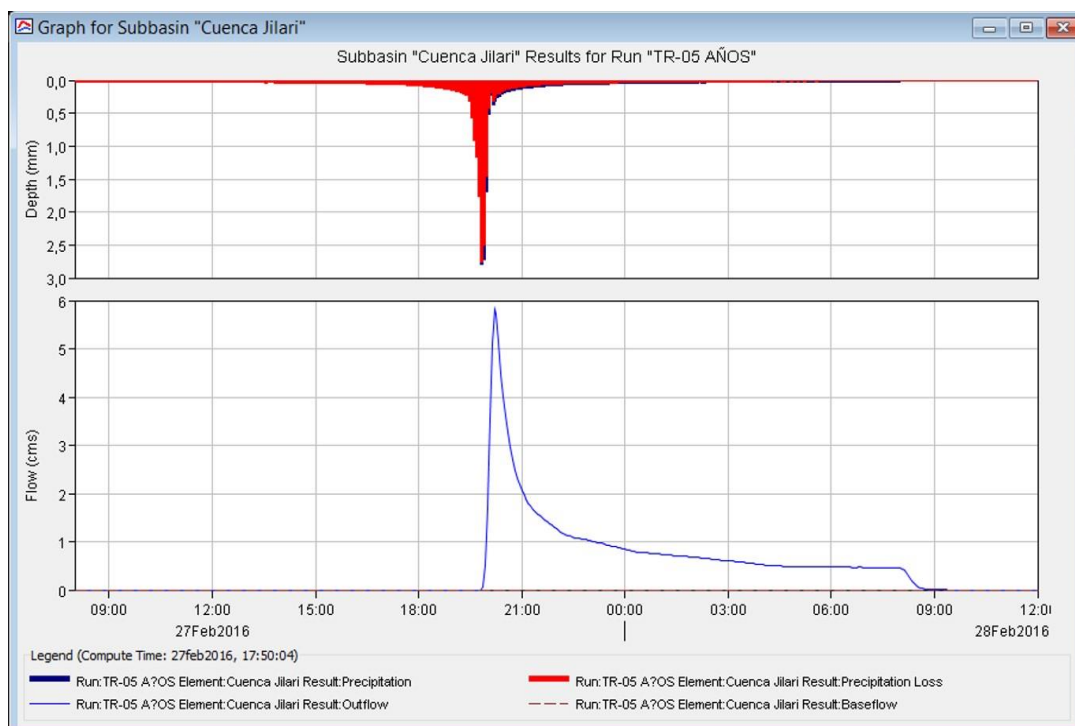


Figura 41. Caudal máximo quebrada Jilari para TR =5 Años.

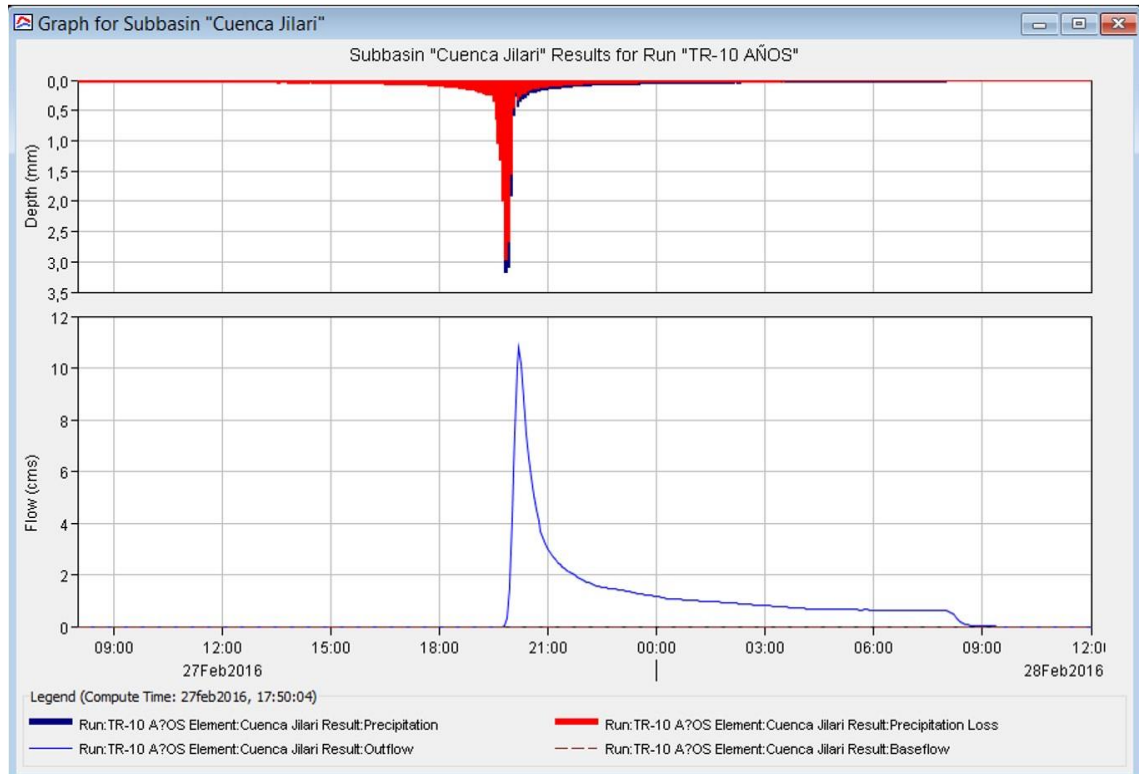


Figura 42. Caudal máximo quebrada Jilari para TR =10 Años.

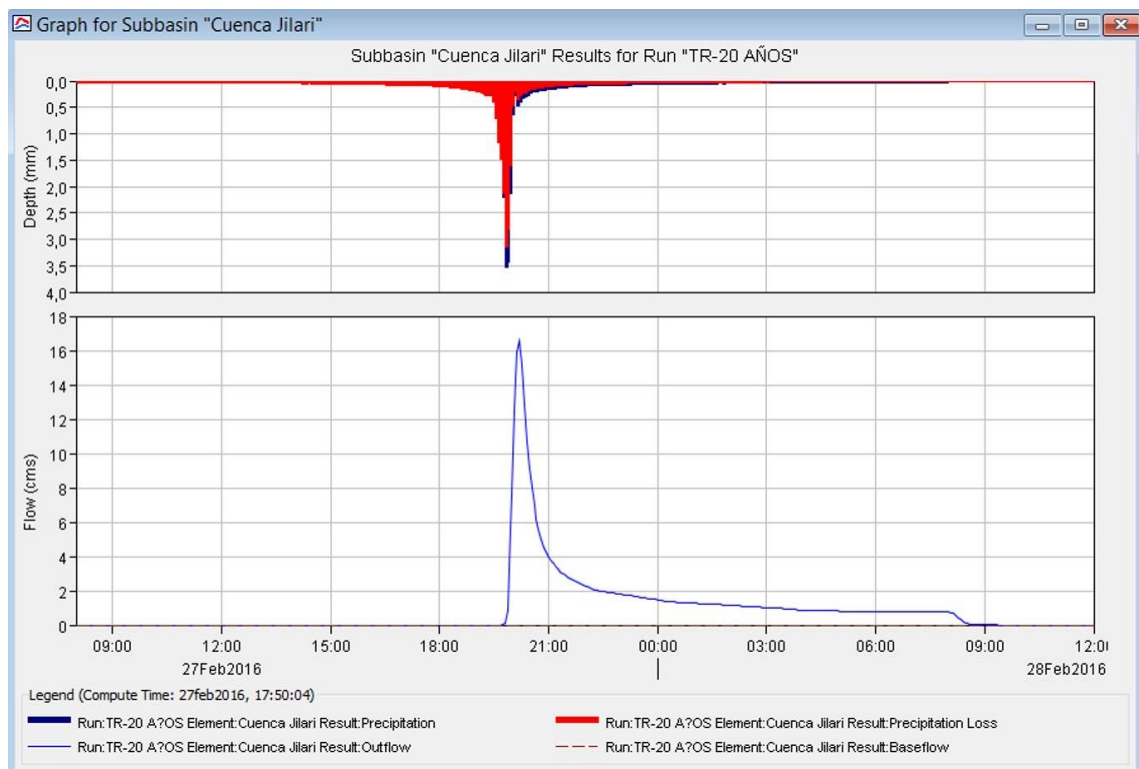


Figura 43. Caudal máximo quebrada Jilari para TR =20 Años.

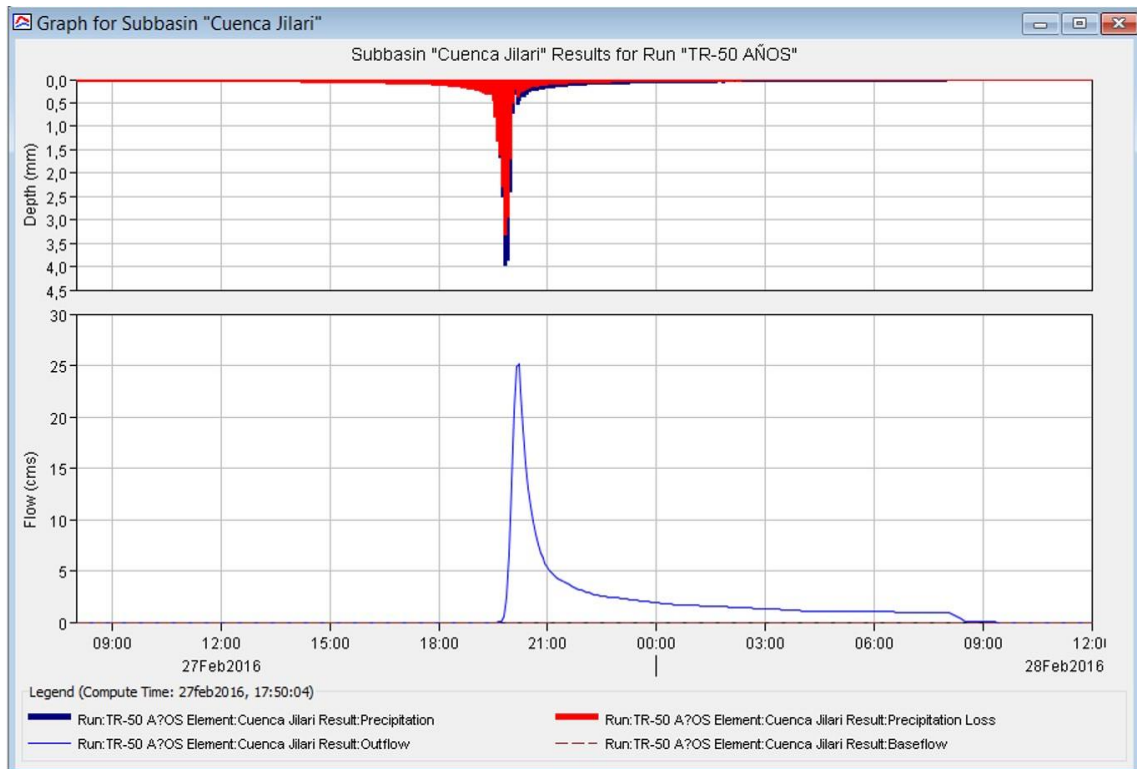


Figura 44. Caudal máximo quebrada Jilari para TR =50 Años.

A continuación, se tiene el resumen de las máximas avenidas de diseño. Ver tabla 16.

Tabla 16. Resumen de caudal de la quebrada Jilari.

T (años)	Caudal Quebrada Jilari (m3/s)
2	1.20
5	5.8
10	10.8
20	16.6
50	25.1
100	32.3



4.2.3. Comportamiento hidráulico de la quebrada Jilari.

Una vez obtenido los caudales del río Jilari, se realizó un previo modelamiento hidráulico en varios puntos de la quebrada, con fines de evaluar en cuanto variaría el tirante, velocidad entre otros parámetros hidráulicos en el cauce.

Para realizar el modelamiento hidráulico, se tomó en cuenta los caudales de diseño para un periodo de retorno de 5 y 10 años y el levantamiento topográfico del cauce, así como el estudio del PERPEC (2005) para tramos cercanos a la localidad de Cuyocuyo.

La simulación hidráulica se realizó para el total del levantamiento topográfico, es decir 1,480.00 m, comprendiendo – desde aguas abajo hacia aguas arriba – desde la progresiva 0+000 (sección 57 HEC-RAS) hasta la progresiva 1+480.0 km (sección 1 HEC-RAS).

4.2.3.1. Premisas de simulación

Para la simulación hidráulica de la quebrada Jilari, se asumió las siguientes premisas:

- Sección: del levantamiento topográfico
- Cota de fondo: la menor de las secciones.
- No hay movimiento de tierras en el cauce.

De los resultados obtenidos de la simulación hidráulica de la quebrada Jilari, se muestran detalladamente en las figuras 46 y 48, podemos decir que existen tramos críticos con problemas de desbordes y velocidades máximas excesivas, en este caso, y se detallan en la Tabla 16.

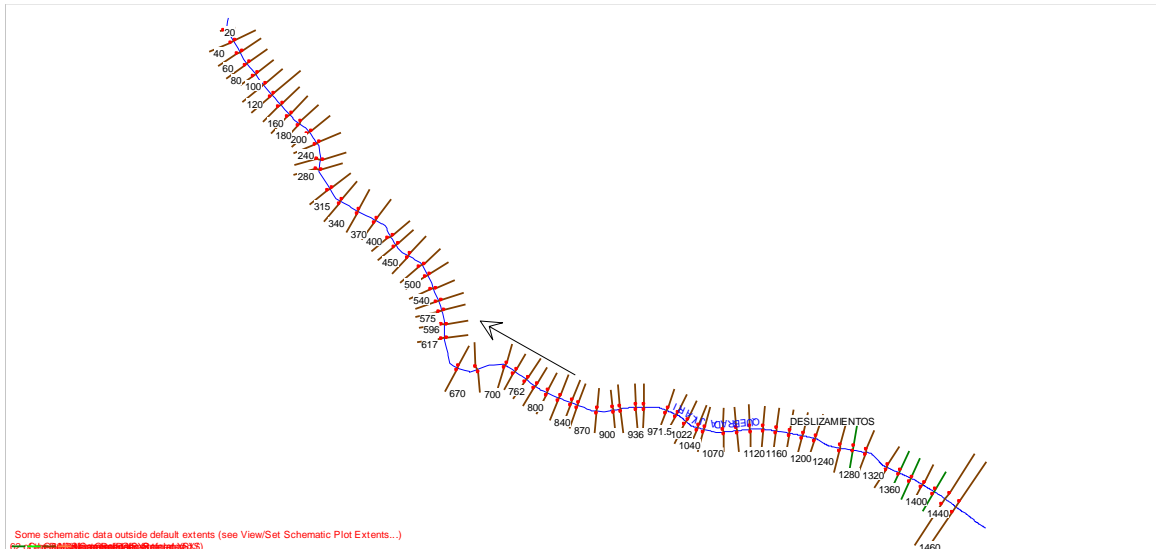


Figura 45. Tramo completo de la quebrada Jilari para la simulación hidráulica.

(Fuente: Elaboración propia)

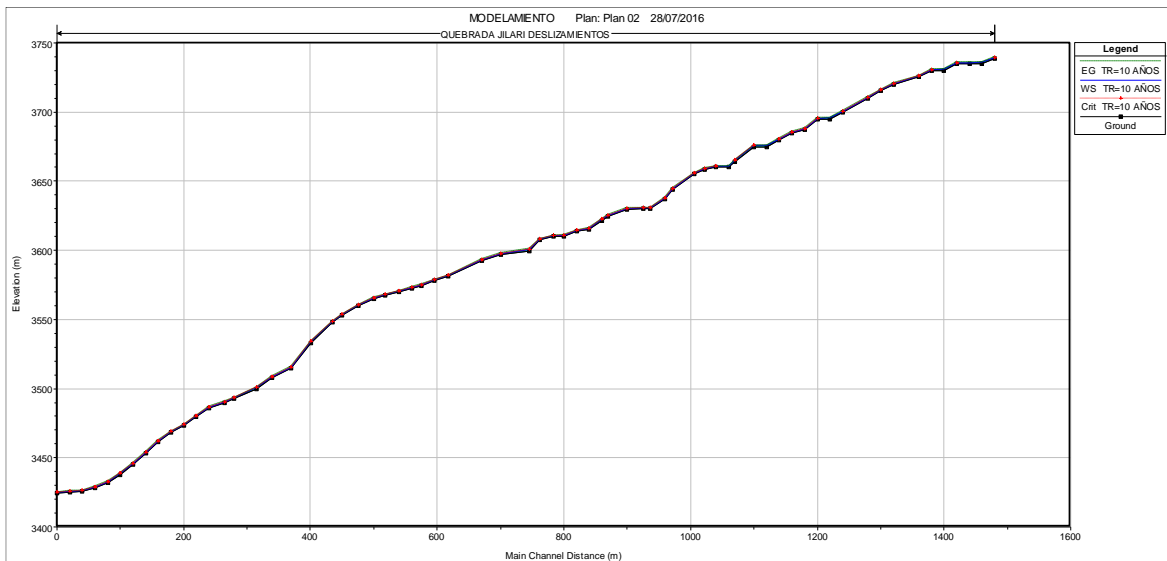


Figura 46. Perfiles hidráulicos de caudal máximo instantáneo para 5 y 10 años de periodo de retorno quebrada Jilari.

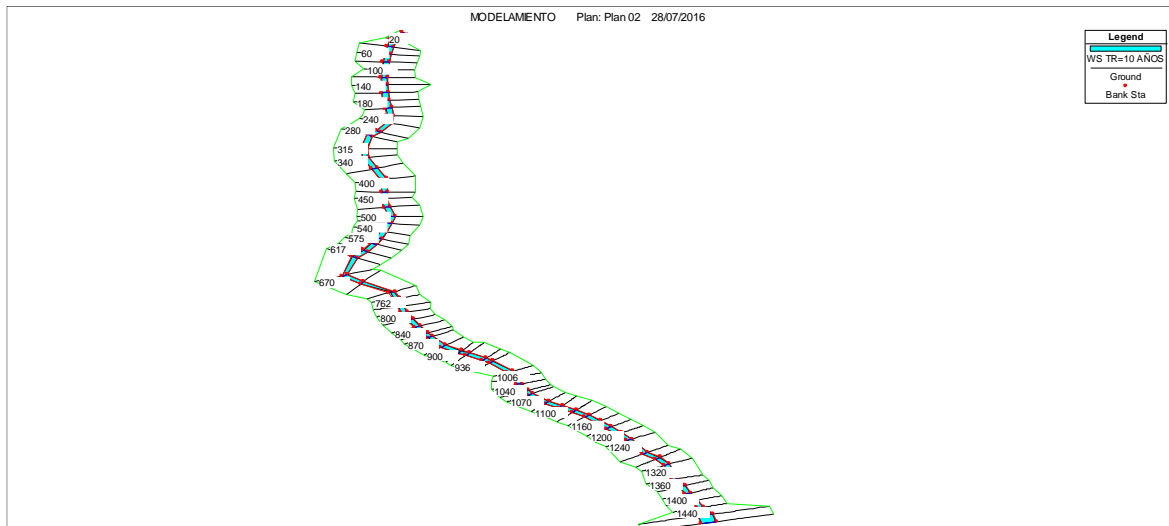


Figura 47. Perspectiva del tramo de simulación de la quebrada Jilari para 5 y 10 años de periodo de retorno.

Tabla 17. Tramos críticos de la quebrada Jilari.

Tramo	Progresiva	Periodo de Retorno	Tirante Max. (m)	Pendiente	Velocidad m/s	Area Flujo (m2)	Espejo Agua (m)	No. Froude
JILARI	1480	TR=5 AÑOS	0.57	0.007081	2.01	2.88	7.13	1.01
JILARI	1480	TR=10 AÑOS	0.78	0.006447	2.45	4.41	7.29	1.01
JILARI	1460	TR=5 AÑOS	0.7	0.001416	1.19	4.86	7.35	0.47
JILARI	1460	TR=10 AÑOS	0.97	0.001704	1.58	6.85	7.52	0.53
JILARI	1440	TR=5 AÑOS	0.62	0.002553	1.5	3.87	6.44	0.62
JILARI	1440	TR=10 AÑOS	0.82	0.003708	2.11	5.13	6.58	0.76
JILARI	1420	TR=5 AÑOS	0.46	0.007257	1.93	3.01	8.05	1.01
JILARI	1420	TR=10 AÑOS	0.65	0.006704	2.37	4.56	8.08	1.01
JILARI	1400	TR=5 AÑOS	0.67	0.001722	1.26	4.6	7.29	0.51
JILARI	1400	TR=10 AÑOS	0.92	0.002072	1.67	6.47	7.32	0.57
JILARI	1380	TR=5 AÑOS	0.47	0.007462	2.01	2.89	7.32	1.02
JILARI	1380	TR=10 AÑOS	0.67	0.006764	2.45	4.41	7.37	1.01
JILARI	1360	TR=5 AÑOS	0.51	0.007014	1.96	2.96	7.62	1.01
JILARI	1360	TR=10 AÑOS	0.71	0.006435	2.4	4.5	7.74	1.01
JILARI	1320	TR=5 AÑOS	0.51	0.006898	2	2.9	7.13	1
JILARI	1320	TR=10 AÑOS	0.72	0.006422	2.45	4.4	7.31	1.01
JILARI	1300	TR=5 AÑOS	0.49	0.006893	2.02	2.88	6.91	1
JILARI	1300	TR=10 AÑOS	0.7	0.006465	2.47	4.38	7.17	1.01
JILARI	1280	TR=5 AÑOS	0.45	0.00713	1.88	3.09	8.62	1
JILARI	1280	TR=10 AÑOS	0.63	0.006633	2.32	4.66	8.67	1.01
JILARI	1240	TR=5 AÑOS	0.53	0.006813	2	2.89	7.16	1.01
JILARI	1240	TR=10 AÑOS	0.73	0.006317	2.44	4.42	7.45	1.01
JILARI	1220	TR=5 AÑOS	0.61	0.001846	1.28	4.53	7.61	0.53
JILARI	1220	TR=10 AÑOS	0.85	0.002194	1.69	6.39	7.66	0.59
JILARI	1200	TR=5 AÑOS	0.42	0.007019	1.96	2.96	7.61	1
JILARI	1200	TR=10 AÑOS	0.62	0.006427	2.39	4.52	7.78	1
JILARI	1180	TR=5 AÑOS	0.46	0.007109	2	2.91	7.26	1.01
JILARI	1180	TR=10 AÑOS	0.67	0.006476	2.42	4.46	7.57	1.01
JILARI	1160	TR=5 AÑOS	0.44	0.006879	1.98	2.94	7.39	1
JILARI	1160	TR=10 AÑOS	0.64	0.006403	2.42	4.46	7.54	1.01
JILARI	1140	TR=5 AÑOS	0.42	0.007181	2	2.9	7.33	1.01
JILARI	1140	TR=10 AÑOS	0.63	0.006441	2.4	4.5	7.8	1.01
JILARI	1120	TR=5 AÑOS	0.7	0.001512	1.22	4.74	7.46	0.49
JILARI	1120	TR=10 AÑOS	0.99	0.00165	1.57	6.9	7.67	0.53
JILARI	1100	TR=5 AÑOS	0.49	0.006939	2.07	2.8	6.49	1
JILARI	1100	TR=10 AÑOS	0.72	0.006302	2.49	4.34	6.87	1
JILARI	1070	TR=5 AÑOS	0.65	0.006576	2.05	2.82	6.6	1
JILARI	1070	TR=10 AÑOS	0.88	0.006166	2.46	4.39	7.27	1.01
JILARI	1060	TR=5 AÑOS	0.81	0.000847	1.01	5.75	7.7	0.37
JILARI	1060	TR=10 AÑOS	1.08	0.001123	1.37	7.87	7.82	0.44
JILARI	1040	TR=5 AÑOS	0.61	0.007042	2	2.91	7.34	1.01
JILARI	1040	TR=10 AÑOS	0.82	0.006359	2.42	4.46	7.48	1
JILARI	1022	TR=5 AÑOS	0.71	0.006766	2.03	2.85	6.92	1.01
JILARI	1022	TR=10 AÑOS	0.93	0.006251	2.48	4.36	7.1	1.01
JILARI	1006	TR=5 AÑOS	0.42	0.007103	2	2.9	7.17	1
JILARI	1006	TR=10 AÑOS	0.63	0.00658	2.45	4.41	7.36	1.01
JILARI	971.5	TR=5 AÑOS	0.57	0.006946	2.08	2.79	6.38	1
JILARI	971.5	TR=10 AÑOS	0.8	0.006488	2.53	4.26	6.57	1
JILARI	960	TR=5 AÑOS	0.51	0.007017	2.05	2.83	6.74	1.01
JILARI	960	TR=10 AÑOS	0.73	0.00644	2.5	4.33	6.93	1.01
JILARI	936	TR=5 AÑOS	0.53	0.005178	1.8	3.22	7.5	0.88
JILARI	936	TR=10 AÑOS	0.75	0.004983	2.23	4.85	7.69	0.9
JILARI	925	TR=5 AÑOS	0.54	0.007007	2.01	2.88	7.11	1.01
JILARI	925	TR=10 AÑOS	0.75	0.006449	2.43	4.44	7.52	1.01
JILARI	900	TR=5 AÑOS	0.53	0.007022	2.04	2.84	6.78	1.01
JILARI	900	TR=10 AÑOS	0.75	0.006516	2.5	4.32	6.92	1.01
JILARI	870	TR=5 AÑOS	0.55	0.007192	2.04	2.84	6.88	1.02
JILARI	870	TR=10 AÑOS	0.77	0.006433	2.47	4.38	7.13	1
JILARI	860	TR=5 AÑOS	0.62	0.006762	2.09	2.78	6.28	1
JILARI	860	TR=10 AÑOS	0.85	0.006298	2.55	4.24	6.47	1
JILARI	840	TR=5 AÑOS	0.51	0.006862	2.08	2.79	6.25	1
JILARI	840	TR=10 AÑOS	0.73	0.006571	2.57	4.21	6.37	1.01
JILARI	820	TR=5 AÑOS	0.49	0.007219	1.99	2.91	7.26	1
JILARI	820	TR=10 AÑOS	0.69	0.006686	2.44	4.42	7.32	1



Tramo	Progresiva	Periodo de Retorno	Tirante Max. (m)	Pendiente	Velocidad m/s	Area Flujo (m2)	Espejo Agua (m)	No. Froude
JILARI	800	TR=5 AÑOS	0.6	0.006571	2	2.9	6.85	0.98
JILARI	800	TR=10 AÑOS	0.8	0.006493	2.5	4.32	6.9	1.01
JILARI	783	TR=5 AÑOS	0.48	0.006816	1.99	2.91	7.16	1
JILARI	783	TR=10 AÑOS	0.69	0.006507	2.47	4.38	7.22	1.01
JILARI	762	TR=5 AÑOS	0.55	0.006804	2	2.9	7.1	1
JILARI	762	TR=10 AÑOS	0.75	0.006423	2.46	4.39	7.21	1.01
JILARI	745	TR=5 AÑOS	1.24	0.007573	2.58	2.25	3.37	1.01
JILARI	745	TR=10 AÑOS	1.62	0.006941	2.92	3.7	4.33	1.01
JILARI	700	TR=5 AÑOS	0.46	0.007001	1.97	2.95	7.38	0.99
JILARI	700	TR=10 AÑOS	0.66	0.006571	2.42	4.45	7.5	1
JILARI	670	TR=5 AÑOS	0.49	0.007185	2.01	2.88	7.03	1
JILARI	670	TR=10 AÑOS	0.7	0.006631	2.46	4.39	7.13	1
JILARI	617	TR=5 AÑOS	0.58	0.006851	2.02	2.87	6.96	1
JILARI	617	TR=10 AÑOS	0.79	0.006361	2.47	4.37	7.15	1.01
JILARI	596	TR=5 AÑOS	0.52	0.007178	2.05	2.83	6.84	1.02
JILARI	596	TR=10 AÑOS	0.74	0.006496	2.48	4.35	7.01	1.01
JILARI	575	TR=5 AÑOS	0.49	0.007143	1.96	2.96	7.69	1.01
JILARI	575	TR=10 AÑOS	0.69	0.006441	2.38	4.53	7.82	1
JILARI	560	TR=5 AÑOS	0.59	0.006904	2.08	2.78	6.42	1.01
JILARI	560	TR=10 AÑOS	0.83	0.00625	2.51	4.31	6.78	1
JILARI	540	TR=5 AÑOS	0.44	0.007107	1.97	2.94	7.47	1.01
JILARI	540	TR=10 AÑOS	0.65	0.006496	2.41	4.48	7.66	1
JILARI	518	TR=5 AÑOS	0.55	0.006931	1.99	2.91	7.37	1.01
JILARI	518	TR=10 AÑOS	0.76	0.006327	2.42	4.46	7.63	1.01
JILARI	500	TR=5 AÑOS	0.44	0.007158	1.94	2.98	7.89	1.01
JILARI	500	TR=10 AÑOS	0.64	0.006413	2.37	4.56	7.99	1
JILARI	475	TR=5 AÑOS	0.48	0.007209	1.96	2.97	7.86	1.02
JILARI	475	TR=10 AÑOS	0.68	0.006452	2.38	4.54	7.95	1
JILARI	450	TR=5 AÑOS	0.61	0.00683	2.09	2.77	6.29	1.01
JILARI	450	TR=10 AÑOS	0.84	0.006282	2.53	4.26	6.62	1.01
JILARI	435	TR=5 AÑOS	0.47	0.007143	1.99	2.92	7.32	1
JILARI	435	TR=10 AÑOS	0.68	0.006548	2.43	4.45	7.43	1
JILARI	400	TR=5 AÑOS	0.51	0.007062	2.02	2.88	7.07	1.01
JILARI	400	TR=10 AÑOS	0.73	0.006383	2.45	4.41	7.22	1
JILARI	370	TR=5 AÑOS	0.45	0.007049	1.98	2.93	7.31	1
JILARI	370	TR=10 AÑOS	0.65	0.00659	2.44	4.43	7.33	1
JILARI	340	TR=5 AÑOS	0.49	0.006998	1.96	2.96	7.61	1
JILARI	340	TR=10 AÑOS	0.69	0.006405	2.4	4.5	7.66	1
JILARI	315	TR=5 AÑOS	0.5	0.006984	2.08	2.79	6.33	1
JILARI	315	TR=10 AÑOS	0.73	0.006379	2.54	4.26	6.57	1
JILARI	280	TR=5 AÑOS	0.5	0.00702	1.98	2.94	7.46	1.01
JILARI	280	TR=10 AÑOS	0.71	0.006415	2.41	4.48	7.6	1
JILARI	265	TR=5 AÑOS	0.45	0.006814	1.95	2.98	7.68	1
JILARI	265	TR=10 AÑOS	0.65	0.006312	2.38	4.53	7.92	1.01
JILARI	240	TR=5 AÑOS	0.48	0.007187	1.98	2.93	7.35	1
JILARI	240	TR=10 AÑOS	0.68	0.006714	2.44	4.42	7.43	1.01
JILARI	220	TR=5 AÑOS	0.45	0.007059	1.96	2.95	7.53	1
JILARI	220	TR=10 AÑOS	0.65	0.006473	2.4	4.49	7.66	1
JILARI	200	TR=5 AÑOS	0.44	0.007014	1.97	2.94	7.46	1.01
JILARI	200	TR=10 AÑOS	0.64	0.006426	2.41	4.48	7.64	1.01
JILARI	180	TR=5 AÑOS	0.39	0.00732	1.91	3.04	8.47	1.02
JILARI	180	TR=10 AÑOS	0.59	0.006392	2.31	4.68	8.59	1
JILARI	160	TR=5 AÑOS	0.42	0.007174	1.93	3.01	8.09	1.01
JILARI	160	TR=10 AÑOS	0.62	0.006402	2.34	4.61	8.3	1
JILARI	140	TR=5 AÑOS	0.43	0.00724	2	2.9	7.29	1.01
JILARI	140	TR=10 AÑOS	0.64	0.006494	2.42	4.46	7.45	1
JILARI	120	TR=5 AÑOS	0.51	0.006835	2.12	2.74	6.05	1
JILARI	120	TR=10 AÑOS	0.75	0.006275	2.55	4.24	6.44	1
JILARI	100	TR=5 AÑOS	0.59	0.007017	1.96	2.96	7.67	1.01
JILARI	100	TR=10 AÑOS	0.79	0.006459	2.4	4.49	7.74	1.01
JILARI	80	TR=5 AÑOS	0.5	0.006774	1.95	2.97	7.63	1
JILARI	80	TR=10 AÑOS	0.7	0.006398	2.41	4.48	7.7	1.01
JILARI	60	TR=5 AÑOS	0.59	0.007051	1.96	2.96	7.67	1.01
JILARI	60	TR=10 AÑOS	0.79	0.006461	2.4	4.49	7.74	1.01
JILARI	40	TR=5 AÑOS	0.59	0.007131	1.97	2.95	7.67	1.01
JILARI	40	TR=10 AÑOS	0.79	0.006394	2.4	4.51	7.74	1
JILARI	20	TR=5 AÑOS	0.59	0.007005	1.96	2.96	7.67	1.01
JILARI	20	TR=10 AÑOS	0.8	0.006371	2.39	4.51	7.74	1
JILARI	0	TR=5 AÑOS	0.58	0.007158	1.87	3.11	8.96	1.01
JILARI	0	TR=10 AÑOS	0.76	0.006435	2.28	4.73	9.03	1.01

Cabe resaltar que se tienen velocidades desde 1.01 m/s a 2.92 m/s, siendo el promedio de 2.15 m/s.

4.3. DESLIZAMIENTO QUEBRADA JILARI

El deslizamiento de Jilari se localiza al sureste de la localidad de Cuyocuyo, a aproximadamente 900 metros. El deslizamiento se extiende en ambas laderas, principalmente en el lado izquierdo, que conjuntamente con la socavación del cauce de la quebrada Jilari, producen deslizamientos importantes.

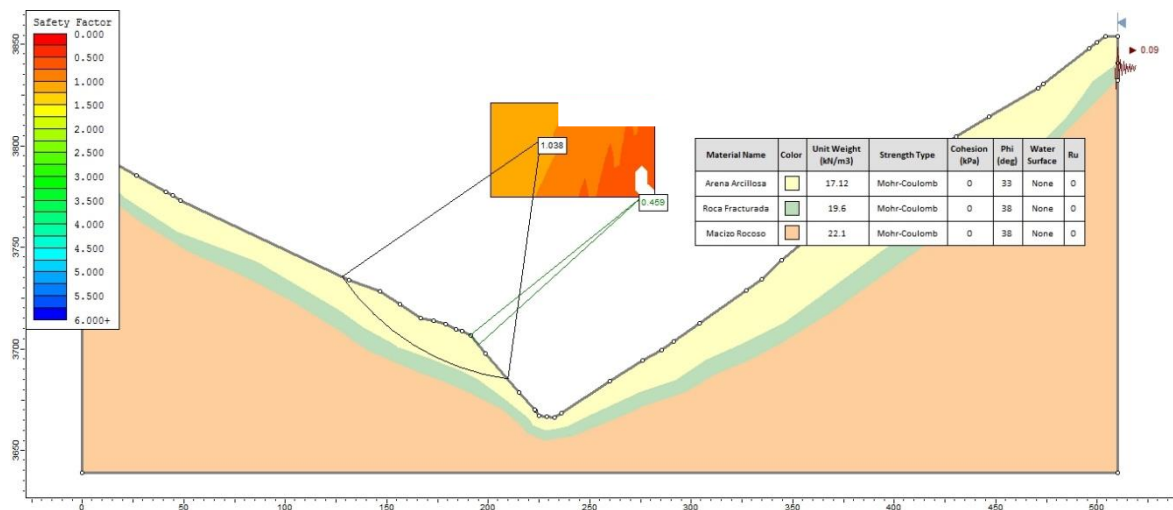


Figura 48. Sección transversal de la quebrada Jilari, zona de deslizamientos.

Para el análisis de estabilidad de talud se ha seleccionado las secciones críticas que se aprecian en el plano de ubicación, en las cuales se han presentado deslizamientos en años anteriores, cuyos datos fueron obtenidos desde un levantamiento topográfico.

Tomándose diferentes aspectos, a saber:

- Parámetros del modelo y condiciones de contorno del deslizamiento
- Resultados del análisis de estabilidad



- Adopción de métodos de estabilización de talud, en los tramos críticos.

El procedimiento seguido, ha sido utilizando el software SLIDE de Rockscience y básicamente consiste en analizar la estabilidad de un talud en superficies circulares, por el método del equilibrio limite.

4.3.1. Entrada de datos

Para trabajar con el programa se introducen datos del perfil del terreno, datos geotécnicos y otros que pide el programa, con un tipo de rotura circular, analizado por el método Bishop.

Estratigrafía del terreno; en el fondo tenemos la formación Ananea como material superior el GC y SC,

Ángulo de fricción = $\phi = 32.00^\circ$

Cohesión = 5 kN/m²

Peso Unitario Húmedo = 17.8 kN/m³

Peso Unitario Saturado = 19.8 kN/m³

El Segundo material se considera un estrato de Roca Pizarra con características:

Ángulo de fricción = $\phi = 45.00^\circ$

Cohesión = 150 kN/m²

Peso Unitario Húmedo = 24 kN/m³

Peso Unitario Saturado = 24 kN/m³

El material del fondo es roca impenetrable por donde no atraviesa ninguna superficie de falla.

4.3.2. Resultados del análisis

MARGEN IZQUIERDA

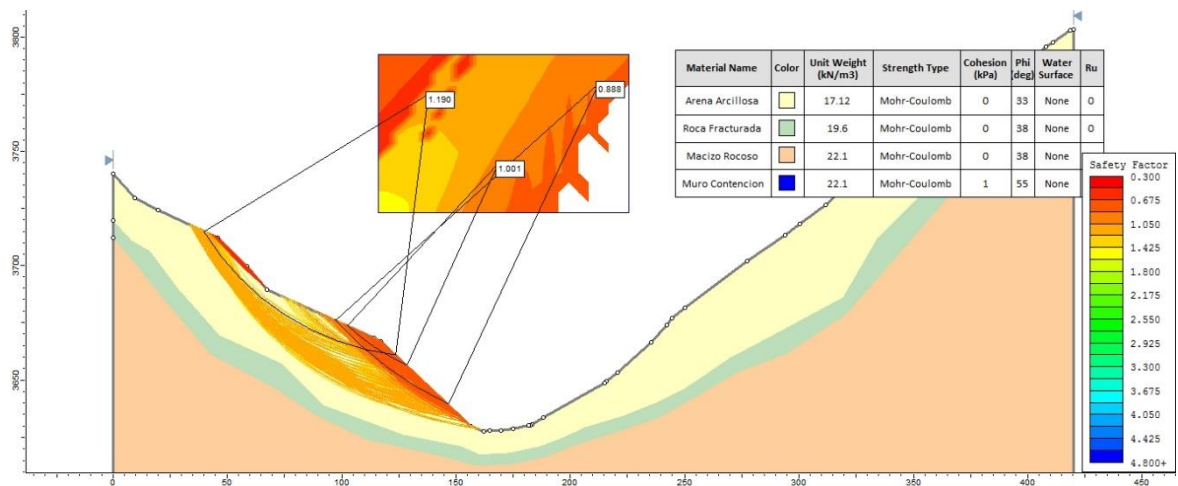


Figura 49. Análisis de talud condición seco, sin tratamiento (FS=0.88).

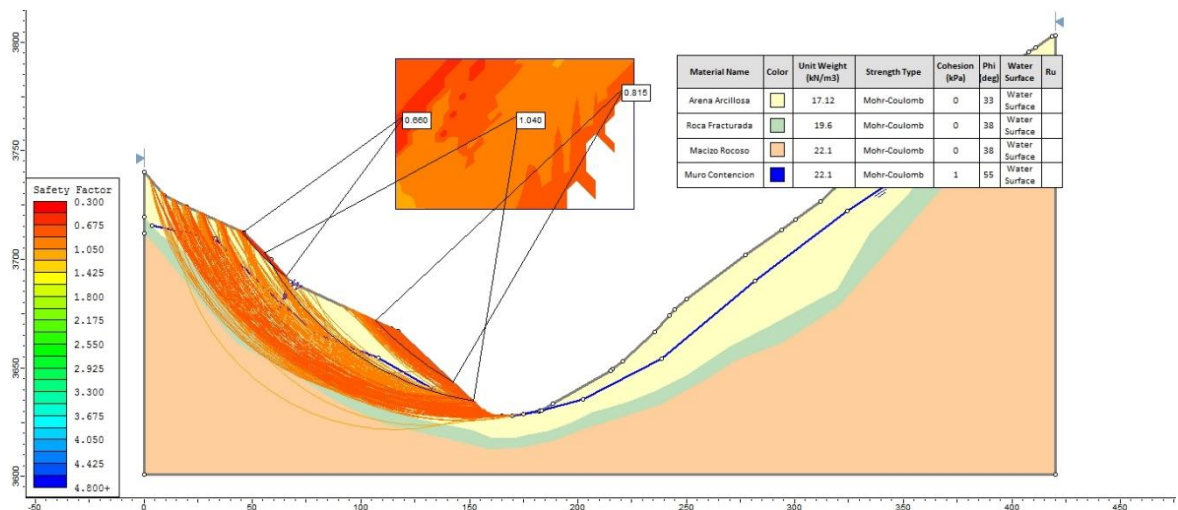


Figura 50. Análisis de talud condición saturado, sin tratamiento (FS=0.815).

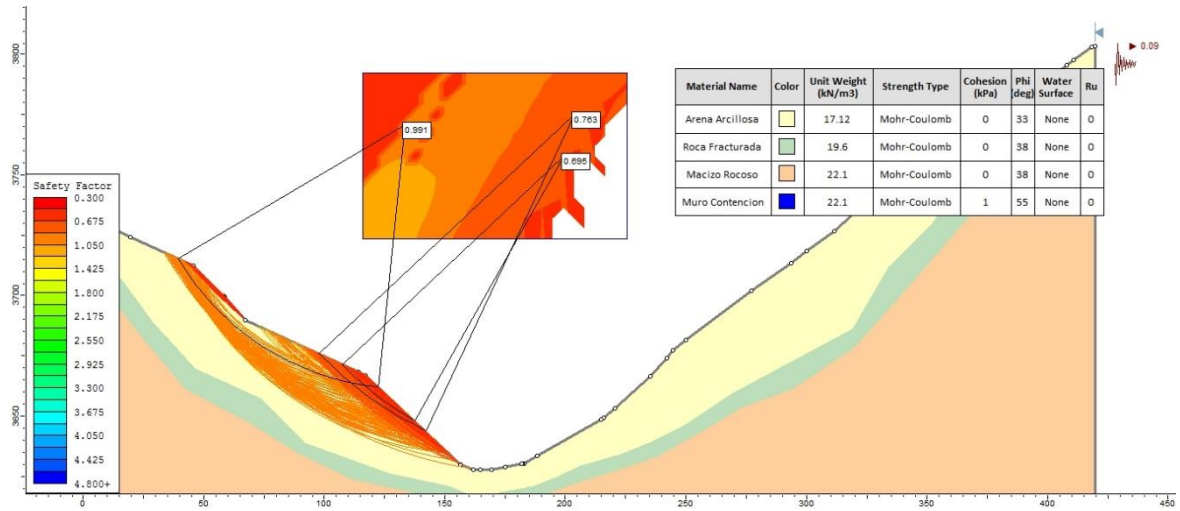


Figura 51. Análisis de talud condición seco, con sismo, sin tratamiento (FS=0.763).

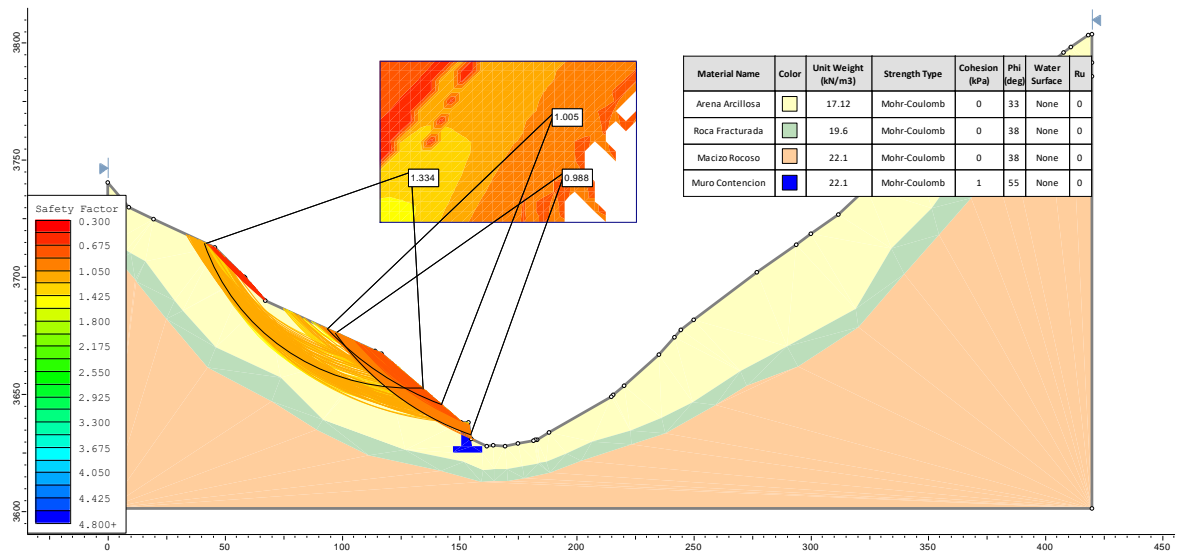


Figura 52. Análisis de talud condición seco, con muro de contención solamente (FS=0.988).

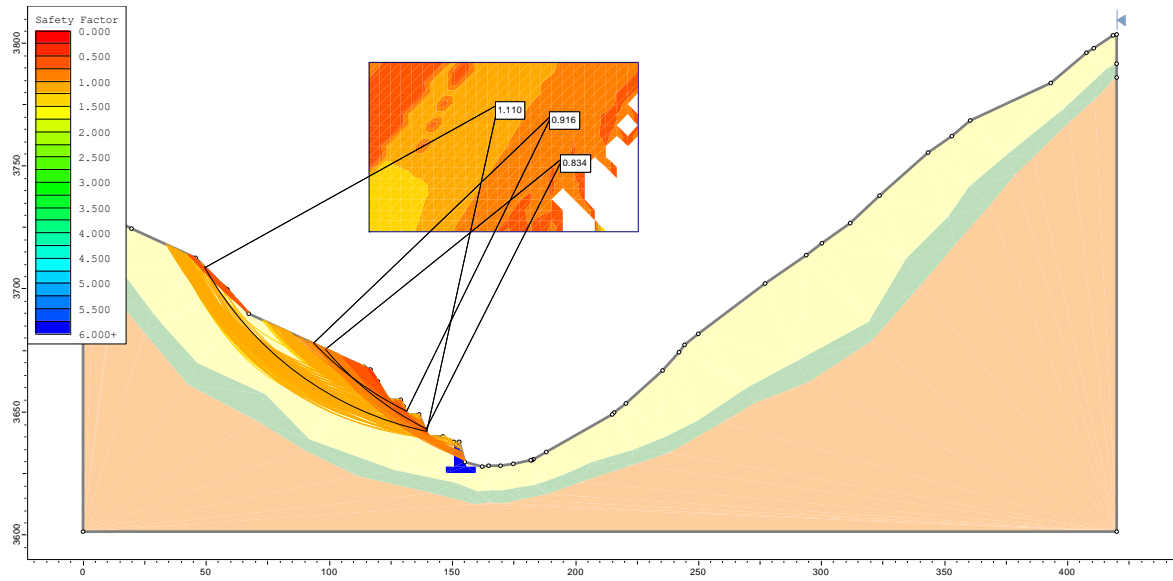


Figura 53. Análisis de talud condición seco, con muro de contención y banquetas (FS=0.830).

MARGEN DERECHA

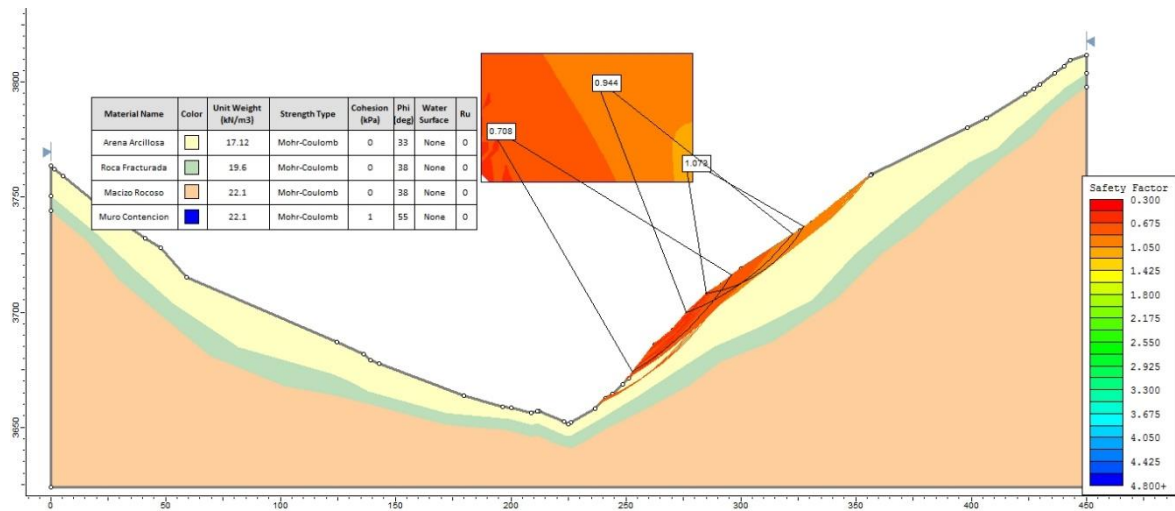


Figura 54. Análisis de talud condición seco, sin tratamiento (FS=0.708).

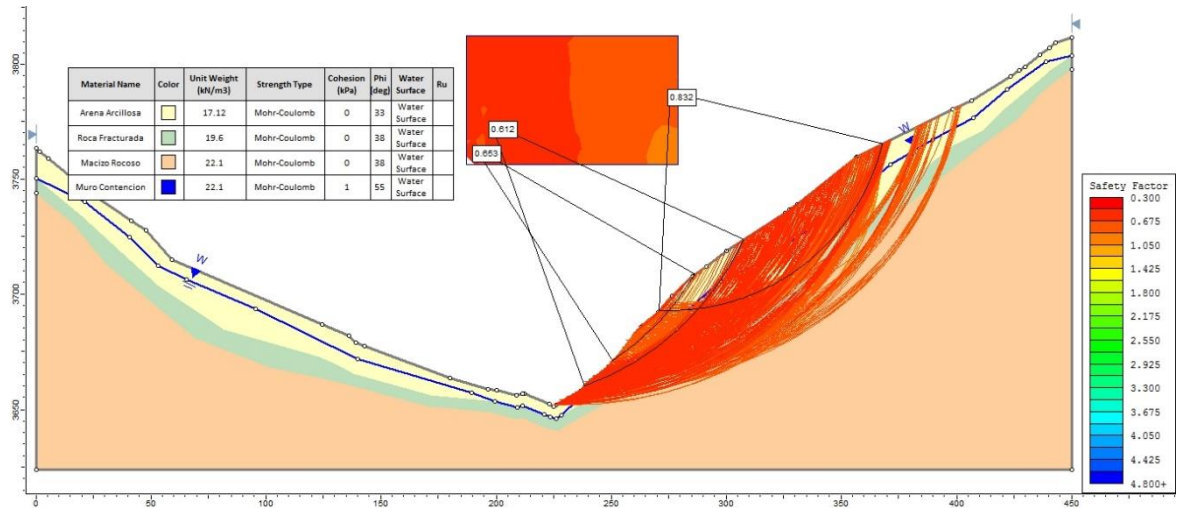


Figura 55. Análisis de talud condición saturado, sin tratamiento (FS=0.612).

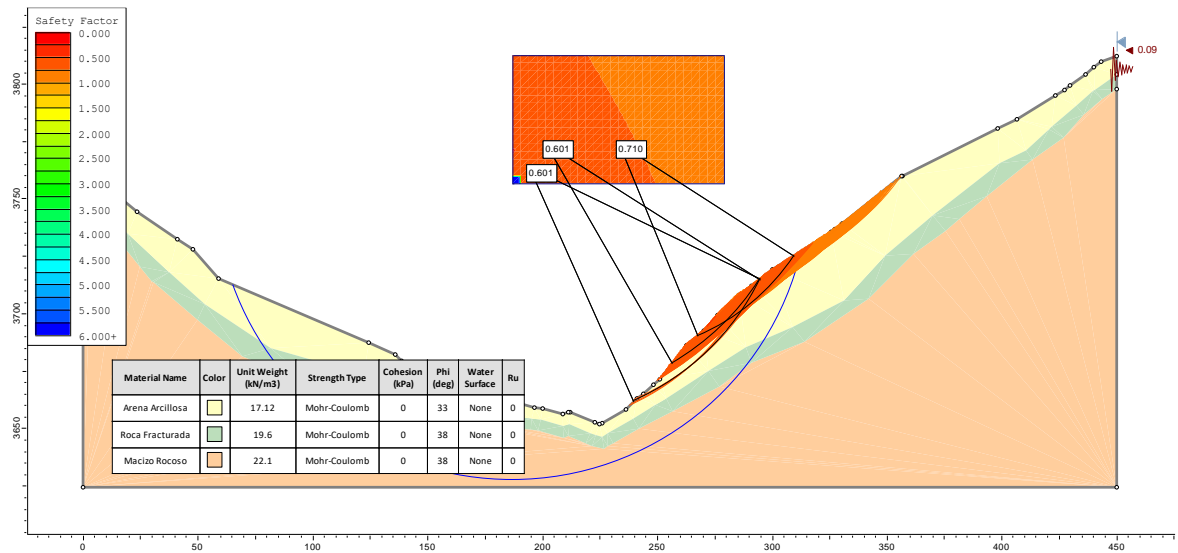


Figura 56. Análisis de talud condición seco, con sismo, sin tratamiento (FS=0.601).

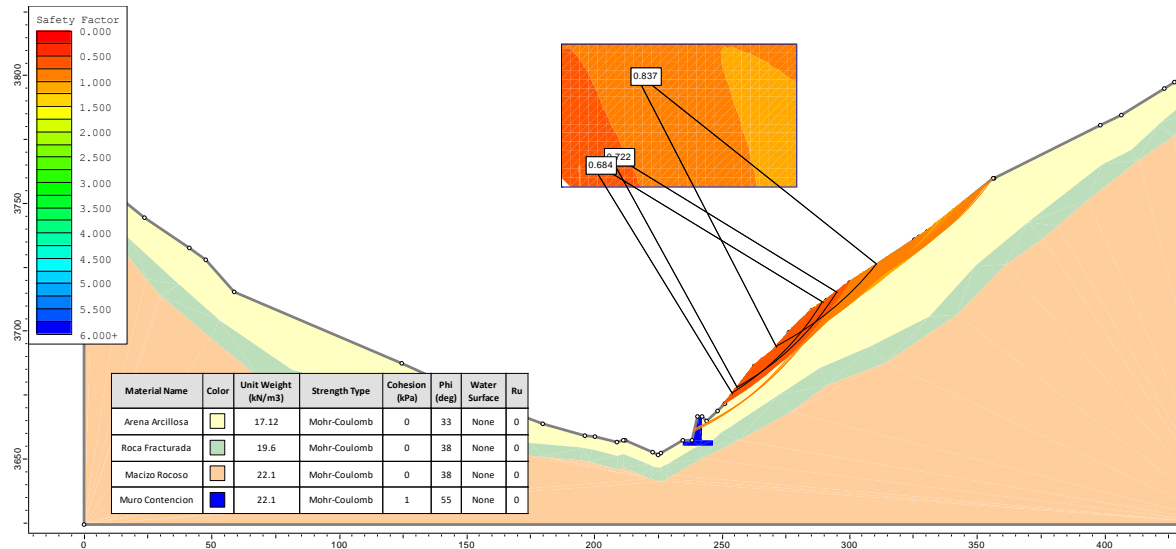


Figura 57. Análisis de talud condición seco, con muro de contención solamente (FS=0.684).

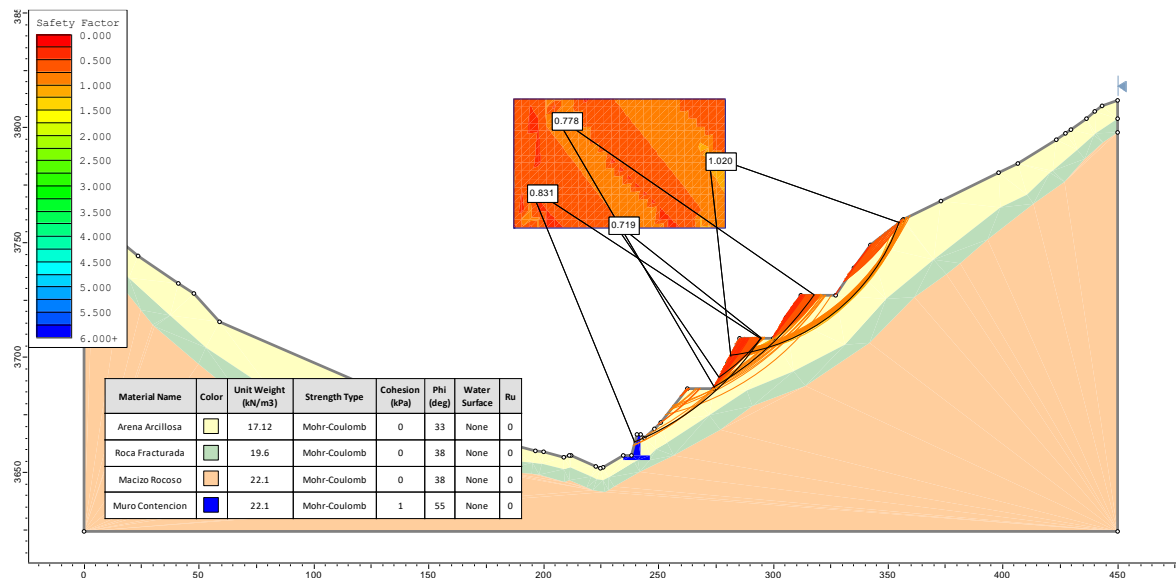


Figura 58. Análisis de talud condición seco, con muro de contención y banquetas (FS=0.719).

4.3.3. Comentario del análisis de estabilidad de talud en quebrada Jilari;

Son diversos los casos que se presentan en las laderas de montaña, en este caso debido a los valores relativamente altos del ángulo de fricción se ha visto que la superficie de falla tiende a estar cerca de la superficie del terreno.

Para el caso analizado en el supuesto de NO existencia de elementos de estabilización, tales como excavación de banquetas y muros de contención, el factor de seguridad al pie del talud disminuye fuertemente, aún en estado seco.

Asimismo, los parámetros de resistencia del suelo y los niveles de agua introducidos como parámetros de entrada para el análisis han sido los mismos que los utilizados en el análisis de estabilidad de talud. En la Tabla 18 se muestran los resultados de los factores de seguridad mínimos, que se esperan según el análisis de estabilidad del talud.

Tabla 18. Resumen resultados análisis de estabilidad de talud.

Condición	Factor de Seguridad	
	Margen Izquierda	Margen Derecha
Condición Seca	0.88	0.708
Condición Saturada	0.815	0.612
Condición Seca, Con Sismo	0.763	0.601
Condición Seca, Con Muro	0.988	0.684
Condición Seca, Con Banquetas	0.830	0.719

En los casos de incluir medidas de prevención y remediación, los factores de seguridad analizados aumentan grandemente. Para el caso de incluir un muro de contención y para el caso de incluir banquetas en el talud, tal como se puede apreciar en las figuras 49 al 58.



4.4. ESTIMACIÓN DE FLUJO DE ESCOMBROS

Descarga Pico (Q_p): Utilizando la siguiente ecuación se tiene

$$Q_p = 0.1M^{0.833}$$

M: Volumen del flujo de escombros (m³)

$$Q_p = 0.1 * (9,900)^{0.833}$$

$$Q_p = 213.58 \text{ m}^3/\text{s}$$

Velocidad Media de Flujo (V):

$$V = 2.1Q^{0.33} S^{0.33}$$

Q = descarga máxima (m³/s)

$$S = \text{pendiente local (m/m)} = 0.20$$

$$V = 6.9 \text{ m/s}$$

Distancia de Viaje (L):

$$L = 1.9M^{0.16} H^{0.83}$$

$$H = 30 \text{ m}$$

$$L = 139.34 \text{ m}$$

4.5. METODOS DE ESTABILIZACIÓN PLANTEADAS PARA LA ZONA

Las recomendaciones planteadas son similares a las recomendadas por (Hearn, 2011; Huang, 2014; Takahashi, 2014; Turner & Schuster, 1996). Que se dividen en tres



grupos 1) Evitar el problema 2) Reducción de fuerzas desestabilizantes 3) Incrementar fuerzas resistentes.

Evitar el problema. – Existe la posibilidad de plantear reubicación de viviendas específicas. Sin embargo, la población de Cuyocuyo en general, debido a la instalación de casas y numerosa infraestructura urbana existente, hay zonas que son más propensas a sufrir los daños de deslizamientos y huaycos con más intensidad que deberá tomarse en cuenta. En cuanto a infraestructura vial en muchos casos también puede plantearse el cambio de trazo a zonas más estables.

Reducción de Fuerzas desestabilizantes. – Algunas medidas como tendido del talud, construcción de banquetas, reducidas profundidades de excavación, drenaje superficial y subsuperficial. Todas estas técnicas pueden ser aplicadas en la zona según sea el talud específico (Ver anexo).

Incrementar Fuerzas Resistentes: aquí se distinguen dos maneras

a) Aplicando fuerzas externas. Esto se refiere a poner estructuras al pie del talud

1.- Contrafuerte, rellenos de contrapeso, y bermas de pie, que pueden adaptarse cuando se tiene materiales para dichos casos.

2.- El según caso se refiere a sistemas de retención tales como muros de contención de cantiléver y de gravedad, muros sujetos externamente o soportados por anclaje o tirantes, suelo clavado, pilas de raíces, pilas convencionales y fuste taladrado, y

3.- Una variedad de sistemas de suelo reforzado.

En la mayoría de los casos analizados se prefería utilizar los muros de contención de gravedad, definido principalmente por poca altura de los muros existentes.



b) Incrementando fuerzas internas. -

Estos métodos que son usados para incrementar la resistencia interna del suelo, incluyen drenaje subsuperficial, sistemas de suelo reforzado, técnicas de estabilización vegetal y biotécnica. Asimismo, es importante destacar que todas estas técnicas de reforzar el suelo (fundamentalmente con geosintéticos), son aplicables para la zona, esencialmente utilizados para lugares de construcción de carreteras. En el caso de los taludes naturales se prefería incrementar la protección con estabilización vegetal.

Interpretación de los Resultados

Tipo de Suelos

Los suelos son en general gravas arcillosas, gravas limosas, o arenas limosas, o gravas bien graduadas con pocos finos. Se ha encontrado que tienen un gran componente friccionante y poca influencia de la cohesión en la resistencia del suelo al corte. Tal es así que el ángulo de fricción se encuentra entre 23° a 32° aproximadamente.

Según los resultados calculados la unidad de suelo más inestable en la quebrada es la correspondiente a suelos de gravas arcillosas, o arenas arcillosas, esto es, un grupo general que se presenta, generalmente encima de la formación Sandia.

Juntas, Fracturas y Foliación

Un factor que tanto el presente análisis no toma en consideración es la influencia de estructuras geológicas sobre el flujo de agua subterránea. Flujo de agua subterránea a través de una fractura es notoriamente difícil modelar porque la tasa de transmisividad está fuertemente controlada por el tamaño de la abertura de fractura y la conectividad de la red de fractura.

Intersección de juntas y fracturas pueden causar flujo de aguas subterráneas para ser concentrados en hoyos topográficos. Durante un evento de precipitación fuerte, estos hoyos pueden periódicamente ser “extraídos fuera” del material coluvial imtemperizado, desencadenando un flujo de escombros.



Figura 59. Quebrada Jilari, durante un evento de lluvia, el flujo erosiona el cauce.

Fuente: Municipalidad Distrital Cuyocuyo

4.6. GESTIÓN DE RIESGOS DE DESASTRES

La localidad de Cuyocuyo consta de una considerable cantidad de población, infraestructura pública, y está ubicado al pie de la quebrada Jilari, con potencial variable para el desarrollo de flujos de escombros y otros eventos perturbadores. Por lo tanto, las consecuencias o pérdidas resultantes de tales eventos son variables.

La gestión de riesgos integrada implica preparación, respuesta y recuperación los fenómenos naturales dentro de una unidad territorial donde ocurren todos los procesos naturales. A medida que crece la población y aumentan las demandas de urbanización, industrialización y producción de alimentos, los impactos de la actividad humana ya no se limitan a áreas pequeñas o comunidades específicas, sino que deben considerarse en el contexto más amplio en el que ocurren.

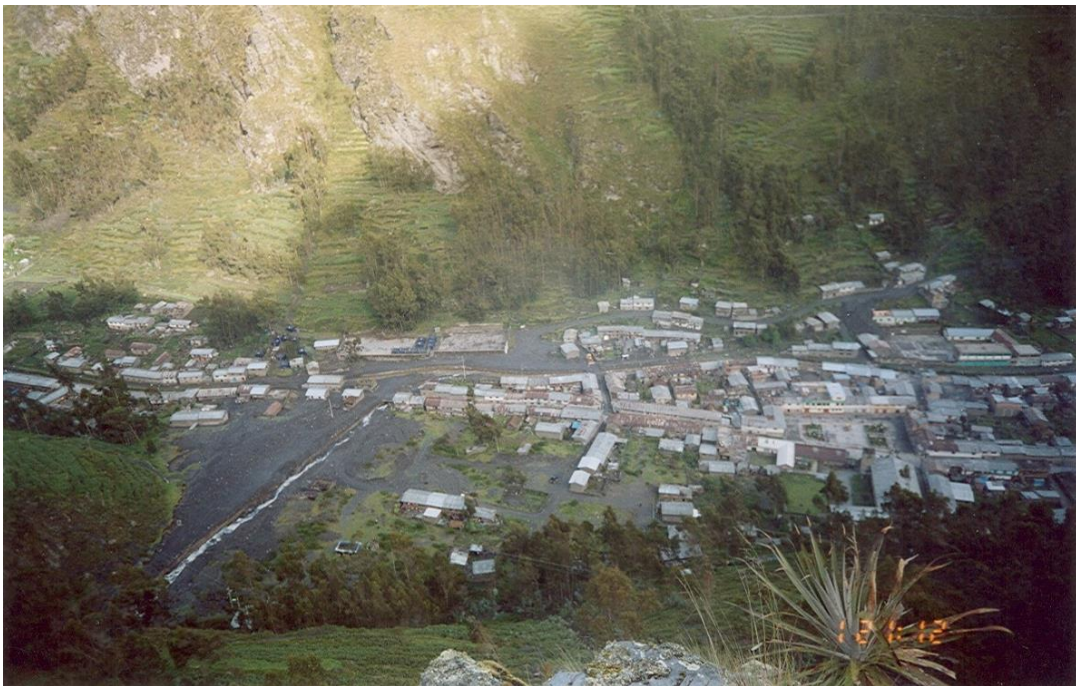


Figura 60. Flujo de escombros e inundación ocurrida (2005).

Fuente: Municipalidad Distrital Cuyocuyo



4.6.1. Enfoque de gestión de deslizamientos

Al desarrollar los procesos de gestión de riesgo en Cuyocuyo, sería prudente aprender las lecciones de los países donde la gestión de deslizamientos se ha practicado desde hace algún tiempo y donde las pérdidas derivadas de los deslizamientos son significativas. Cabe señalar que, en un contexto nacional, la escala, la frecuencia y las pérdidas derivadas de los deslizamientos de tierra en Cuyocuyo han sido afortunadamente relativamente intermedias hasta la fecha. En las secciones siguientes se examinan brevemente los procedimientos desarrollados para su uso en los Estados Unidos de América y en Hong Kong.

Estados Unidos de América

Los deslizamientos en los Estados Unidos, por ejemplo, constituyen colectivamente un riesgo grave y dan lugar a pérdidas significativas. El US Geological Survey (USGS) calcula un promedio de 25 a 50 muertes anuales atribuibles a deslizamientos de tierra, así como costos financieros de entre \$ mil millones y \$ 3 mil millones por año y una incalculable alteración ambiental y social. Ante esto el USGS ha desarrollado un sistema de gestión basado en los siguientes elementos (Winter, Macgregor, & Shackman, 2005):

- Investigación.
- Mapeo de peligros.
- Monitoreo en tiempo real.
- Evaluación de pérdidas.
- Recopilación, interpretación, difusión y archivo de información.



- Directrices y capacitación.
- Sensibilización y educación del público.
- Implementación de medidas de reducción de pérdidas.
- Preparación para emergencias, respuesta y recuperación.

Entre otras conclusiones extraídas de una evaluación de las propuestas del USGS (Winter et al., 2005) también concluyó que:

- La difusión de la información recopilada sobre los riesgos de deslizamientos es de importancia crítica en la implementación de un programa efectivo de reducción de riesgos.
- Finalmente se concluyó que el deseo de implementar un programa de reducción de pérdidas costaría dinero y que se debería establecer un presupuesto para el desarrollo y la implementación de dicho proceso.

Para llevar a cabo la gestión integrada de riesgos, al menos se debería considerar con los siguientes elementos:

- Que se conciba la microcuenca como un sistema integral, en el cual los flujos de agua actúan como ejes naturales para la interrelación entre los múltiples componentes de la misma.
- Evitar que existan estructuras permanentes en las cercanías del cauce de la quebrada Jilari, principalmente en la zona del abanico fluvial, ubicado en la localidad de Cuyocuyo.

- Se debe contar con mecanismos de cooperación y coordinación interinstitucional, entre la municipalidad de Cuyocuyo, Instituto Nacional de Defensa Civil, Gobierno Regional de Puno, programas, proyectos y ONG que trabajan en la zona, a manera de optimizar los recursos tanto financieros como técnicos y contribuir de esta manera con el desarrollo del municipio.

Es necesario destacar que como producto de la coordinación institucional se desarrolló talleres para la creación de un Comité de Emergencia Municipal y las demás instituciones presentes deben de utilizar esta investigación como base para trabajar en la prevención y mitigación de deslizamientos y a su vez formular y gestionar proyectos encaminados a la reducción de las amenazas y vulnerabilidad en la zona.



Figura 61. Actividades de socialización con la población de Cuyocuyo.

Fuente: Municipalidad distrital Cuyocuyo



Como parte de la estrategia planteada del manejo integrado de riesgos de deslizamientos con la prevención, mitigación y rehabilitación por desastres naturales, se proponen las siguientes acciones prioritarias:

- Fortalecimiento de capacidades locales para la gestión del riesgo. Implementar acciones dirigidas directamente a la sociedad civil y en particular a los niveles comunitarios y municipales. Fomenta actividades de fortalecimiento de las estructuras y capacidades locales en mitigación de desastres (creación de los comités de emergencia comunitaria o local), liderada por la Municipalidad de Cuyocuyo y apoyada por las instituciones presentes y ONG tales como PREDES, OXFAM, entre otras.
- En Cuyocuyo se debe promover la planificación racional del uso de tierras para viviendas, infraestructura. En las comunidades Cojene, Rotojoni, promover el manejo adecuado de los recursos naturales, con el uso de tecnologías de conservación de suelos, agua y bosque, con métodos tales como: transferencia de tecnologías sostenibles a agricultores de laderas y a obras físicas para controlar la erosión, con evaluación y recomendación de prácticas tales como: cultivos en contorno o a nivel, barreras vivas, riego, abonos orgánicos, entre otras.
- La educación es un recurso importante para la concientización del ambiente, por lo que es necesario promover e introducir la educación ambiental en el sistema educativo en áreas formales e informales. Y el proceso de gestión y coordinación con autoridades y las instituciones competentes, el proceso le permite y alfabetizar a todos los residentes involucrados. En este trabajo, se deben hacer esfuerzos para busca la cooperación de las autoridades nacionales o regionales a través de las agencias regionales de educación y las instituciones educativas de la región.

- Se deberá realizar la respectiva gestión y coordinación con las instituciones y autoridades competentes, para agilizar la construcción y en algunos casos el mantenimiento de la infraestructura existente para prevención de desastres, (construcción de muros de contención, banquetas, drenaje superficial del deslizamiento, otras obras estructurales como el puente que comunica a la zona de Hatunputina, ya que esta es una obstrucción en caso de flujo de escombros).
- Propiciar mejoras en las condiciones de viviendas de la población; básicamente en cuanto al tipo de construcción y ubicación de las casas en relación con las amenazas evaluadas de deslizamientos.

En definitiva, como se mencionó anteriormente (Salgado Montoya, 2005), la gestión del riesgo debe ser sistemática, multidisciplinaria, descentralizada y participativa. Debe basarse en la prevención, y la mayoría de las actividades involucran a todos los sectores de la sociedad, públicos y privados, sectores productivos, actores sociales y municipios en todo momento y lugar.



Figura 62. Vista de la señalización existente en las vías de escape.



La estrategia de implementar un Programa de Prevención de Desastres y Gestión del Riesgo, debe centrarse en el apoyo de iniciativas que propicien los cambios estructurales y culturales necesarios en las siguientes áreas: fortalecimiento institucional en la gestión del riesgo, ordenamiento del territorio y manejo de cuencas, el apoyo a iniciativas y acciones que relacionen la reducción de la causalidad social, política, económica y ambiental de los desastres y actividades de investigación en ciencias de la tierra y los aspectos sociales, políticos, económicos y ambientales relacionados con las amenazas naturales y la vulnerabilidad, en la zona rural y la zona urbana (Ramírez & Rubiano, 2009).



V. CONCLUSIONES

- Se tiene inventariado deslizamientos en la zona de Jilari, tanto en la margen izquierda como derecha, a los cuales se ha determinado su volumen, que es potencial para provocar el flujo de escombros, siendo este de 9,900 m³, asimismo se tienen propiedades del suelo de la zona obtenidos mediante ensayos de corte directo que principalmente son gravas con arcilla o arenas con arcilla.
- En la quebrada Jilari mediante el modelamiento hidrológico se obtienen diferentes caudales los que tiene interés para el presente estudio son para 5 y 10 años de periodo de retorno que son 5.8 y 10.8 m³/s respectivamente. Con estos valores de caudal mediante modelamiento hidráulico en HEC RAS se obtuvieron velocidades variables según ubicación del canal desde 1.01 m/s a 2.92 m/s, siendo el promedio de 2.15 m/s.
- En cuanto a los flujos de escombros mediante métodos empíricos se obtuvo un caudal pico de 213.58 m³/s, lo cual es un valor evidentemente muy alto que podría colmatar, alcanzando una velocidad de 6.69 m/s.
- Con la ayuda del software SLIDE se ha encontrado que los factores de seguridad de los taludes analizados están por debajo de 1.0 en las condiciones, seca, con infiltración, con sismo, mejorando sustancialmente cuando se plantea medidas de estabilización de talud tales como construcción de banquetas, drenaje, muros de contención.
- La gestión de riesgos de desastres se adoptó mediante el enfoque de gestión de riesgos integrada que implica preparación, respuesta y recuperación ante estos fenómenos naturales.



VI. RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar un inventario más exhaustivo de las zonas de deslizamiento de la quebrada, utilizando técnicas de medición que pueden ser satelitales, y con equipos multidisciplinarios, además de técnicas de medición geotécnica que puede ser a través de métodos geofísicos.
- Se recomienda establecer un sistema de monitoreo geotécnico de las zonas de deslizamientos, para conocer mejor su comportamiento.
- Se recomienda instalar un medidor de caudal en la quebrada Jilari, y el río Tambillo que atraviesa la localidad de Cuyocuyo, además de un sistema de alerta temprana basado en la lluvia, en la deformación de las grietas existentes o un sistema similar.
- Para un análisis más exhaustivo del flujo de escombros se recomienda realizar la caracterización del lodo del flujo de escombros de la quebrada Jilari



VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alfaro, R. (2000). *Diseño Definitivo Defensa Ribereña Localidad de Cuyocuyo*. (Ingeniero Agrícola Tesis de Licenciatura), Universidad Nacional del Altiplano Puno, Puno.
- ANA. (2015). *Identificación de poblaciones vulnerables por activación de quebradas 2015 -2016*. Lima: Autoridad Nacional del Agua.
- Arancibia, A. (2012). *Conceptos de Flujo de Escombros en Quebradas*. Paper presented at the I Congreso Nacional de Ingeniería Mecánica de Fluidos, Lima.
- Aversa, S., Cascini, L., Picarelli, L., & Scavia, C. (2016). *Landslides and Engineered Slopes. Experience, Theory and Practice*. Paper presented at the Proceedings of the 12th International Symposium on Landslides Napoli.
- Brunner, G. W. (2016). *HEC-RAS, River Analysis System Hydraulic Reference Manual*. Davis, CA: U.S. Army Corps of Engineers - Hydrologic Engineers Center.
- Castillo N., L., Fídel S., L., & Jackson Jr., L. E. (2006). *Modelado de flujo de lodo usando FLO-2D en la quebrada Paihua: Impacto en la ciudad de Matucana, Lima*. Paper presented at the XII Congreso Peruano de Geología, Lima.
- Cornforth, D. (2005). *Landslides in Practice: Investigation, Analysis, and Remedial/Preventative Options in Soils*. N.Y.: Wiley Publishers.
- Cruden, D. M., & Varnes, D. J. (1996). *Landslide Types and Processes*. Retrieved from
- Dingman, L. (2015). *Physical Hydrology*. Illinois: Waveland Press, Inc.
- Duncan, J. M., Wright, S. G., & Brandon, T. L. (2014). *Soil Strength and Slope Stability*. New Jersey, USA.: John Wiley & Sons, Inc.
- Ferlisi, S., & De Chiara, G. (2016). Risk analysis for rainfall-induced slope instabilities in coarse-grained soils: Practice and perspectives in Italy. In L. C. Stefano Aversa,



- Luciano Picarelli, and Claudio Scavia (Ed.), *Landslides and Engineered Slopes. Experience, Theory and Practice* (pp. 137-154). Napoli, Italy: CRC Press.
- Glade, T., Anderson, M. G., & Crozier, M. J. (2005). *Landslide Hazard and Risk*: John Wiley & Sons.
- Griffiths, J. S., & Whitworth., M. (2012). Engineering geomorphology of landslides. In J. J. Clague & D. Stead (Eds.), *Landslides: Types, Mechanisms and Modeling* (pp. 172-186): Cambridge University Press.
- Hearn, G. (2011). *Slope Engineering for Mountain Roads, Engineering Geology Special Publications 24* G. S. London (Ed.)
- Holting, B., & Coldewey, W. (2013). *Einführung in die Allgemeine und Angewandte Hydrogeologie* (8th ed.). Berlin: Springer-Verlag
- Huang, Y. H. (2014). *Slope Stability Analysis by the Limit Equilibrium Method: fundamentals and methods*. Reston, Virginia: ASCE Press.
- INEI. (2009). *Peru: Estimaciones y Proyecciones de Poblacion por sexo, segun departamento, provincia y distrito, 2000-2015*. Lima Retrieved from <http://proyectos.inei.gob.pe/web/biblioineipub/bancopub/Est/Lib0842/libro.pdf>.
- INGEMMET. (2005). Evolución de la actividad de deslizamientos, y el origen de huaycos en la cuenca de la quebrada Payhua, Matucana, Huarochiri.
- Kuroiwa, J. (2002). *Reducción de desastres: viviendo en armonía con la naturaleza*. Lima: CECOSAMI.
- Machaca, N. (2006). *Vulnerabilidad de Movimientos en Masa y Riesgos en la Cuenca del Río Inambari, Informe Final*. Comisión Europea, Oxfam, PREDES.
- Mizuyama, T. (2008). Structural Countermeasures for Debris Flow Disasters *International Journal of Erosion Control Engineering*, 1(2), 38-43.



- Mizuyama, T., Kobashi, S., & Ou, G. (1992). *Prediction of debris flow peak discharge*, . Paper presented at the Symp. Interpraevent, Bern, Switzerland.
- Montalvo-Arrieta, J. C., Chávez-Cabello, G., Velasco-Tapia, F., & Navarro de León, I. (2010). Causes and effects of landslides in the Monterrey Metropolitan Area, NE Mexico. In E. D. Werner & H. P. Friedman (Eds.), *Landslides: causes, types and effects*. New York: Nova Science Publishers, Inc.
- O'Brien, J. S., & Julien, P. Y. (1985). *Physical properties and mechanics of hyperconcentrated sediment flows*. Paper presented at the ASCE Specialty Conf. on the Delineation of Landslides, Flash Floods and Debris Flow Hazards in Utah, Utah Water Research Lab., Univ. of Utah at Logan, Utah.
- O'Brien, J. S., & Julien, P. Y. (1988). Laboratory analysis of mudflow properties. *ASCE Journal Hydraulic Engineering*, 114(8), 877-887.
- Okubo, S., Ikeya, H., Ishikawa, Y., & Yamada, T. (1997). Development of new methods for countermeasures against debris flows. In A. Armanini & M. Michiue (Eds.), *Recent Developments on Debris Flows* (pp. 166-185). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Pomachagua, O. (2000). Características Generales de la Tectónica y Sismicidad de Perú". *Revista de Trabajos de Investigación, CNDG, IGP, Lima, Perú.*, 93-104.
- PREDES. (2007). *Diagnostico Integral de la Cuenca del Río Sandia, Estudio y Manejo de la Cuenca del Rio Sandia. Proyecto Preparativos para Desastres y Reducción de Riesgos en la Cuenca del Río Sandia: PREDES*.
- PREDES. (2008). *Plan de Reducción de Riesgos distrito de Cuyocuyo, Comité de Defensa Civil de Cuyocuyo*. Lima.
- Quispe, M. (2008). *Evaluación de Amenazas de movimientos de masas en la quebrada Jilari - Cuyocuyo*. (Ingeniero Geologo Tesis pregrado), UNA Puno, Puno.



- Rickenmann, D. (1999). Empirical Relationships for Debris Flows. *Natural Hazards*, 19(1), 47-77. doi:10.1023/a:1008064220727
- Salgado Montoya, R. A. (2005). *Análisis integral del riesgo a deslizamientos e inundaciones en la microcuenca del río Gila, Copan, Honduras*. (Magister Scientiae), Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza - CATIE, Turrialba, Costa Rica.
- Sanhueza, C., & Villavicencio, G. (2012). Influencia de la cohesión aparente generada por raíces sobre la estabilidad de un talud natural en las dunas de Reñaca. *Revista de la construcción*, 11, 16-31.
- SENAMHI. (2016). Datos Historicos de Clima del Peru. from Senamhi http://www.senamhi.gob.pe/main_mapa.php?t=dHi
- Suárez Díaz, J. (2014a). *Deslizamientos. Tomo I: Análisis Geotécnico* Geotecnología (Ed.) Retrieved from <http://www.erosion.com.co/deslizamientos-tomo-i-analisis-geotecnico.html>
- Suárez Díaz, J. (2014b). *Deslizamientos. Tomo II: Técnicas de Remediación* Geotecnología (Ed.) Retrieved from <http://www.erosion.com.co/deslizamientos-tomo-ii-tecnicas-de-remediacion.html>
- Takahashi, T. (1991). *Debris Flow*. Retrieved from The Netherlands:
- Takahashi, T. (2014). *Debris Flow: Mechanics, Prediction and Countermeasures* (2 ed.): CRC Press.
- Turner, A. K., & Schuster, R. L. (1996). *Landslides: Investigation and Mitigation*. Retrieved from
- Varnes, D. J. (1978). *Slope movements: type and processes*. Retrieved from



- Varnes, D. J. (1984). *Landslide Hazard Zonation: A Review of Principles and Practice*.
Retrieved from Paris:
<http://unesdoc.unesco.org/images/0006/000630/063038EB.pdf>
- Villon Bejar, M. (2010). *HEC-HMS Ejemplos*. Cartago, Costa Rica: Instituto Tecnológico de Costa Rica.
- Vittorio De Blasio, F. (2011). *Introduction to the Physics of Landslides* Springer (Ed.)
Lecture Notes on the Dynamics of Mass Wasting Retrieved from
<http://link.springer.com/book/10.1007%2F978-94-007-1122-8>
- Winter, M. G. T. L., Macgregor, F., & Shackman, L. S. E. (2005). *Scottish Road Network Landslide Study*. Retrieved from www.scotland.gov.uk
- Wu, T. H., McKinnel, W. P., & Swanston, D. N. (1979). Strength of Tree Roots and Landslides on Prince of Wales Island Alaska. *Canadian Geotechnical Journal*, 16, 19-33.
- Wu, W., & Sidle, R. C. (1995). A Distributed Slope Stability Model for Steep Forested Basins. *Water Resources Research*, 31(8), 2097-2110. doi:10.1029/95WR01136

ANEXOS

Anexo 1. DATOS CLIMATICOS.

INFORMACION METEOROLOGICA ESTACION : CO. CUYO CUYO														
DEPARTAMENTO :	PUNO	LATITUD :	14°29'20.1"	CODIGO :	114096							TOTAL PROM.		
PROVINCIA :	SANDIA	LONGITUD :	69°32'56.4"	RECORD :	2004 - 2009									
DISTRITO :	CUYO CUYO	ALTITUD :	3910 m.s.n.m	PREC 1964 -2009										
PARAMETROS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGOT	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL	PROM.
Temperaturas °C														
T. Maxima	13.4	13.9	14.0	14.4	13.9	14.0	13.5	13.9	13.5	13.9	14.2	13.5	166.1	13.8
T. Minima	5.8	5.8	5.3	4.3	3.1	2.4	2.3	3.0	3.7	4.6	5.3	5.4	51.0	4.3
T. Media	9.6	9.7	9.6	9.2	8.4	8.2	7.9	8.4	8.6	9.3	9.7	9.5	108.1	9.0
Oscilacion	7.6	8.1	8.7	10.0	10.9	11.7	11.2	10.9	9.8	8.8	8.9	8.2	114.7	9.6
Max. Absoluta	17.8	18.0	18.2	18.2	17.4	17.4	17.6	18.2	17.6	17.6	18.1	17.8	213.9	17.8
Min. Absoluta	2.8	3.2	0.8	0.2	-1.8	0.0	-2.4	-2.4	0.9	0.9	1.8	2.6	6.6	0.6
Oscilacion Max.	13.4	12.6	12.8	16.7	15.2	16.0	15.2	16.0	14.2	15.3	13.8	16.6	177.8	14.8
Precipitacion														
Total (mms)	141.6	125.1	113.9	61.2	32.3	17.9	18.9	32.2	47.0	63.5	65.9	116.8	836.3	128.7
N° de dias de Precipitacion	23	21	21	14	9	6	7	9	12	15	16	21	175	15
Prec. Max. 24 Hrs.(dia)	38.5	43.4	36.3	23.0	20.8	19.9	20.9	35.2	23.3	23.8	26.8	36.3	348.2	29.0
H.Rel. (07-13-19) %	83	89	85	83	85	86	86	86	85	87	85	87	1027.2	85.6
Tension Vapor (mb)	10.1	10.4	10.1	10.0	9.5	9.5	9.3	9.7	9.4	9.9	10.1	10.0	117.9	9.8
Punto Rocio (°C)	7.0	7.3	6.8	6.7	5.9	5.8	5.7	5.4	5.7	6.5	6.9	6.8	76.5	6.4
Evap. Tot (mm) "A" (2004)	68.3	65.7	70.9	77.8	82.5	81.7	82.9	86.2	83.5	83.0	86.5	68.9	937.6	78.1
Evap. Promedio diario	2.2	2.3	2.3	2.5	2.7	2.7	2.7	2.8	2.8	2.6	2.9	2.2	30.5	2.5
Nubosidad (Octavos)	5	5	5	5	4	4	4	4	4	4	4	5	51.0	4.3
Nubosidad Predominante														
Velocidad de Viento M/seg.	2.3	2.6	2.5	2.6	3.3	4.0	3.7	4.4	2.6	2.8	2.5	2.4	35.6	3.0
Velocidad Max de viento	7.7	8.0	7.3	9.3	9.3	10.0	10.0	11.0	8.8	8.0	7.3	8.7	105.5	8.8
Direccion Predominante V.	NW	NW	NW	NW	NW	SW	NW	NE	NE	NW	NE	NW		
Horas de Sol														
Promedio horas de Sol														
Insolacion %														



Anexo 2. FICHA DE DATOS DE AMENAZAS POR DESLIZAMIENTOS.

FICHA DE DATOS DE AMENAZAS POR DESLIZAMIENTOS													
I. DATOS BASICOS													
Ficha N°	1	UTM	NORTE	8400074	COTA	Cuadrante N°	ESCALA						
			ESTE	442415	3624	29 X							
DEPARTAMENTO	PROVINCIA		DISTRITO		Sitio / Localidad / Forma de acceso								
PUNO	PUNO		PUNO		CUYOCUYO - QUEBRADA JILARI - TROCHA								
CUENCA HIDROGRAFICA			FECHA		EFECTUADO POR		Fotografía N°						
QUEBRADA JILARI			09/03/2015		Bach. GUSTAVO MAMANI ALFARO								
II. DATOS TÉCNICOS													
CARACTERÍSTICAS DEL MOVIMIENTO DE LADERAS TIPO DE MOVIMIENTO Y SUBTIPO :													
DESLIZAMIENTO		FLUJO		DESPRENDIMIENTO		OTROS TIPOS							
Rotacional		x	Detritos		x	Caida aislada		Vuelco		Hundimientos			
Simple			Lodo			caida de bloques		x	Extrusión lateral	Desconocido			
Traslacional ó Planar			Lahar			Derrumbes de rocas		x	Complejo				
Múltiple			No determinado			Complejo			Avalancha detri.				
No determinado									Replación / superf.	x			
OBSERVACIONES :		Movimiento localizado		x	Área inestable		Sí						
EDAD DEL MOVIMIENTO :		Reciente			Historico		x						
GRADO DE ACTIVIDAD :		Activo		x	Poco Activo		Inactivo						
GRADO DE DESARROLLO :		Nulo			incipiente		avanzado		x	Detenido			
FACTORES CONDICIONANTES						FACTORES DESENCADENANTES							
Materiales blandos, meteorizados o alterados						x	Precipitaciones intensas (Máximas intensidades)						x
Alternancia de materiales de distinta competencia							Precipitaciones prolongadas (horas/días de lluvias y cantidad en mm)						x
Alternancia o contacto de materiales permeables e impermeables							Erosión o socavamiento en la base de la ladera o del talud						x
Estructura desfavorable						x	Fenómenos cársticos						
Presencia de litologías plásticas (arcillas, margas, evaporitas, ...)						x	Movimientos sísmicos						x
Pendientes acusadas						x	Actividad volcánica						
Presión de poro elevada en ladera						x	Tormenta/ huracanes (Nombre.....)						
Otros:							Actividad biológica (vegetación y organismos subterráneos)						x
							Actividad antrópica (rellenos, voladura, minería, obras civiles)						x
							Cambios en la geometría original de la ladera						x
							Sobrecargas en la ladera						x
							Otros:						
CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS Y GEOLÓGICAS DEL ÁREA INESTABLE													
Materiales afectados por el movimiento de ladera:						Roca	x	Suelo	x	Relleno			
						Tipo :	Pizarra, Arcilla		Espesor :				
ESTRUCTURA													
Estratificación		X		Dirección y Dirección y buzamiento:		44 SW 24 NW							
Imbricación				Otras discontinuidades									
Condiciones de la roca o suelo:													
Grado de fracturación:													
Alto		X		Medio		Bajo							
Meteorización													
Alto		X		Medio		Bajo							
Humedad													
Seco		Semisatura		X		saturado							
Observaciones													

Estado de Conservación y Rasgos Presentes sobre el Depósito											
Presencia de vegetación en la cicatriz:											
Desnuda			Semivegetada			Herbácea					
Arbustiva			X Arbórea								
Cobertura											
>70%			70-40%			X			<40%		
Presencia de vegetación sobre el depósito:											
Desnudo			Semivegetada			Herbácea					
Arbustiva			X Arbórea			Agrícola					
Cobertura:											
>70%			70-40%			X			<40%		
Cabecera / Corona											
Conservada			Erosionada			X			Reforestada		
Depósito											
Sin erosión perceptible			Con erosión perceptible			X			Estructura incoherente		
Rasgos observables:						Geometría y forma de la ladera					
Escarpes frescos			x			Escarpes degradados			x		
Diques laterales conservados						Escalones visibles			x		
Superficie del depósito plana						Superficie del depósito irregular			x		
Signos de reptación			x			Grietas laterales abier			x		
Grietas transversales abiertas						Grietas transversales abiertas			x		
Afectado por otros movimientos						Observaciones					
Forma de la ladera:											
Cóncava			Convexa			Plana			Natural		
x									X		
Inducida											
Altura (centro de la rotura):			403			Cota cabecera:			3817		
Cota pie:			3414			Desnivel máximo de la ladera D h:					
Pendiente media de la ladera:			37°			Ángulo de la ladera previo a la rotura:			Ángulo de la ladera con rotura:		
Ubicación de la rotura en la ladera:											
Cabecera			x			Parte intermedia					
Pie						Desconocida					
Descripción y situación de grietas de tracción.											
orientación: NE			longitud: 110 mts.			apertura: 60 Cm.			profundidad: 8 mst. a 15 mts.		
Dimensiones:											
Superficie de ruptura											
Longitud, Lr (m):			110 m.								
Masa desplazada											
Longitud, Ld (m):			5 m.			Ancho, Wd (m):			96 m.		
Profundidad, Dd (m):			8 m.								
Longitud Total, L (m):											
Longitud de la línea central, Lc (m):			110			Superficie (m2):			90		
						Volumen (m3):			9900 m3		



Anexo 3. ENSAYOS DE MECANICA DE SUELOS.



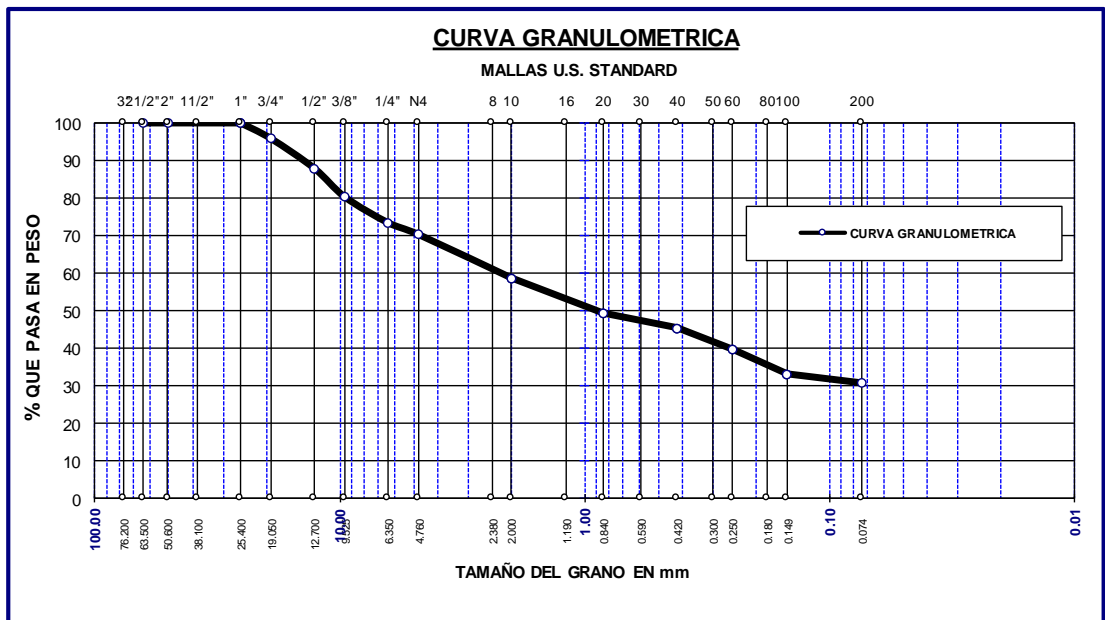
GERENCIA E INFRAESTRUCTURA SAC

Laboratorio de Geotecnia, Concreto y Materiales

ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO (ASTM D422) ENSAYOS ESTANDAR DE CLASIFICACION (D2216 - D854 - D4318 - D427 - D2487)

PROYECTO: TESIS: "EVALUACIÓN DE LOS DESLIZAMIENTOS EN LA QUEBRADA JILARI" SOLICITADO : GUSTAVO MAMANI ALFARO
LUGAR : DISTRITO CUYO CUYO PROV. SANDIA REG. PUNO MUESTRA : UNA JI-02
FECHA : DICIEMBRE 16 DEL 2016 PROFUNDIDAD : --

TAMICES ASTM	ABERTURA mm	PESO RETENIDO	%RETENIDO PARCIAL	%RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	ESPECIF.
3"	76.200					DESCRIPCION DE LA MUESTRA P. I. = 1898.20 P. L. = 1315.20 P. P. = 583.00 LIMITES DE CONSISTENCIA: L. L. = 28.67 L. P. = 20.76 I. P. = 7.92 CARACT. GRANULOMETRICAS: D10= ---- Cu= ---- D30= ---- Cc= ---- D60= 2.30 CLASIFICACION: S.U.C.S. : SC - SM ARENA ARCILLO LIMOSA
2 1/2"	63.500	0.00	0.00	0.00	100.00	
2"	50.800	0.00	0.00	0.00	100.00	
1 1/2"	38.100					
1"	25.400	0.00	0.00	0.00	100.00	
3/4"	19.050	79.80	4.20	4.20	95.80	
1/2"	12.700	150.00	7.90	12.11	87.89	
3/8"	9.525	145.00	7.64	19.75	80.25	
1/4"	6.350	130.00	6.85	26.59	73.41	
No4	4.760	60.00	3.16	29.75	70.25	
No8	2.380					
No10	2.000	218.50	11.51	41.27	58.73	
No16	1.190					
No20	0.840	178.60	9.41	50.67	49.33	
No30	0.590					
No40	0.420	74.00	3.90	54.57	45.43	
No 50	0.300					
No60	0.250	108.30	5.71	60.28	39.72	
No80	0.180					
No100	0.149	125.40	6.61	66.88	33.12	
No200	0.074	45.60	2.40	69.29	30.71	
BASE		583.00	30.71	100.00	0.00	
TOTAL		1898.20	100.00			
% PERDIDA						





GERENCIA E INFRAESTRUCTURA SAC
Laboratorio de Geotecnia, Concreto y
Materiales

LIMITES DE CONSISTENCIA

PROYECTO: TESIS: "EVALUACIÓN DE LOS DESLIZAMIENTOS EN LA QUEBRADA JILARI" SOLICITADO: GUSTAVO MAMANI ALFARO
LUGAR : DISTRITO CUYO CUYO PROV. SANDIA REG. PUNO MUESTRA : UNA JI-03
FECHA : DICIEMBRE 16 DEL 2016 PROFUNDIDAD: --

LIMITE LIQUIDO

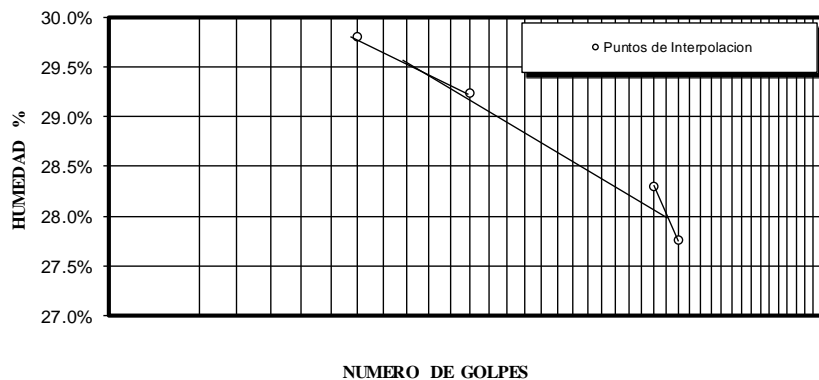
ENSAYO	No	1	2	3	4
CAPSULA	No	V	B	Y	J
CAPSULA + SUELO HUMEDO	gr.	46.58	38.69	43.86	40.1
CAPSULA + SUELO SECO	gr.	38.87	32.72	37.14	34.4
AGUA	gr.	7.71	5.97	6.72	5.7
PESO DE LA CAPSULA	gr.	13	12.3	13.4	13.87
PESO DEL SUELO SECO	gr.	25.87	20.42	23.74	20.53
CONTENIDO DE HUMEDAD	%	29.80%	29.24%	28.31%	27.76%
NUMERO DE GOLPES	N	15	20	32	34

LIMITE PLASTICO

ENSAYO	No	1	2		
CAPSULA	No	A	B		
CAPSULA + SUELO HUMEDO	gr.	14.64	14.64		
CAPSULA + SUELO SECO	gr.	14.33	14.3		
AGUA	gr.	0.31	0.34		
PESO DE LA CAPSULA	gr.	12.8	12.7		
PESO DEL SUELO SECO	gr.	1.53	1.6		
LIMITE PLASTICO	%	20.26%	21.25%		

LIMITE LIQUIDO	28.67
LIMITE PLASTICO	20.76
INDICE DE PLASTICIDAD	7.92

LIMITE LIQUIDO





GERENCIA E INFRAESTRUCTURA SAC
Laboratorio de Geotecnia, Concreto y Materiales


PROYECTO : TESIS: "EVALUACIÓN DE LOS DESLIZAMIENTOS EN LA QUEBRADA JILARI"	SOLICITADO : GUSTAVO MAMANI ALFARO
LUGAR : REGION PUNO	CALICATA : ---
FECHA : DICIEMBRE 16 DEL 2016	MUESTRA : JI - 03
	PROFUNDIDAD : ---

ENSAYO DE CORTE DIRECTO
(NORMA ASTM - D3080-98)

Muestra Nro.	JI - 03	Profundidad de la muestra(m):	---
Calicata:	---	Clasificación (SUCS):	
Veloc. de Ensayo (mm/min)	0.5	Tiempo de Consolidación (hrs)	...

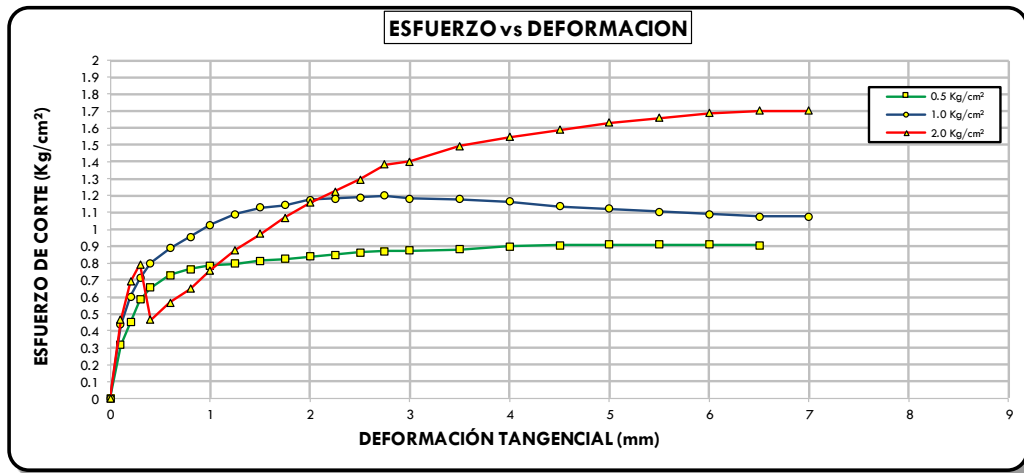
Estado del Suelo	Natural	Inalterada	
		Remoldeada	X

Datos	ESPECIMEN 01				ESPECIMEN 02				ESPECIMEN 03			
	Inicial		Final		Inicial		Final		Inicial		Final	
Altura (h) (cm)	2.34		2.34		2.34		2.34		2.34		2.34	
Diámetro (Ø) (cm)	5.10		5.10		5.10		5.10		5.10		5.10	
Volumen (cm3)	47.80				47.80				47.80			
Peso (Gr)	89.00				89.00				89.00			
PesoEspecifico de masa (gr/cm3)	1.862				1.862				1.862			
Humedad (w) (%)	8.52%				8.52%				8.43%			
Esfuerzo Normal (kg/cm2)	0.50				1.00				2.00			
	Deformac. Tangencial (mm)	Dial de Carga	Fuerza Cortante (Kg)	Esfuerzo de Corte (Kg/cm ²)	Deformac. Tangencial (mm)	Dial de Carga	Fuerza Cortante (Kg)	Esfuerzo de Corte (Kg/cm ²)	Deformac. Tangencial (mm)	Dial de Carga	Fuerza Cortante (Kg)	Esfuerzo de Corte (Kg/cm ²)
	0.00	0.00	0.000	0.000	0.00	0.00	0.000	0.000	0.00	0.00	0.000	0.000
	0.10	43.50	6.221	0.317	0.10	60.00	8.580	0.437	0.10	64.00	9.152	0.466
	0.20	62.00	8.866	0.452	0.20	82.00	11.849	0.603	0.20	94.00	13.583	0.692
	0.30	79.50	11.488	0.585	0.30	97.00	14.017	0.714	0.30	108.00	15.606	0.795
	0.40	89.00	12.861	0.655	0.40	109.00	15.751	0.802	0.40	64.00	9.152	0.466
	0.60	99.00	14.306	0.729	0.60	121.00	17.485	0.890	0.60	77.00	11.127	0.567
	0.80	104.00	15.028	0.765	0.80	130.00	18.785	0.957	0.80	88.00	12.716	0.648
	1.00	107.00	15.462	0.787	1.00	139.00	20.127	1.025	1.00	103.00	14.884	0.758
	1.25	108.50	15.678	0.798	1.25	148.00	21.430	1.091	1.25	119.50	17.268	0.879
	1.50	110.50	15.967	0.813	1.50	153.00	22.154	1.128	1.50	132.50	19.146	0.975
	1.75	112.00	16.184	0.824	1.75	155.00	22.444	1.143	1.75	145.00	20.996	1.069
	2.00	114.00	16.473	0.839	2.00	159.50	23.096	1.176	2.00	157.00	22.734	1.158
	2.25	115.50	16.690	0.850	2.25	160.50	23.240	1.184	2.25	166.00	24.037	1.224
	2.50	117.50	16.979	0.865	2.50	161.50	23.385	1.191	2.50	175.50	25.448	1.296
	2.75	118.50	17.123	0.872	2.75	162.50	23.530	1.198	2.75	187.20	27.144	1.382
	3.00	119.00	17.196	0.876	3.00	160.50	23.240	1.184	3.00	190.00	27.550	1.403
	3.50	120.00	17.340	0.883	3.50	160.00	23.168	1.180	3.50	202.20	29.319	1.493
	4.00	122.00	17.629	0.898	4.00	158.00	22.878	1.165	4.00	209.00	30.347	1.546
	4.50	123.00	17.774	0.905	4.50	154.00	22.299	1.136	4.50	215.00	31.218	1.590
	5.00	123.50	17.846	0.909	5.00	152.00	22.010	1.121	5.00	220.50	32.017	1.631
	5.50	123.50	17.846	0.909	5.50	150.00	21.720	1.106	5.50	224.50	32.597	1.660
	6.00	123.50	17.846	0.909	6.00	148.00	21.430	1.091	6.00	228.20	33.135	1.688
	6.50	123.00	17.774	0.905	6.50	146.00	21.141	1.077	6.50	230.20	33.425	1.702
	7.00	122.50	17.701	0.902	7.00	146.00	21.141	1.077	7.00	230.20	33.425	1.702

	GERENCIA E INFRAESTRUCTURA SAC Laboratorio de Geotecnia, Concreto y Materiales
PROYECTO : TESIS: "EVALUACIÓN DE LOS DESLIZAMIENTOS EN LA QUEBRADA JILARI" SOLICITADO : GUSTAVO MAMANI ALFARO	
LUGAR : REGION PUNO CALICATA : ---	
FECHA : DICIEMBRE 16 DEL 2016 MUESTRA : JI - 03	
PROFUNDIDAD : ---	
ENSAYO DE CORTE DIRECTO (NORMA ASTM - D3080-98)	

Muestra Nro. : ---	Profundidad de la muestra(m): ---
Calicata: ---	Clasificación (SUCS):
Veloc. de Ensayo (mm/min) : 0.5	Tiempo de Consolidación (hrs):

Estado del Suelo	Natural	Inalterada	X
		Remoldeada	





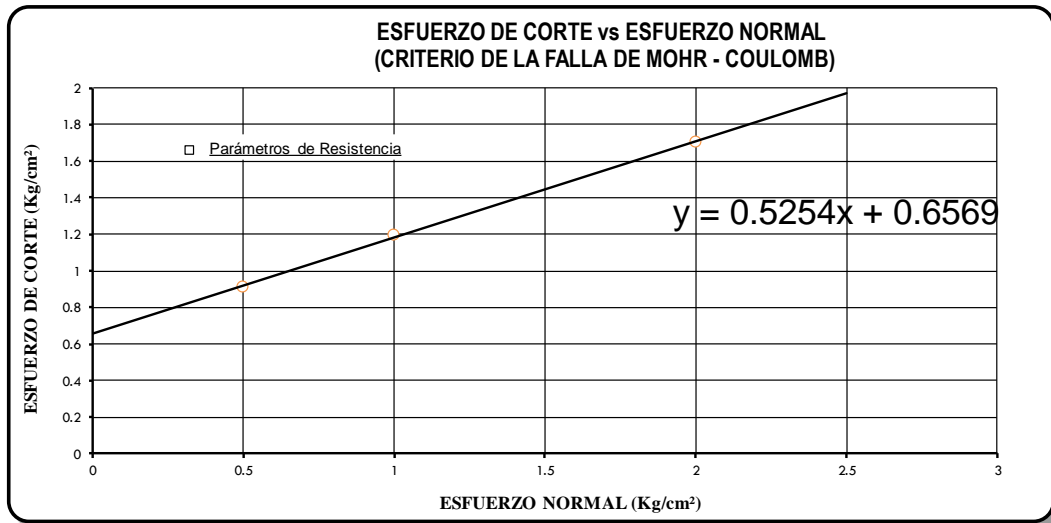
GERENCIA E INFRAESTRUCTURA SAC
Laboratorio de Geotecnia, Concreto y Materiales

PROYECTO : TESIS: "EVALUACIÓN DE LOS DESLIZAMIENTOS EN LA QUEBRADA JILARI" **SOLICITADO** : GUSTAVO MAMANI ALFARO
LUGAR : REGION PUNO **CALICATA** : ---
FECHA : DICIEMBRE 16 DEL 2016 **MUESTRA** : JI - 03
PROFUNDIDAD : ---

ENSAYO DE CORTE DIRECTO
(NORMA ASTM - D3080-98)

Muestra Nro.	2	Profundidad de la muestra(m):	----
Calicata:	---	Clasificación (SUCS):	
Veloc. de Ensayo (mm/min)	0.5	Tiempo de Consolidación (hrs)	...

Estado del Suelo	Natural	Inalterada	
		Remoldeada	X
COHESION :		0.709 Kg/cm²	
ANGULO DE FRICCIÓN:		26,07°	





Anexo 4. PRESUPUESTO DE OBRAS DE ESTABILIZACION.

Presupuesto

Presupuesto	0901001	Instalacion de Servicios de proteccion contra deslizamiento y alluvión en el Sector Ccausilluni y Huayllani en el Rio Jilari, Distrito de Cuyocuyo,Provincia de Sandia, Departamento de Puno				
Subpresupuesto	001	Instalacion de Servicios de proteccion contra deslizamiento y alluvión en el Sector Ccausilluni y Huayllani en el Rio Jilari, Distrito de Cuyocuyo,Provincia de Sandia, Departamento de Puno				
Cliente	MUNICIPALIDAD DISTRITAL DE CUYO CUYO			Costo al		2/03/2015
Lugar	PUNO - SANDIA - CUYOCUYO					
Item	Descripción	Und.	Metrado	Precio S/.	Parcial S/.	
01	GAVIONES DE PROTECCION					821,502.31
01.01	OBRAS PRELIMINARES					65,900.95
01.01.01	INSTALACION DE CASETA DE GUARDIANIA Y ALMACEN	GLB	1.00	6,000.00	6,000.00	
01.01.02	MOVILIZACION Y DESMOVILIZACION DE MAQUINARIA PESADA	GLB	1.00	36,000.00	36,000.00	
01.01.03	TRAZO, NIVELACION Y REPLANTEO	m2	10,026.00	1.16	11,630.16	
01.01.04	CAMINOS DE ACCESO EN OBRA	KM	6.20	1,979.16	12,270.79	
01.02	MOVIMIENTO DE TIERRAS					166,316.83
01.02.01	CONTROL DE NIVELES DURANTE LA EJECUCION DE LA OBRA	m2	9,810.00	2.20	21,582.00	
01.02.02	LIMPIEZA Y DESBROCE	m2	7,630.00	4.19	31,969.70	
01.02.03	LIMPIEZA DE CAUSE DE RIO	m2	2,998.50	8.37	25,097.45	
01.02.04	LIMPIEZA Y REMOCION DE DERRUMBES ANTERIORES	m3	1,125.00	20.54	23,107.50	
01.02.05	EXCAVACION DE ZANJAS PARA GAVIONES DE PROTECCION	m3	802.00	14.84	11,901.68	
01.02.06	EXCAVACION DE ZANJAS PARA COLCHON ANTISOCAVANTE GAVIONES	m3	263.86	22.26	5,873.52	
01.02.07	ELIMINACION DE MATERIAL EXCEDENTE ACARREADO MANUAL	m3	1,172.45	16.66	19,533.02	
01.02.08	RELLENO COMPACTADO CON MAT. PROPIO DE ESPALDONES DE GAVION	m3	2,406.00	7.90	19,007.40	
01.02.09	NIVELACION Y COMPACTADO DE BASE DE GAVIONES	m2	802.00	10.28	8,244.56	
01.03	GAVIONES DE PROTECCION					589,284.53
01.03.01	SELECCION Y ACOPIO DE PIEDRAS	m3	1,867.86	13.88	25,925.90	
01.03.02	CARGUIO Y TRANSPORTE DE PIEDRA PARA GAVIONES	m3	1,867.86	36.86	68,849.32	
01.03.03	ACARREO MANUAL DE PIEDRAS	m3	1,867.86	41.64	77,777.69	
01.03.04	GAVION CAJA 3x1x1 Abertura 10x12 Alambre 2.7mm (Zn+Al) Armado	und	401.00	493.72	197,981.72	
01.03.05	GAVION CAJA 3x1.5x1 Abertura 10x12 Alambre 2.7mm (Zn+Al) Armado	und	134.00	632.49	84,753.66	
01.03.06	GAVION CAJA 3x2x0.5 Abertura 10x12 Alambre 2.7mm (Zn+Al) En Colchon Antisocavante - Armado	und	138.00	532.49	73,483.62	
01.03.07	GAVION CAJA 3x1x1 Abertura 10x12, Alambre 2.mm (Zn+Al) Llenado	und	401.00	70.72	28,358.72	
01.03.08	GAVION CAJA 3x1.5x1 Abertura 10x12, Alambre 2.mm (Zn+Al) Llenado	und	134.00	74.71	10,011.14	
01.03.09	GAVION CAJA 3x2x0.5 Abertura 10x12, Alambre 2.mm (Zn+Al) Llenado	und	138.00	47.71	6,583.98	
01.03.10	NIVELACION Y TEJIDO DE CIERRE GAVIONES	m	2,018.00	7.71	15,558.78	
02	INSTALACION Y CONFORMACION DE BANQUETAS					2,115,095.04
02.01	OBRAS PRELIMINARES					9,055.63
02.01.01	TRAZO, NIVELACION Y REPLANTEO	m2	7,806.58	1.16	9,055.63	
02.02	MOVIMIENTO DE TIERRAS					833,662.01
02.02.01	CONTROL DE NIVELES DURANTE LA EJECUCION DE LA OBRA	m2	7,806.58	2.20	17,174.48	
02.02.02	EXCAVACION Y CORTE DE BANQUETAS	m3	8,789.60	5.91	51,946.54	
02.02.03	EXCAVACION DE ZANJA PARA UÑA DE MURO SECO EN BANQUETA	m3	479.90	2.04	979.00	
02.02.04	EXCAVACION MANUAL DE UÑA DE ANCLAJE PARA MURO SECO	m3	128.00	22.26	2,849.28	
02.02.05	ELIMINACION DE MATERIAL EXCEDENTE ACARREADO MANUAL	m3	2,360.93	16.66	39,333.09	
02.02.06	NIVELACION Y COMPACTADO DE BASE DE MURO SECO	m2	2,249.05	10.28	23,120.23	
02.02.07	CONFORMACION DE BANQUETAS	m2	5,022.63	15.04	75,540.36	
02.02.08	RELLENO COMPACTADO CON MAT. PROPIO DE ESPALDONES EN MURO SECO EN BANQUETAS	m3	4,185.53	112.99	472,923.03	
02.02.09	RELLENO COMPACTADO CON MAT. PROPIO DE ESPALDONES EN MURO SECO - DESLIZAMIENTO DE TALUDES	m3	3,650.00	41.04	149,796.00	

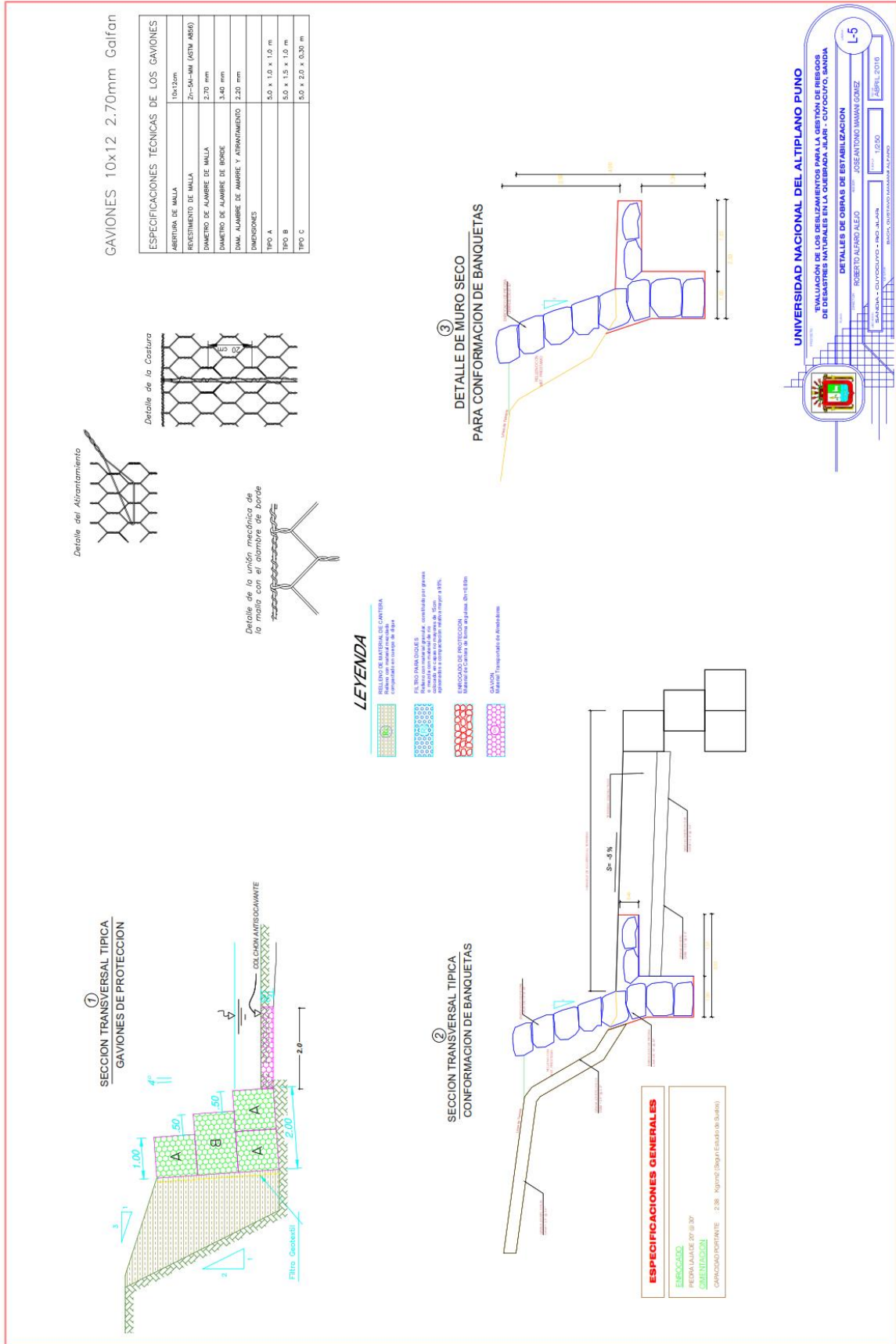


02.03	MURO SECO EN BANQUETAS				1,272,377.40
02.03.01	SELECCION Y ACOPIO DE PIEDRAS	m3	8,743.66	13.88	121,362.00
02.03.02	CARGUIO Y TRANSPORTE DE PIEDRA	m3	8,743.66	43.67	381,835.63
02.03.03	ACARREO MANUAL DE PIEDRAS	m3	8,743.66	41.64	364,086.00
02.03.04	MURO SECO EN BANQUETAS	m3	8,743.66	46.33	405,093.77
03	ZANJAS DE CORONACION				22,410.56
03.01	OBRAS PRELIMINARES				4,643.02
03.01.01	TRAZO, NIVELACION Y REPLANTEO	m2	4,002.60	1.16	4,643.02
03.02	MOVIMIENTO DE TIERRAS				17,767.54
03.02.01	CONTROL DE NIVELES DURANTE LA EJECUCION DE LA OBRA	m2	2,001.30	2.20	4,402.86
03.02.02	EXCAVACION MANUAL DE ZANJAS DE CORONACION	m3	600.39	22.26	13,364.68
	COSTO DIRECTO				2,959,007.91
	GASTO DE RESIDENTE DE OBRA	mes	6.00	7,000.00	42,000.00
	GASTOS DE SUPERVISION	mes	6.00	5,000.00	30,000.00
	GASTOS DE LIQUIDACION	mes	2.00	7,000.00	14,000.00
	GASTOS ELABORACION EXPEDIENTE TECNICO	est	1	44,385.12	44,385.12
				=====	
	TOTAL PRESUPUESTO				3,089,393.03

SON : TRES MILLONES OCHENTA Y NUEVE MIL TRECIENTOS NOVENTA Y TRES CON 03/100 NUEVOS SOLES

Fuente: Adaptado Expediente Técnico Municipalidad Distrital de Cuyocuyo

Anexo 6. PLANO DETALLES DE TRABAJOS DE ESTABILIZACIÓN



Anexo 7. MAPA PARA GESTIÓN DE RIESGOS EN CUYOCUYO

