

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LOS ANDES
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL: DE INGENIERÍA CIVIL



Tesis

**Análisis del flujo de infiltración en los deslizamientos de taludes en vía vecinal
Emp. AP-647 en el tramo Km 00+230 - km00+670 de Aymas Alto - Abancay,**

Apurímac 2023

Asesor:

Mg. Sc. Maldonado Mendivil Ángel

Autor:

Perez Platas Feliciano

Para optar el Título Profesional de:

Ingeniero Civil

Abancay - Apurímac - Perú

2024



Universidad Tecnológica de los Andes

Transformando vidas

ACTA DE EXAMEN DE TITULACIÓN N°036-2024-EPIC-FI- UTEA- SA

Reunidos el Jurado Evaluador constituido por los señores Docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería de la Universidad Tecnológica de los Andes:

- | | |
|--------------------------------------|--------------|
| ➤ Ing. Marco Antonio MORALES HOLGUIN | PRESIDENTE |
| ➤ Mag. Marco Antonio GÁLVEZ QUINTANA | DICTAMINANTE |
| ➤ Ing. Edwin Reynaldo ESPINOZA ASTO | REPLICANTE |

y el (la) postulante al TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO (a) CIVIL,
Bachiller: PEREZ PLATAS, Feliciano con código de matrícula N°201320389-B.

Ha cumplido con las exigencias del Reglamento General de Grados Académicos y Títulos de la Universidad Tecnológica de los Andes, aprobado mediante resolución del Vicerrectorado Académico N°002-2024-UTEA-VRAC, de fecha 23 de enero del año 2024, respecto a la sustentación de tesis, para optar al título profesional de Ingeniero Civil.

SUSTENTACIÓN DE TESIS titulado: "Análisis del flujo de infiltración en los deslizamientos de taludes en vía vecinal Emp. AP-647 en el tramo Km 00+230-km00+670 de Aymas Alto – Abancay, Apurímac 2023", habiendo aprobado con la nota de trece (13).

Se expide, la presente conforme al Libro de Actas de Sustentación de Tesis, consignado en los folios N° 294.

Abancay, 13 de noviembre 2024.

Ing. Marco Antonio MORALES HOLGUIN
PRESIDENTE

Mag. Marco Antonio GÁLVEZ QUINTANA
DICTAMINANTE

Ing. Edwin Reynaldo ESPINOZA ASTO
REPLICANTE

Análisis del flujo de infiltración en los deslizamientos de taludes en vía vecinal Emp. AP-647 en el tramo Km 00+230-km00+670 de Aymas Alto – Abancay, Apurímac 2023

INFORME DE ORIGINALIDAD

18%	17%	6%	9%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	hdl.handle.net Fuente de Internet	4%
2	repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet	2%
3	Submitted to Universidad Tecnológica de los Andes Trabajo del estudiante	2%
4	repositorio.unap.edu.pe Fuente de Internet	<1%
5	transparencia.mtc.gob.pe Fuente de Internet	<1%
6	repositorio.uandina.edu.pe Fuente de Internet	<1%
7	Submitted to unasam Trabajo del estudiante	<1%
8	repositorio.utea.edu.pe Fuente de Internet	<1%

Metadatos

Datos del Autor		
Apellidos y nombres	:	Perez Platas Feliciano
Tipo de Documento de Identidad	:	DNI
Número de Documento de Identidad	:	76524991
URL ORCID	:	https://orcid.org/0009-0000-6775-5617
Datos del Asesor		
Apellidos y Nombres	:	Maldonado Mendivil Ángel
Tipo de Documento de Identidad	:	DNI
Número de Documento de Identidad	:	06788424
URL ORCID	:	https://orcid.org/0000-0001-9002-1910
Datos de la investigación		
Facultad	:	Ingeniería
Escuela Profesional	:	Ingeniería Civil
Línea de Investigación	:	Gestión de la infraestructura para el desarrollo sostenible
Rango de años en que se realizó la Investigación	:	2023-2024
Fuente de financiamiento	:	Autofinanciado
Porcentaje de similitud	:	18%
URL de OCDE	:	https://purl.org/pe-repo/ocde/ford# 2.01.01

Dedicatoria

Dedico este trabajo a mis padres; Feliciano y Lucia, por la perseverancia y fortaleza que me brindaron durante los momentos difíciles de mi vida, por nunca dudar sobre mí y sobre todo brindarme su apoyo en todo momento y enseñándome a nunca rendirme en todo el trayecto de mi vida.

Agradecimiento

Agradezco a Dios por haberme guiado todo este trayecto para seguir adelante.

Agradezco a mi familia por darme un apoyo incondicional para poder cumplir mi meta que siempre me proponía y sus consejos incondicionales.

De igual forma agradezco a mis docentes y compañeros por apoyarme durante todo este trayecto profesional de mi vida.

Resumen

El objetivo de estudio fue analizar la influencia del flujo de infiltración en los deslizamientos de taludes en la en la vía vecinal Emp. AP-647 en el tramo Km 00+230 - km 00+670 de Aymas Alto Abancay, Apurímac, con el propósito de mitigar los riesgos geotécnicos en áreas vulnerables. El enfoque fue cuantitativo, metodología hipotética deductiva, de nivel básico, alcance descriptivo y diseño no experimental – transversal. La población para este presente estudio fueron los taludes de la vía vecinal Emp. AP -647 de la zona de Aymas Alto, tomando como muestra cinco taludes más críticos que se encuentran en la zona de estudio. La técnica de obtención de muestra se recopiló mediante teorías y análisis relacionados con hidrología, infiltración y topografía. Donde se realizó un modelamiento para evaluar el factor de seguridad con los datos obtenidos mediante el uso del software Slide V6.0. Los resultados mostraron que para un periodo de retorno de 100 años se tiene una precipitación máxima de 61.61 mm/hr, obteniendo una infiltración 16.55 mm/hr, estos resultados nos permiten obtener un factor de seguridad en condiciones estáticas el más crítico de 0.621 y con una condición de infiltración 0.593. Esto genera que la zona sea inestable y pueda provocar un deslizamiento. Se concluye que la infiltración afecta significativamente en los taludes y genera un peligro de ocurrir un deslizamiento.

Palabras clave: Precipitación, flujo de infiltración, estabilidad, taludes.

Abstract

The objective of the study was to analyze the influence of seepage flow on slope landslides in the Emp. AP-647 in the section Km 00+230 - Km 00+670 of Aymas Alto Abancay, Apurimac, with the purpose of mitigating geotechnical risks in vulnerable areas. The approach was quantitative, hypothetical deductive methodology, basic level, descriptive scope and non-experimental - transversal design. The population for this study was the slopes of the local road Emp. AP -647 in the Aymas Alto area, taking as a sample five of the most critical slopes found in the study area. The technique for obtaining the sample was compiled using theories and analyses related to hydrology, infiltration and topography. Modeling was performed to evaluate the safety factor with the data obtained using Slide V6.0 software. The results showed that for a return period of 100 years there is a maximum precipitation of 61.61 mm/hr, obtaining an infiltration of 16.55 mm/hr, these results allow us to obtain a safety factor in static conditions the most critical of 0.621 and with an infiltration condition of 0.593. This makes the area unstable and could cause a landslide. It is concluded that infiltration significantly affects the slopes and generates a landslide hazard.

Key words: Precipitation, infiltration flow, stability, slopes.

Índice general

Portada	i
Acta de sustentación	ii
Reporte de similitud	iii
Metadatos	iv
Dedicatoria	v
Agradecimiento	vi
Resumen	vii
Abstract	viii
Índice general	ix
Índice de tablas	xii
Índice de figuras	xv
Índice de anexos	xviii
I Introducción	19
II Planteamiento del problema	21
2.1 Descripción y formulación del problema	21
2.2 Objetivos	25
2.2.1 Objetivo General	25
2.2.2 Objetivos Específicos	25
2.3 Justificación e importancia	25
2.4 Hipótesis	27
2.5 Variables	27

III Marco Teórico.....	29
3.1 Antecedentes	29
3.2 Bases teóricas.....	35
3.2.1 Flujo de Infiltración	35
3.2.2 Precipitación Pluvial.....	40
3.2.3 Escorrentía	45
3.2.4 Estabilidad de taludes	47
3.2.5 Movimiento de masa	50
3.2.6 Propiedades de la mecánica de suelos	53
3.3 Definición de términos.....	61
IV Metodología.....	63
4.1 Tipo y nivel de investigación	63
4.2 Ámbito temporal y espacial	63
4.3 Población y muestra.....	64
4.4 Instrumentos.....	66
4.5 Procedimientos.....	67
4.6 Análisis de datos	70
4.7 Consideraciones éticas	71
V Resultados y discusión	72
5.1 Resultados del estudio	72
5.2 Prueba de hipótesis	124
5.3 Discusión de resultados	127

VI Conclusiones	130
VII Recomendaciones.....	131
VIII Referencias	132
IX Anexos	140

Índice de tablas

Tabla 1	Coeficientes de Permeabilidad K.....	38
Tabla 2	Estándares de riesgo permitido en proyectos de ingeniería	43
Tabla 3	Valores de periodo de Retorno T.....	44
Tabla 4	Fórmulas para el tiempo de concentración	45
Tabla 5	Consideraciones para calcular el coeficiente de escorrentía.....	47
Tabla 6	Factores de seguridad según condiciones estáticas y sísmicas	48
Tabla 7	Métodos para el análisis de taludes.....	49
Tabla 8	Representación del Análisis Granulométrico por tamiz.....	53
Tabla 9	Clasificación de suelos.....	57
Tabla 10	Cantidad de muestras por ensayo.....	65
Tabla 11	Representación para identificar las técnicas y recolección de muestras	66
Tabla 12	Georreferenciación de puntos de investigación	72
Tabla 13	Distribución Granulométrica Calicata 01	73
Tabla 14	Clasificación de la muestra de suelo calicata 01	74
Tabla 15	Distribución Granulométrica Calicata 02	74
Tabla 16	Clasificación de la muestra de suelo calicata 02.....	75
Tabla 17	Distribución Granulométrica Calicata 03	75
Tabla 18	Clasificación de la muestra de suelo calicata 03.....	76
Tabla 19	Clasificación de la muestra de suelo calicata 03.....	76
Tabla 20	Resumen análisis del contenido de humedad C1-C3.....	77

Tabla 21	Representación del perfil estratigráfico (C-01).....	78
Tabla 22	Representación del perfil estratigráfico (C-2).....	79
Tabla 23	Representación del perfil estratigráfico (C-3).....	80
Tabla 24.	Resistencia de Muestra C1	81
Tabla 25	Resistencia de Muestra C2	82
Tabla 26	Resistencia de Muestra C3	83
Tabla 27	Resultados DPL C1	84
Tabla 28	Resultados DPL C2	85
Tabla 29	Resultados DPL C3	86
Tabla 30	Resultados de los ensayos de Densidad y Peso Unitario	87
Tabla 31	Resultados del espécimen de muestreo de la calicata 01	88
Tabla 32	Resultados del espécimen de muestreo de la calicata 02	90
Tabla 33	Resultados del espécimen de muestreo de la calicata 03	90
Tabla 34	Resumen de los resultados de los ensayos muestreados	91
Tabla 35	Cuadro de BMS.....	92
Tabla 36	Cuadro de coordenadas del área intervenida.....	93
Tabla 37	Pendiente del área de influencia.....	94
Tabla 38	Parámetros Topográficos.....	95
Tabla 39	Datos de la estación meteorológica.....	96
Tabla 40	Datos de precipitación máxima en 24 horas.	96
Tabla 41	Distribuciones de probabilidades mediante el método de Kolmogorov - Smirnov	98

Tabla 42	Resultados de prueba de error estándar del ajuste para la distribución	99
Tabla 43	Resultado de la prueba de Kolgomorov Smirnov	99
Tabla 44	Resultado de comprobación de ajuste Long Pearson III.....	101
Tabla 45	Precipitación máxima para distintos periodos de retorno	102
Tabla 46	Intensidad de precipitación en función de la duración y periodo .	104
Tabla 47	Resultados del método de bloque alterno	106
Tabla 48	Parámetros para el cálculo de la esorrentía	108
Tabla 49	Datos para un periodo de 50 Años	108
Tabla 50	Datos para un periodo de 100 años	108
Tabla 51	Cálculo de la infiltración según periodos de retorno	109
Tabla 52	Muestreo de ensayo de permeabilidad 01	110
Tabla 53	Muestreo de ensayo de permeabilidad 02	111
Tabla 54	Muestreo 03 de ensayo de permeabilidad	112
Tabla 55	Resultados del Software Slide, en condiciones estáticas.	118
Tabla 56	Resultados del Software Slide, en condiciones estáticas, añadiendo la infiltración.....	124
Tabla 57	Análisis de la contrastación de datos por el método de regresión lineal	125
Tabla 58	Análisis de la contrastación de datos por el método de regresión lineal	126

Índice de figuras

Figura 1	Experimento de Darcy	35
Figura 2	Representación esquemática del sistema de infiltración del Pozo.	38
Figura 3	Esquema de las fuerzas que actúan sobre una dovela	50
Figura 4	Esquema de un deslizamiento rotacional y partes del mismo.....	52
Figura 5	Curva de distribución granulométrica.....	54
Figura 6	Estados de consistencia por Atterberg	54
Figura 7	Representación de la plasticidad	58
Figura 8	Representación del ensayo de Resistencia de una muestra de suelo	59
Figura 9	Ensayo de corte directo.	60
Figura 10	Representación Gráfico de datos iniciales de corte directo	60
Figura 11	Puntos de muestras del talud del sector Aymas Alto	65
Figura 12	Ensayo del método Porchet MINVU 1996	70
Figura 13	Calicata 01	78
Figura 14	Calicata 02	79
Figura 15	Calicata 03	80
Figura 16	Grafica de resistencia máxima – C1	82
Figura 17	Grafica de resistencia máxima – C2	83
Figura 18	Grafica de resistencia máxima – C3	84
Figura 19	Gráfico de escala de penetración – C1	85
Figura 20	Gráfico de escala de penetración – C2.....	86

Figura 21	Gráfico de escala de penetración – C3	87
Figura 22	Curva de esfuerzo cortante vs la deformación de la muestra obtenida de la calicata 01	89
Figura 23	Esfuerzo de corte vs el esfuerzo normal de la calicata 01	89
Figura 24	Poligonal cerrada de las elevaciones del talud.....	93
Figura 25	Funciones de probabilidad	101
Figura 26	Resultados de precipitación máxima en diferentes periodos (T) ..	103
Figura 27	Curva intensidad-duración-frecuencia	105
Figura 28	Hietograma de precipitación de diseño para un Periodo de Retorno de 100 años	106
Figura 29	Evaluación del Factor de seguridad mediante método de Fellenius, en condición estática, del Sub tramo Km 00+230 al km 00+265.....	113
Figura 30	Evaluación del Factor de seguridad mediante método de Fellenius, en condición estática, del Sub tramo Km 00+265 al km 00+350.....	114
Figura 31	Evaluación del Factor de seguridad mediante método de Fellenius, en condición estática, del Sub tramo Km 00+350 al km 00+560.....	115
Figura 32	Evaluación del Factor de seguridad mediante método de Fellenius, en condición estática, del Sub tramo Km 00+560 al km 00+610.....	116
Figura 33	Evaluación del Factor de seguridad mediante método de Fellenius, en condición estática, del Sub tramo Km 00+610 al km 00+670.....	117
Figura 34	Evaluación del Factor de seguridad mediante método de Fellenius, en condición estática y con infiltración del Sub tramo Km 00+230 al Km 00+265	119

Figura 35	Evaluación del Factor de seguridad mediante método de Fellenius, en condición estática, con infiltración del Sub tramo Km 00+265 al km 00+350	120
Figura 36	Evaluación del Factor de seguridad mediante método de Fellenius, en condición estática, con infiltración del Sub tramo Km 00+350 al km 00+560	121
Figura 37	Evaluación del Factor de seguridad mediante método de Fellenius, en condición estática, con infiltración del Sub tramo Km 00+560 al km 00+610	122
Figura 38	Evaluación del Factor de seguridad mediante método de Fellenius, en condición estática, con infiltración del Sub tramo Km 00+610 al km 00+670	123
Figura 39	Comparación del factor de seguridad en condiciones estáticas y con infiltración	125
Figura 40	Comparación del factor de seguridad en condiciones estáticas y con infiltración	127

Índice de anexos

Anexo 1	Matriz de consistencia.....	141
Anexo 2	Matriz de operacionalización de variables.....	142
Anexo 3	Panel fotográfico	143
Anexo 4	Estudio de mecánica de suelos.....	150
Anexo 5	Estudio topográfico	204
Anexo 6	Ensayo de infiltración	240
Anexo 7	Certificado de calibración de equipos	243
Anexo 8	Resultados del software Slide V6.0	267

I Introducción

Los deslizamientos de taludes son fenómenos geológicos que implican el movimiento de masas de suelo y roca ladera abajo debido a la fuerza de la gravedad. Estos eventos pueden ser desencadenados por diversas causas, incluyendo la saturación del suelo por lluvias intensas, la erosión de la base del talud, y la actividad sísmica. Además, la intervención humana, como la deforestación y las excavaciones, puede aumentar la susceptibilidad de los taludes a deslizarse, generando riesgos significativos para infraestructuras y vidas humanas en áreas vulnerables.

La calidad del suelo y la intensidad de las lluvias son factores críticos en la ocurrencia de deslizamientos. Los suelos con alta porosidad y baja cohesión son particularmente susceptibles a la infiltración de agua, lo que reduce su estabilidad. Las lluvias intensas pueden saturar rápidamente estos suelos, aumentando el peso de la masa y disminuyendo la resistencia al corte del material. En Aymas Alto, donde las precipitaciones pueden ser torrenciales, la combinación de suelos inestables y lluvias fuertes crea un ambiente propicio para deslizamientos de taludes.

En ese sentido, la investigación tuvo como propósito realizar un análisis detallado del flujo de infiltración en los taludes permitiendo identificar los factores que contribuyen a su inestabilidad. Este tipo de estudio puede establecer parámetros de seguridad y diseñar estrategias efectivas para la mitigación del riesgo. Al comprender mejor cómo el agua se infiltra y afecta la cohesión del suelo, se pueden desarrollar medidas preventivas, como sistemas de drenaje adecuados y prácticas de manejo del suelo, para reducir la probabilidad de deslizamientos y proteger las comunidades en áreas propensas.

En el lugar denominado Aymas Alto, del distrito de Abancay, el análisis exhaustivo del flujo de infiltración no solo ayudará a predecir la ocurrencia de deslizamientos, sino que también proporcionará información crucial para el desarrollo de políticas de gestión del

riesgo. Implementar estos conocimientos permitirá a las autoridades locales tomar decisiones informadas sobre la planificación del uso del suelo y la construcción de infraestructuras, garantizando así la seguridad de la población y la preservación del entorno natural.

II Planteamiento del problema

2.1 Descripción y formulación del problema

Descripción

El deslizamiento de taludes representa uno de los desafíos climáticos primordiales que inciden en la estabilidad y seguridad del tráfico en carreteras a nivel global, ya que este fenómeno se origina a raíz de variadas situaciones climatológicas recurrentes, como es la acción de cargas externas por lluvias sobre el talud, mayor intensidad de lluvias en zonas poco estables y cuya seguridad para las poblaciones cercanas se ve comprometida. Sin embargo las precipitaciones vienen a ser un factor crucial que provocan colapsos de taludes en diversas regiones del mundo (Zhang et al., 2011).

Las épocas de lluvias intensas no solo provocan inundaciones, sino que también deslizamientos que desencadenan diversos procesos naturales en la superficie terrestre. Estos van desde los huaicos bien conocidos hasta una variedad de movimientos de masas, lo que requiere un análisis detallado con un enfoque científico riguroso para comprender sus dinámicas y encontrar soluciones técnicas adecuadas (Rajchl, 2023).

La inestabilidad del terreno, que abarca la erosión, el transporte de materiales y los deslizamientos de tierra, constituye un fenómeno ampliamente extendido y representa una de las principales fuentes de riesgo para diversos elementos expuestos, como personas, propiedades, recursos ambientales, actividades económicas y patrimonio cultural. Esta inestabilidad del terreno está frecuentemente asociada con peligros naturales como terremotos e inundaciones (De Chiara et al., 2015).

A nivel mundial, según estudios de alcance global, mapea e identifica deslizamientos de tierra en 128 países. Abarcando un periodo de 20 años entre 1995-2014, identificando 3,876 deslizamientos de tierra, provocaron un total de 156,268 muertes y 177,537 heridos en todo el mundo, este estudio abarca un periodo sin precedentes, confirmando que el 85%

de estos eventos estuvieron relacionados directamente con las precipitaciones pluviales (Haque et al., 2019).

En china, las intensas lluvias vienen generando una alta infiltración de agua en los taludes, lo que a su vez desestabiliza, estos sucesos vienen sucediendo en muchas regiones principalmente en zonas tropicales y subtropicales, representando un grave peligro para la seguridad, (L. Zhang et al., 2011). La profundidad de falla de los deslizamientos de tierra presenta una variabilidad considerable, oscilando entre 10.80 m, estos están siendo provocados generalmente por las tormentas y también vienen siendo susceptibles cuando se tienen pendientes mayores de 40% (Dai et al., 2003). En china durante los periodos 2004-2016, las frecuencias de los deslizamientos de tierra vienen siendo mortales, esto vienen aumentando de manera constante de 0.6 eventos por año (Guan et al., 2023). Así mismo se tienen estudios que durante los periodos 1940-2020, donde se registran más de 1,470 deslizamientos de tierra provocados por fenómenos antropogénico y naturales, los cuales han causado 14,394 muertes en china (S. Zhang et al., 2023).

En Italia, las intensas precipitaciones provocaron 1,687 deslizamientos de tierra, estos deslizamientos abarcan entre 105 m². Estos movimientos de masas fueron superficiales pero sin embargo, se caracterizan por su rapidez, provocando tráfico en numerosas rutas nacionales, ferrocarriles, estructuras e infraestructuras y daños de viviendas (Donnini et al., 2023).

En el Perú se presentan deslizamientos, lluvias intensas, huaycos y otros fenómenos naturales entre ellos se vienen brindando mayores registros, lluvias intensas, deslizamientos de masas, estos fenómenos vienen sucediendo en los diferentes departamentos del Perú, durante el periodo 2022, viene registrando información en los diferentes departamentos de mayor incidencia entre ellos tenemos: Cajamarca 53 y Cusco con 55 casos de deslizamientos de masas, estos sucesos se han venido presentando durante el periodo del 2022, donde

claramente se puede ver la diferencia con respecto a la ocurrencia de estos casos (INDECI & DIPPE, 2023).

A nivel Regional, según INDECI & DIPPE (2023), durante el periodo del 2023 se observan 22 casos de deslizamientos de masas y 188 casos de lluvias intensas. Estos fenómenos se pueden evidencia en las zonas como Pampamarca que presentan deslizamientos de masas considerados como peligro alto ante la ocurrencia de estos sucesos. Estos deslizamientos pueden ser desencadenados por lluvias intensas o excepcionales, filtraciones de agua en el subsuelo o movimientos sísmicos de gran magnitud (INGEMMET, 2021).

A nivel local, en el distrito de Abancay se tiene un reporte de deslizamientos de masas que viene a ser dada el 29 de diciembre del 2021, producto de las lluvias intensas, este deslizamiento de ladera fue en la localidad de Humaccata baja, provocando daños de viviendas, caminos y pérdidas de producción agrícolas (INDECI & COEN, 2021).

La presente investigación se realizó en la zona Alta de Aymas, siendo elegido por el presente problema de infiltración superficial proveniente de las escorrentías, consecuencias de las precipitaciones pluviales que se genera el suelo de Aymas Alto, lo que provoca mayores redes de flujo y un rápido aumento de la presión de poros del suelo, desencadenando deslizamiento de taludes que afectan el tránsito vehicular en las vías que atraviesan esta zona de Abancay. Donde cada temporada del año por las temporadas de lluvias se presentan por lo menos dos deslizamientos de velocidad lenta, lo que ocasiona problemas de interrupciones de la vía de acceso.

El propósito de la presente investigación es analizar el flujo de infiltración generado por las precipitaciones pluviales, que ocurren principalmente entre los meses de diciembre y marzo. Durante este período, se han observado deslizamientos y derrumbes a lo largo del tramo de influencia. En particular, se destaca un deslizamiento ocurrido en 2005 en el sector

de Cconchopata, en Aymas, provocado por la obstrucción de un canal, lo que afectó a viviendas y familias locales. Además, se ha identificado que el canal, debido a su antigüedad, presenta filtraciones como resultado de la acumulación de sedimentos, y junto con las precipitaciones, estos fenómenos naturales e indirectos generan deslizamientos recurrentes. Estas condiciones hacen que la ladera de la zona sea altamente vulnerable y propensa a deslizamientos de tierra.

Formulación del problema de investigación

Ante esta problemática, la investigación tiene como objetivo evaluar el factor de seguridad del talud, con el fin de identificar las zonas de mayor vulnerabilidad. Se espera que este análisis proporcione información valiosa para futuras investigaciones y estudios relacionados, que permitan mitigar los riesgos y mejorar la gestión de estos fenómenos naturales

Problema general

¿De qué manera el análisis de flujo de infiltración influye los deslizamientos de taludes en la vía vecinal Emp AP-647 en el tramo Km 00+230 - km 00+670 de Aymas alto Abancay, Apurímac 2023?

Problemas específicos

- ¿Cómo la tasa de infiltración influye en el deslizamiento de taludes en la vía vecinal Emp AP-647 en el tramo Km 00+230 - km 00+670 de Aymas Alto Abancay, Apurímac 2023?
- ¿Cómo la precipitación pluvial influye en el deslizamiento de taludes en la vía vecinal Emp AP-647 en el tramo Km 00+230 - km 00+670 de Aymas Alto Abancay, Apurímac 2023?

2.2 Objetivos

2.2.1 *Objetivo General*

- Determinar cómo el análisis de flujo de filtración influye los deslizamientos de taludes en la vía vecinal Emp AP-647 en el tramo Km 00+230 - km 00+670 de Aymas Alto Abancay, Apurímac 2023.

2.2.2 *Objetivos Específicos*

- Establecer de qué manera la infiltración influye los deslizamientos de taludes en la vía vecinal Emp AP-647 en el tramo Km 00+230 - km 00+670 de Aymas Alto Abancay, Apurímac 2023.
- Determinar la intensidad de la precipitación pluvial en la estabilidad de taludes en la vía vecinal Emp AP-647 en el tramo Km 00+230 - km 00+670 de Aymas Alto Abancay, Apurímac 2023.

2.3 Justificación e importancia

Justificación Practica

La evaluación del flujo de infiltración pudo revelar que los taludes del sector Aymas Alto tienden a deslizarse en condiciones de alta precipitación, en ese sentido, los resultados del estudio servirán para el accionar en puntos importantes tales como la estabilidad de taludes, ya que al conocer mejor estos resultados se tomarán acciones preventivas, e informar a la municipalidades y INDECI, con el fin de concientizar a la población que no se construyan viviendas aledañas dentro del área de influencia de los taludes inestables. Un análisis detallado proporciona información sobre estos parámetros, lo que ayuda a predecir mejor la ocurrencia del deslizamiento y el proceso de selección de datos, servirá de información complementaria para futuras investigaciones que deseen realizarse.

Justificación social

Al conocer mejor el comportamiento sobre la infiltración de los taludes en el sector de Aymas Alto, y con los planteamientos de mejora, estos resultados y mediante las acciones tomas por parte de las entidades beneficiará a la población en general ya que permitirá evitar ocurrencia de deslizamiento, que puedan provocar muertes, pérdidas económicas, bloqueo de accesos. Así mismo, más poblaciones se verán beneficiadas, al contar con una medida de análisis preventiva de posibles deslizamientos, que sea relevante y aporte seguridad.

Justificación Teórica

Esta investigación se apoya en los principios de la mecánica de suelos e hidrología, para comprensión de los factores en qué medida influyen en la estabilidad de los taludes, ya que se considera el nivel impacto significativo, que tiene el agua en las propiedades mecánicas del suelo. Esto principios serán usados para conocer como la infiltración puede saturar el suelo, reducir la resistencia al corte, aumentar el peso efectivo y culminar en la disminución de la capacidad portante del suelo y ocasionando el riesgo de deslizamientos.

Justificación Metodológica

Con esta investigación aporta a la mejor de la investigación del análisis del flujo de infiltraciones en deslizamientos de taludes, a través de la compilación de datos y visitas en el lugar in situ, se busca describir con precisión la realidad de la zona, utilizando resultados experimentales obtenidos mediante ensayos específicos, como el método Porchet, que evalúa la tasa de penetración del agua en el suelo. Estos ensayos proporcionarán información sobre la capacidad de infiltración del suelo en la zona y cómo varía bajo diferentes condiciones.

2.4 Hipótesis

Hipótesis general

- El análisis del flujo de infiltración influye en los de deslizamientos de taludes en la vía vecinal Emp AP-647 en el tramo Km 00+230 - km 00+670 de Aymas Alto Abancay, Apurímac 2023.

Hipótesis específicas

- Los efectos de la infiltración son causantes en los deslizamientos de taludes en la vía vecinal Emp AP-647 en el tramo Km 00+230 - km 00+670 de Aymas Alto Abancay, Apurímac 2023.
- Con un incremento de intensidad de precipitaciones pluviales disminuye la estabilidad de taludes en la vía vecinal Emp AP-647 en el Km 00+230 - km 00+670 de Aymas Alto Abancay, Apurímac 2023.

2.5 Variables

Variable Independiente

Flujo de Infiltración

Variable Dependiente

Deslizamiento de Taludes

Operacionalización de Variables

Variables	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Indicadores	Índice	Instrumento de medición	Escala de medición
Variable Independiente							
Flujo de Infiltración	La infiltración es el mecanismo por el cual el agua en la superficie de la tierra se introduce en el suelo. La velocidad de infiltración es un indicador de la habilidad del suelo para absorber la lluvia (Úbeda & Delgado, 2018).	Para medir esta variable, se determinará la capacidad que tiene el talud para filtrar o retener el agua.	Infiltración	I1: Velocidad de Infiltración	(Cm/Hr)	Método de Porchet Clasificación SUCS	Razón
				I2: Tipo de suelo			
			Precipitación Pluvial	I1: Precipitación de diseño	(mm)	Pluviógrafo (Senamhi)	Razón
				I2: Intensidad	(mm/h)		
Variable Dependiente							
Deslizamiento de Talud	Viene a ser un desplazamiento del suelo que provoca un desplazamiento y un sentido de gravedad de la masa del suelo, con el objetivo de determinar las propiedades del talud utilizando un factor de seguridad.	Para la evaluación del deslizamiento de taludes se analizará mediante las propiedades del suelo.	Factores topográficos	I1: Altura	(m)	Estación total	Razón
				I2: Pendiente	(%)	Civil 3d Sección transversal	
			Propiedades del suelo del talud	I1: Clasificación de suelos		Clasificación SUCS	Razón
				I2: Peso unitario	(Kg/m3)	Laboratorio de Mecánica de Suelo	
				I3: Angulo de fricción	(°)		
				I4: Cohesión	(KPa)		

III Marco Teórico

3.1 Antecedentes

A nivel internacional

Camacho & Granados (2023), en su artículo “El agua como agente de inestabilidad de taludes”, tuvieron por objetivo estudiar el análisis hidrostático para el análisis de la estabilidad de taludes, debido a que la presencia de agua reduce la resistencia cortante del suelo. El método consto de la detección de los parámetros que influyen ante una ocurrencia de un deslizamiento, produciendo una falla de una ladera, así como también los agentes detonantes que activan el movimiento. En sus resultados, mencionan que la lluvia actúa como el factor desencadenante de la inestabilidad, la cual está vinculada a las precipitaciones anteriores y al ciclo hidrológico. Siendo posible que, tras varios episodios de lluvias, la ladera se mantenga estable; sin embargo, una lluvia moderada puede desencadenar el deslizamiento. Como conclusión, el agua emerge como uno de los factores principales que desencadenan la inestabilidad de los taludes. Por tanto, su análisis dentro de la modelación de los fenómenos que acontecen en el interior del talud conlleva a la reducción del esfuerzo efectivo del suelo y a la disminución de la resistencia al esfuerzo cortante.

Nasiri & Mohammadzade (2022), en su estudio titulado “Evaluación de la Estabilidad de taludes cortados a lo largo de carreteras forestales utilizando enfoques de equilibrio límite y software de deslizamiento”. El objetivo fue describir el estudio in situ en seis sobre deslizamientos dentro de un camino forestal. La metodología consto de medir las dimensiones de cada deslizamiento en su ancho y alto utilizando un equipo métrico, incluso para las pendientes. En sus resultados determinaron las propiedades geotécnicas de cada talud, y el factor de seguridad mediante el software Slide, donde se observaron hallazgos entre FS 1.51 siendo de alto riesgo, pero estable y un FS de 0.55 de alto riesgo para sufrir un

deslizamiento. Como conclusión, determinaron que el software Slide es preciso y puede utilizarse en diferentes condiciones tanto en morfología e hidrología.

Ramírez (2022), en su investigación “Análisis de estabilidad de explanaciones viales en suelos residuales anisotrópicos tropicales en condiciones de parcial saturación”, el objetivo fue evaluar la estabilidad de las explanaciones en suelos residuales anisotrópicos tropicales al variar la saturación de los suelos. El método consto de la revisión de revistas científicas, base de datos electrónicos y repositorios de universidades. Así mismo, se hizo de uso de un solo suelo residual tropical para su modelamiento y análisis en el software Slide. Como resultados, se evidenció que, en las lluvias modeladas de forma creciente, decreciente y continua, se evidencia que el factor de seguridad varia siendo la lluvia creciente la infiltración que provoca un menor factor de seguridad en todos los modelos a las 6 horas y para llegar a la falla del talud requirió de largos periodos de lluvia, se evidencia que a las 72 horas el talud falla. Como conclusión, este tipo de análisis se pueden implementar para generar planes de contención, cuando se presenta lluvias con alta duración y así conocer que taludes son más factibles a fallar y provocar deslizamientos.

Onofa & Villalba (2021), en su investigación titulada “Influencia de la precipitación y escorrentía en taludes modelados a escala con ángulos de inclinación de 15°, 30° y 45°, recubiertos con geo mantos de fibra de coco y sintético, para estabilización y control de erosión”, tuvieron el objetivo de analizar la estabilidad y el manejo de la erosión en taludes afectados por lluvias y escorrentías. El método consto de la comparación del comportamiento de una arena limosa modelada a escala, en diferentes inclinaciones 15°, 30° y 45°, según las normas ASTM D6818, ASTM D7101. Como resultado, se tiene que, a mayor inclinación del talud, mayor es la susceptibilidad de sufrir una erosión laminar, produciendo una degradación gradual del suelo. Se concluye que utilizando fibra sintética existe menor

perdida de degradación del suelo, reduciendo en un 70%, en cambio cuando se utiliza fibra de coco se reduce el 80% de la degradación del suelo.

Malagón & Vanegas (2020), en su investigación “Análisis de la incidencia de las lluvias antecedentes en la estabilidad del talud en el sector altos de la estancia en Bogotá D.C”, tuvieron el objetivo de analizar el comportamiento de la influencia de las lluvias en los deslizamientos. La metodología consto del retro análisis de datos geológicos e hidrológicos en la zona de Coluvión, incluyendo las curvas de IDF, utilizando modelos numéricos para evaluar la estabilidad de taludes en zonas vulnerables. Como resultados, observaron que la zona coluvión posee una alta permeabilidad y un rápido drenaje, sin embargo, se requiere una intensidad excepcionalmente alta de 1722.79 mm/h para producir un deslizamiento. Como conclusiones, determinaron que el retro análisis, junto con la sensibilización, estos datos permiten ajustar y otorgar fiabilidad a los valores geomecánicas in situ; ya que, en laboratorio, estos valores pueden variar debido a su manipulación.

A nivel nacional

En la investigación de Aro (2020), titulada, “Efecto de la infiltración del agua en los deslizamientos de las laderas de Quilahuani Provincia de Candarave - Tacna”, tuvo el objetivo de evaluar la influencia de la infiltración de agua en la estabilidad de ladera de la zona de deslizamiento. La metodología consto de analizar el flujo transitorio y el riego constante, donde se recopilaban información tanto las características del suelo, topografía, geomorfología. Como resultados, se tiene que estos datos permiten realizar la simulación y evaluar la influencia de la infiltración de agua. De esto se concluye que los efectos de infiltración de agua influyen y aumentar la saturación del suelo, desestabilizando el talud.

Alagón (2018), en su investigación “Análisis del flujo de filtraciones para la estabilidad física del deslizamiento cerro Tumbay Orcco - Lucre – Cusco - 2018”, el propósito fue examinar el impacto de las filtraciones en la estabilidad de los deslizamientos.

Se empleó un enfoque que comprendía estudios topográficos, hidrológicos y geomorfológicos, analizados con el software Slide V6.0. Los resultados arrojaron estimaciones de eventos de lluvias con un periodo de retorno de 100 años, una precipitación máxima de 26.16 mm/hr, una tasa de infiltración de 13.08 mm/hr y un factor de seguridad (FS) de 0.645. Este último valor, particularmente bajo, indica un riesgo significativo de deslizamiento. Por lo tanto, como conclusión se tiene que la erosión hídrica, la infiltración y la escorrentía son factores que influyen en la ocurrencia para un deslizamiento.

Mujica & Reymundo (2022), en su investigación “Análisis de Estabilidad de Taludes desde el Puente Posanca hasta el Poblado Licahuasi de la Carretera LM 111 en el Distrito de Arahuay”, el propósito fue identificar los principales factores que afectan la estabilidad de los taludes críticos desde el puente Posanca hasta el poblado Licahuasi de la carretera LM 11. Se llevó a cabo el estudio de levantamiento topográfico para poder determinar las secciones transversales del terreno, para poder utilizar el programa computacional Geo5 y realizar el análisis del método de equilibrio límite. Empleando el valor mínimo obtenido para poder evaluar el factor de seguridad y evaluar en qué condiciones se encuentran los taludes. Como resultado, se establece que al emplear este método y mantener el ángulo de inclinación, junto con una aceleración sísmica de 0.45, los taludes aumentan su factor de seguridad en un 48.16%. En conclusión, tanto la infiltración como el ángulo de inclinación tienen un impacto directo en la estabilidad del talud. A medida que aumenta el ángulo de inclinación y el porcentaje de infiltración, el factor de seguridad disminuye significativamente

Bautista & Izquierdo (2020), llevaron a cabo una investigación titulada “Análisis De Los Factores Detonantes Para Controlar La Inestabilidad De Talud En El Distrito Tumbadén - Cajamarca, 2020”, con el objetivo de realizar un análisis exhaustivo para poder identificar cuáles son los factores que causaron la inestabilidad del talud. La metodología incluyó el

análisis de las precipitaciones registradas a lo largo de 10 años de la estación AW, incluyendo estudios geomorfológicos, hidrogeológicos y la obtención de las propiedades de mecánicas del suelo. De los resultados, se observó que estos suelos son de material fino con una baja plasticidad obteniendo valores con LL menores al 50%. Esto genera que haya una separación rápida entre las partículas finas y genere licuefacción y posteriormente un deslizamiento. Se tiene como propuesta la evaluación para un diseño de un talud con una altura de 20 m y con una pendiente de 42° , eso genera un talud estable con un factor de seguridad 4.753. Como conclusión, se determinó que las características morfológicas del lugar estiman una estabilidad adecuada con el mismo material de suelo, siempre y cuando este sea compactado para mayor seguridad.

Medina (2020), en su investigación “Estabilización de taludes de gran altura analizados mediante métodos de equilibrio límite, carretera Taquebamba - San Mateo, Aymaraes, Apurímac 2020”, se tuvo como propósito determinar la estabilidad de taludes de gran altura utilizando el método de equilibrio límite. La metodología empleada fue de tipo deductivo, de aplicación práctica y de nivel descriptivo-explicativo. Como resultado, se calculó que la estabilidad del talud en condiciones estáticas tenía un valor de $FS=0.97$, inferior a 1.50, mientras que en condiciones pseudo estáticas presentaba un valor de $FS=0.78$, menor que 1.00, lo que indica que ambos casos son inestables. Además, se observó que, con la altura, la inestabilidad tiende a aumentar, y el factor de seguridad disminuye. En conclusión, se evidenció que características como el terreno accidentado, la elevada altura y el ángulo del talud son factores determinantes para la inestabilidad de un talud.

A nivel regional y local

Aguilar & Maldonado (2023), en su artículo “Identificación de las zonas de riesgo por deslizamientos de laderas debido a la saturación de suelos en la microcuenca del río Mariño, Abancay Apurímac”, con el objetivo de analizar la estabilidad de masas integrando

condición de saturación y los deslizamientos. La metodología empleada mediante un enfoque regional utilizando un base de información geográfica para brindar una información exhaustiva sobre las características geotécnicas e hidrológicas. Llevándose a cabo un análisis de campo para utilizar el modelo SINMAP (Mapeo del índice de estabilidad) en un periodo de 60 años. Estos resultados mostraron que la aplicación del modelo brinda una mayor descripción de los deslizamientos, identificando como zonas vulnerables a ocurrir un deslizamiento en un 70.69 % de la microcuenca del río Mariño. Por otra parte, el 29.31% viene siendo una zona estable. En conclusión, se determina que la zona de estudiada viene siendo una zona vulnerable a ocurrir un deslizamiento en un 46.63 % del área estudiada que son provocados por la saturación del suelo.

IGP (2018), en su investigación “Evaluación Geológica, Geodinámica y Geotécnica del sector Fonavi – Abancay”. Este estudio se realizó por los eventos de deslizamientos en el sector de Fonavi – Moyocorral. La metodología consto de realizar evaluaciones geológicas, geodinámicas y geotécnicas en las inmediaciones de Abancay. Como resultados se obtuvo que la zona de Abancay se encuentra en una geomorfología paleo en procesos glaciares y aluviales. La estratigrafía del sector Fonavi viene siendo por areniscas, calizas que pertenece al grupo mitu, siendo su ubicación geomorfológica y siendo de pendientes pronunciadas. Como conclusión, se tiene que el sector Fonavi viene siendo afectado por un deslizamiento, deslizamiento de tipo rotacional y que afecta a los materiales aluviales de alta porosidad, ya que estos materiales se saturan por la existencia del nivel freático.

3.2 Bases teóricas

3.2.1 Flujo de Infiltración

3.2.1.1 Infiltración

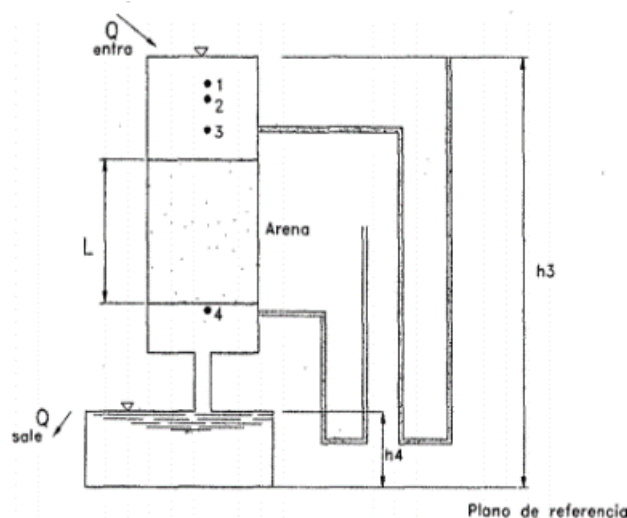
A. Conductividad Hidráulica

La capacidad del suelo para transportar agua cuando está saturado se conoce como permeabilidad, la cual está directamente relacionada con el flujo viscoso de agua en el suelo, como lo establece la ley de Darcy. Esta ley describe cómo el agua fluye en función del gradiente de potencial hidráulico, que puede medirse en términos de longitud, tiempo y masa, o de longitud, tiempo y peso del gradiente de la carga hidráulica (Forsythe, 1985).

En el año aproximado de 1850, H. Darcy realizó investigaciones sobre cómo fluye el agua a través de un lecho de arena filtrante, variando la longitud L de la muestra y midiendo el flujo Q de agua, así como la presión del agua en la parte superior e inferior de la muestra (Lambe & Whitman, 2004), como se muestra en la figura 1.

Figura 1

Experimento de Darcy



Nota. Extraído de (Lambe & Whitman, 2004)

El caudal se obtiene, de acuerdo a la siguiente ecuación (1):

$$Q = k \frac{h_3 - h_4}{L} A = K i a \dots\dots (1)$$

Donde:

Q = Es el flujo volumétrico de agua, representando la cantidad de agua que atraviesa la muestra en un intervalo de tiempo dado.

k = Es el coeficiente de permeabilidad de Darcy, indicando la capacidad del suelo para permitir el paso del agua.

h_3 = Es la altura medida desde un punto de referencia en el interior de la muestra.

h_4 = Indica la altura medida desde un punto de referencia en el exterior de la muestra, donde el agua sale

L = Representa la longitud de la muestra

A = Área total de la sección transversal del recipiente que contiene la muestra.

i = El símbolo “ i ” indica el gradiente hidráulico, que se calcula como la diferencia de altura del agua dividida por la longitud horizontal de la muestra.

Para poder calcular la infiltración o de Darcy, es necesario verificar si el flujo es laminar o turbulento, lo cual se determina mediante el número de Reynolds. Este número se calcula utilizando la siguiente ecuación (2):

$$\frac{Q}{V} = k i = v \dots\dots (2)$$

B. Permeabilidad

Es la capacidad de un material, que deja pasar el agua, en su interior sin que dicho tránsito altere su estructura interna. Este atributo se evalúa objetivamente al aplicar un gradiente hidráulico en una parte del suelo y observando como el agua influye por una ruta específica (Frankie, 2013).

Según Frankie (2013), hay diversos métodos para calcular el coeficiente de permeabilidad:

- **Valoración de la permeabilidad:** Se lleva a través de relaciones empíricas que vinculan la permeabilidad con alguna propiedad del suelo, como su el tamaño de sus partículas.
- **Medida directa de la permeabilidad:** Se realiza en laboratorio sobre una muestra adecuada e inalterada.
- **Estimación directa de la permeabilidad “in-situ”:** Se lleva a cabo mientras se realicen sondeos o pozos, donde se mide la pérdida de agua en una columna inundada en la perforación.

C. Ensayo de nivel variable o Método Porchet (MINVU 1996)

Para realizar estudios de infiltración y determinar la constante de permeabilidad, se lleva a cabo un ensayo que implica excavar un pozo o zanja superficial de profundidad conocida. Luego, se llena este pozo con una cierta altura h de agua y se registra la disminución de la altura del agua a intervalos regulares de tiempo (C. González, 2020), se muestra la siguiente figura 2 como se representa el ensayo y algunos valores de los coeficientes de permeabilidad que se aprecia en la tabla 2.

	Permeámetro de carga hidráulica constante. No se requiere de mayor experiencia.				
	Permeámetro de carga hidráulica decreciente. No se requiere de mayor experiencia y se obtienen buenos resultados	Permeámetro de carga hidráulica decreciente. Resultados dudosos. Se requiere mucha experiencia.	Permeámetro de carga hidráulica decreciente. Resultado de regular a bueno. Se requiere mucha experiencia.		
Determinación indirecta de K	Por cálculo, partiendo de la curva granulométrica. Solo aplicable en el caso de arenas y grabas limpias sin cohesión.		Cálculos basados en ensayos de consolidación. Resultados Buenos. Se necesita mucha experiencia.		

Nota. Extraído de los Coeficientes de permeabilidad Terzaghi & Peck, (1963, p. 53).

Para determinar la permeabilidad será por medio de la siguiente ecuación (3):

$$S = \pi x R (2h + R) \dots\dots (3)$$

Cuando el intervalo de tiempo dt es lo suficientemente pequeño como para asumir que la infiltración f se mantiene constante, se puede verificar mediante la siguiente ecuación: (4):

$$\pi * R (2h + R) K = -\pi * R^2 * \frac{dh}{dt} \dots\dots (4)$$

Simplificando y desarrollando, se tiene:

$$f x dt = -R \frac{dh}{R+2h} \dots\dots (5)$$

La permeabilidad se obtiene por medio de la anterior expresión.

$$f = \frac{R}{2(t_2 - t_1)} x \ln \left(\frac{2h_1 + R}{2h_2 + R} \right) [Cm/s] \dots\dots (6)$$

Donde:

R = Radio de la Excavación [cm]

h_1 = Altura inicial al principio de la medición [cm]

h_2 = Altura del agua al final de la medición [cm]

$t_2 - t_1$ = Intervalo de tiempo entre las mediciones [s]

3.2.2 *Precipitación Pluvial*

En el ámbito de la ingeniería Hidrológica, la lluvia y la nieve (precipitación) se consideran la principal fuente de agua en la superficie terrestre. La cantidad y distribución de la precipitación son vitales para comprender el ciclo del agua y la disponibilidad de este recurso vital (Villón, 2002).

Según Villón (2002), la precipitación se clasifica de la siguiente manera:

a) **Precipitación Convección**

En las temporadas de calor, se producen mas evaporación en la superficie de agua y se produce una gran cantidad de vapor de agua. Las altas temperaturas, se elevan y se enfrían dependiendo de las condiciones de humedad.

b) **Precipitación Orográfica**

Estos fenómenos se originan cuando el vapor de agua formado en la superficie del agua es llevado por el viento hacia las montañas. Allí, las nubes persisten a lo largo de las laderas hasta que se encuentran con condiciones de condensación, lo que las lleva a elevarse a altitudes más elevadas.

c) **Precipitación Ciclónica**

El encuentro de dos masas de aire con distintas temperaturas y humedades causa que se encuentren, las corrientes ascendentes empujan las masas más calientes hacia las capas superiores de la atmósfera. Este proceso provoca condensación del vapor en las nubes, lo que genera precipitación.

3.2.2.1 Medición de la Precipitación

La medición de la precipitación se realiza mediante la altura de la lámina de agua h , expresada en milímetros, que representa la acumulación que se produciría en una superficie horizontal si la precipitación permaneciera en el lugar donde cayó (Villón, 2002).

Según Villón (2002), la precipitación se calcula utilizando los siguientes instrumentos:

A. Pluviómetro

Este dispositivo consiste en un recipiente cilíndrico de lámina con un diámetro de aproximadamente 20 cm y una altura de 60 cm. Su función es medir la cantidad de lluvia que cae en una ubicación específica, tomando lecturas dentro de un tiempo de 24 horas.

B. Pluviógrafo

Se trata de una herramienta que registra la lluvia a lo largo del tiempo, lo que permite determinar la intensidad de la lluvia. Esta información es esencial para el diseño estructural de obras hidráulicas.

3.2.2.2 Precipitaciones de Diseño

La precipitación de diseño es la cantidad de lluvia utilizada para diseñar obras de drenaje urbano, alcantarillados, embalses y otras estructuras hidráulicas. Se estima utilizando datos de precipitaciones anteriores y estadísticas (Linsley et al., 1958). Sin embargo, cuando se tiene registros pluviográficos se puede calcular mediante el método de Dick Peschke como se muestra en la siguiente ecuación (MTC, 2012). El cálculo de la precipitación total se calcula mediante la siguiente ecuación (7):

$$P_d = P_{24h} \left(\frac{d}{1440} \right)^{0.25} \dots\dots (7)$$

3.2.2.3 Intensidad

Según el (MTC, 2012), se calcula la intensidad cuando no tenga registros pluviógrafos, se halla dividiendo la precipitación P_d entre la duración. El cálculo se realiza mediante la siguiente ecuación (8):

$$i = \frac{KT^m}{t^n} \dots\dots (8)$$

La ecuación para poder hallar la intensidad máxima i en milímetros por hora, considerando los factores característicos k, m, n de la zona de estudio, así como el periodo de retorno T en años y la duración t de la precipitación que corresponde al tiempo de concentración en minutos.

3.2.2.4 Duración

La duración se refiere al período de tiempo entre el inicio y el final de la tormenta. Es una cantidad específica de tiempo expresada en minutos u horas dentro del periodo total de duración de la tormenta (Villón, 2002).

3.2.2.5 Frecuencia

La medida del tiempo promedio que separa dos eventos de lluvia con características similares se conoce como intervalo entre eventos (Coras-Merino et al., 2005)

3.2.2.6 Periodo de Retorno

El tiempo de recurrencia se refiere al período promedio en el cual se espera que ocurra un evento de cierta magnitud al menos una vez en promedio (Villón, 2002). El cálculo se realiza con la siguiente ecuación (9):

$$T = \frac{I}{f} \dots\dots (9)$$

Donde:

T =Periodo de Retorno

f = Frecuencia

3.2.2.7 Análisis estadísticos de datos Hidrológicos

El análisis estadístico de datos hidrológicos investiga la frecuencia de precipitaciones y la recurrencia de eventos con características análogas en cuanto a su intensidad y duración. (Coras-Merino et al., 2005) menciona que cuanto mayor sea la intensidad de la precipitación menos frecuente será su ocurrencia.

A. Periodo de Retorno

Tabla 2

Estándares de riesgo permitido en proyectos de ingeniería

Tipo de Obra	Riesgo Admisible (%)
Puentes	25
Alcantarillas de paso de quebradas importantes y badenes	30
Alcantarillas de paso quebradas menores y descarga de agua de cunetas	35
Drenaje de la plataforma (a nivel longitudinal)	40
Sub drenes	40
Defensas Ribereñas	25

Nota. Extraído de MTC (2012, p. 25).

Tabla 3*Valores de periodo de Retorno T*

Riesgo Admisible	Vida útil de las Obras (N Años)									
R	1	2	3	5	10	20	25	50	100	200
0.01	100	199	299	498	995	1990	2488	4975	9950	19900
0.02	50	99	149	248	495	990	1238	2475	14950	9900
0.05	20	39	59	98	195	390	488	975	1950	3900
0.1	10	19	29	48	95	190	238	475	950	1899
0.2	5	10	14	23	45	90	113	225	449	897
0.25	4	7	11	18	35	70	87	174	348	685
0.5	2	3	5	8	15	29	37	73	154	289
0.75	1.3	2	2.7	4.1	7.7	15	18	37	73	144

Nota. Extraído del MTC (2012, p. 24).**B. Distribución normal**

La función de densidad de probabilidad se determina mediante la siguiente expresión

(10):

$$f(x) = \frac{1}{S\sqrt{(2\pi)}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{S}\right)^2} \dots \dots (10)$$

Donde:

$f(x)$ =Función densidad normal de la variable x

x =Variable independiente

μ =Parametro de localización, igual a la media aritmética de x

S = Parámetro de escala, igual a la desviación estándar de x

C. Distribución Gumbel

La distribución de valores de tipo I se define mediante la siguiente ecuación (11):

$$F(x) = e^{-e^{-\alpha(x-\beta)}} \dots \dots (11)$$

Para obtener los parámetros de la distribución utilizando el método de momentos, se aplican las siguientes relaciones de ecuaciones (12):

$$\alpha = \frac{1.2825}{\sigma}$$

$$\beta = \mu - 0.45\sigma$$

Donde:

α = Representa el parámetro de concentración.

β = Es el parámetro de localización.

σ = Es la desviación estándar de la distribución.

3.2.3 Escorrentía

3.2.3.1 Tiempo de concentración

La duración de la concentración indica el lapso de un tiempo requerido para que el agua de una cuenca, viaje desde el punto más lejano hasta un punto específico, donde se acumula antes de dirigirse al único punto de salida (MTC, 2012). Esto se ilustra en la tabla 4.

Tabla 4

Fórmulas para el tiempo de concentración

Método y fecha	Fórmula para-T (Minutos)	Observaciones
Klrpich (1940)	$t_c = 0.01947L^{0.77}S^{-0.385}$ L = longitud del canal desde aguas arriba hasta la salida, m. S = pendiente promedio de la cuenca, m/m	Desarrollada a partir de información del SCS en siete cuencas rurales de Tennessee con canales bien definidos y pendientes empinadas (3 a 10%); para: flujos superficiales en superficies de concreto o asfalto se debe multiplicar te por 0.4; para canales de concreto se debe multiplicar por 0.2; no se debe hacer ningún ajuste para flujo superficial en suelo descubierto o para flujo en cunetas

California Culverts Practice (1942)	$t_c = 0.0195 \left(\frac{L^3}{H} \right)^{0.385}$ L = Longitud del curso de agua más largo, m. H = Diferencia de nivel entre la divisoria de aguas y la salida, m.	Esencialmente es la ecuación de Kirpich; desarrollada para pequeñas cuencas montañosas en California.
Izzard (1946)	$t_c = \frac{525(0.000276i + c)L^{0.33}}{S^{0.333}i^{0.667}}$ I = Intensidad de lluvia, mm/h C = Coeficiente de retardo L = Longitud de la trayectoria de flujo, m. S = Pendiente de la trayectoria de flujo, m/m.	Desarrollada experimentalmente en laboratorio por el Bureau of Public Roads para flujo superficial en caminos y áreas de césped es; los valores del coeficiente de retardo varían desde 0.0070 para pavimentos muy lisos hasta 0.012 para pavimentos de concreto y 0.06 para superficies densamente cubiertas de pasto; la solución requiere de procesos iterativos; el producto de 1 por L debe ser <3800.
Federal Aviación Administration (1970)	$t_c = 0.7035 \frac{(1.1 - C)L^{0.50}}{S^{0.333}}$ C = Coeficiente de escorrentía del método racional. L = Longitud del flujo superficial m. s = Pendiente de la superficie, m/m	Desarrollada de información sobre el drenaje de aeropuertos recopilada por el Corps of Engineers; el método tiene como finalidad el ser usado en problemas de drenaje de aeropuertos, pero ha sido frecuentemente usado para flujo superficial en cuencas urbanas.

Nota. Extraído de MTC (2012, p. 39).

3.2.3.2 Estimación del caudal mediante el método racional

El manual de hidrología, Hidráulica y drenaje (2012), menciona que para cuencas menores que 10 km² se podrá estimar el caudal máximo mediante la siguiente formula.

$$Q = 0.278 CIA \dots \dots (13)$$

Teniendo en cuenta que C viene a ser el coeficiente de escorrentía e intensidad, la precipitación máxima y el área de la cuenta.

Según el MTC (2012), para poder calcular el coeficiente de escorrentía se tiene las siguientes condiciones como se muestra en la tabla 5.

Tabla 5*Consideraciones para calcular el coeficiente de escorrentía*

Cobertura Vegetal	Tipo de Suelo	Pendiente del Terreno				
		Pronunciada	Alta	Media	Suave	Despreciable
		> 50 %	> 20%	> 5%	> 1%	< 1%
Sin vegetación	Impermeable	0.80	0.75	0.70	0.65	0.60
	Semipermeable	0.70	0.65	0.60	0.55	0.50
	Permeable	0.50	0.45	0.40	0.35	0.30
Cultivos	Impermeable	0.70	0.65	0.60	0.55	0.50
	Semipermeable	0.60	0.55	0.50	0.45	0.40
	Permeable	0.40	0.35	0.30	0.25	0.20
Pastos, vegetación ligera	Impermeable	0.65	0.60	0.55	0.50	0.45
	Semipermeable	0.55	0.50	0.45	0.40	0.35
	Permeable	0.35	0.30	0.25	0.20	0.15
Hierba, grama	Impermeable	0.60	0.55	0.50	0.45	0.40
	Semipermeable	0.50	0.45	0.40	0.35	0.30
	Permeable	0.30	0.25	0.20	0.15	0.10
Bosques, densa vegetación	Impermeable	0.55	0.50	0.45	0.40	0.35
	Semipermeable	0.45	0.40	0.35	0.30	0.25
	Permeable	0.25	0.20	0.15	0.10	0.05

Nota. Extraído del MTC (2012, p. 50).

3.2.4 Estabilidad de taludes

La estabilidad de un talud depende en gran medida de la experiencia y de una investigación minuciosa del sitio. Los análisis de estabilidad de taludes se basan en suposiciones simplificadas debido a la complejidad de la realidad, ya que no es posible considerar todos los factores que pueden afectar la estabilidad de un talud (Budhu, 2010).

3.2.4.1 Factor de Seguridad

El factor de seguridad de los taludes se define como la relación entre la resistencia efectiva al corte del material en la pendiente y el esfuerzo cortante crítico que podría provocar el fallo en la superficie esperada (Suarez, 1998).

Según Suarez (1998), su manifestación se calcula con la siguiente una ecuación (13):

$$FS = \frac{\text{Resistencia al corte de terreno}}{\text{Esfuerzo cortante requerido para el equilibrio}} \dots \dots (13)$$

Según el (Reglamento Nacional de Edificaciones, 1997) se considera un factor de seguridad en condición estática de 1.50 y en condiciones Pseudoestáticas de 1.25, así mismo se cuenta con normativas que muestran el factor de seguridad como se muestra en la siguiente tabla 6.

Tabla 6

Factores de seguridad según condiciones estáticas y sísmicas

Normativa	Talud temporal		Talud permanente	
	Estática	Sísmica	Estática	Sísmica
AASHTO LRDF	1.33 - 1.53	1.10	1.33 - 1.53	1.10
NAVFAC-DM7	1.30 - 1.25	1.20 - 1.15	1.50	1.20 - 1.15
FHWA-NHI-11-032	-	1.10	-	1.10
CE-020	-	-	1.50	1.25

Nota. Extraído de (Valiente et al., 2015).

3.2.4.2 Métodos de Análisis de estabilidad de taludes

Según Budhu (2010), se emplean diversos métodos para determinar el factor de seguridad de los taludes, como se ilustra en la tabla 7.

Tabla 7*Métodos para el análisis de taludes*

Method	Assumption	Failure surface	Equilibrium equation satisfied	Solution by
Swedish method (fellenius, 1927)	Resultant of interslice forces is zero, $J_s = 0$	Circular	Moment	Calculator
Bishop's simplified method (Bishop, 1955)	E_i and E_{i+1} are collinear: $X_j - X_{j+1} = 0$, $J_s = 0$	Circular	Moment	Calculator
Bishop's method (Bishop, 1955)	E_i and E_{i+1} are collinear, $J_s = 0$	circular	Moment	Calculator / Computer
Morgenstern and Price (1965)	Relationship between E and X of the form $X = f(x)E$; $f(x)$ is a function = 1, is as scale, $J_s = 0$	Any shape	ALL	Computer
Spencer (1967)	Interslice forces are parallel; $J_s = 0$	Any shape	ALL	Computer
Bell's method (Bell, 1968)	Assumed normal stress distribution along Failure surface; $J_s = 0$	Any shape	ALL	Computer
Janbu (1973)	$X_j - X_{j+1}$ replaced by a correction factor, f_{oi} ; $J_s = 0$	Noncircular	Horizontal forces	Calculator
Sarma (1975)	Assumed distribution of vertical interslice forces; $J_s = 0$	Any shape	ALL	Computer

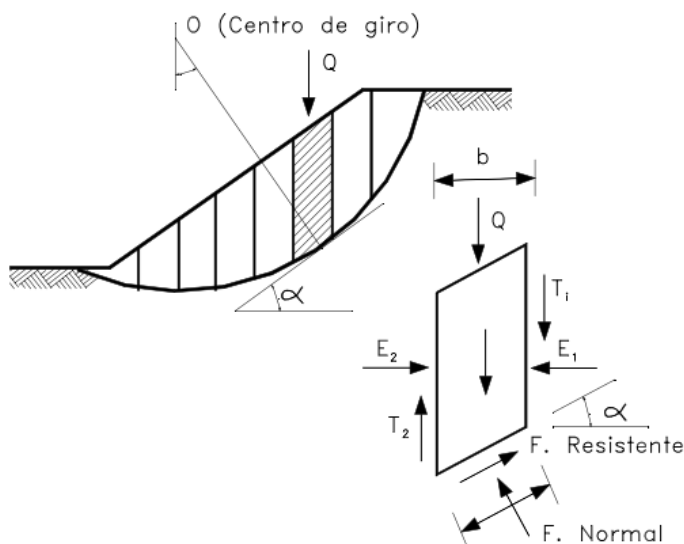
Nota. Extraído de Budhu (2010, p. 699).

A. Método ordinario o de Fellenius

Este método considera superficies de falla circulares y divide el área de falla en segmentos verticales, conocidos como dovelas o bloques. Luego, se calculan las fuerzas actuantes y resultantes para cada segmento y, finalmente, se estima el factor de seguridad (FS) mediante la suma de estas fuerzas (Suarez, 1998).

Figura 3

Esquema de las fuerzas que actúan sobre una dovela



Nota. Extraído de Suarez (1998, p. 154).

Para determinar por el método de Fellenius se calculará el factor de seguridad de la siguiente ecuación:

$$FS = \frac{\sum [C' \Delta l + (W \cos \alpha - u \Delta l \cos^2 \alpha) \tan \phi']}{\sum W \sin \alpha} \dots \dots \dots (13)$$

α = Corresponde al ángulo formado por el radio del círculo de falla con la vertical, tomado bajo el centroide en cada segmento.

w = Indica el peso total de cada segmento.

u = Simboliza la presión de poros, que se representa como $\gamma_w h_w$

Δl = Longitud del arco de círculo en la base del segmento.

C', ϕ' = Denotan los parámetros de resistencia del suelo.

3.2.5 Movimiento de masa

El movimiento de masas (MM) se define como cualquier movimiento de material rocoso o detritos hacia abajo, ya sea en dirección vertical o hacia la base de una pendiente, impulsado por la gravedad. La ocurrencia de un desplazamiento de masas presenta diversos

rasgos geomorfológicos y morfométricos característicos. Estos elementos morfológicos pueden estar asociados tanto con la masa desplazada como con el terreno intacto adyacente (Vargas, 2000).

3.2.5.1 Clasificación de Movimiento de masas

La clasificación de los movimientos de masa ha sido estandarizada internacionalmente en ocho categorías fundamentales, según señala (Vargas, 2000):

- Caídas
- Flujos
- Deslizamientos
- Volcamientos
- Propagación Lateral
- Hundimientos
- Reptación
- Movimientos Complejos
- Avenidas Torrenciales
- Avalanchas.

3.2.5.2 Remoción en masas

A. Deslizamientos

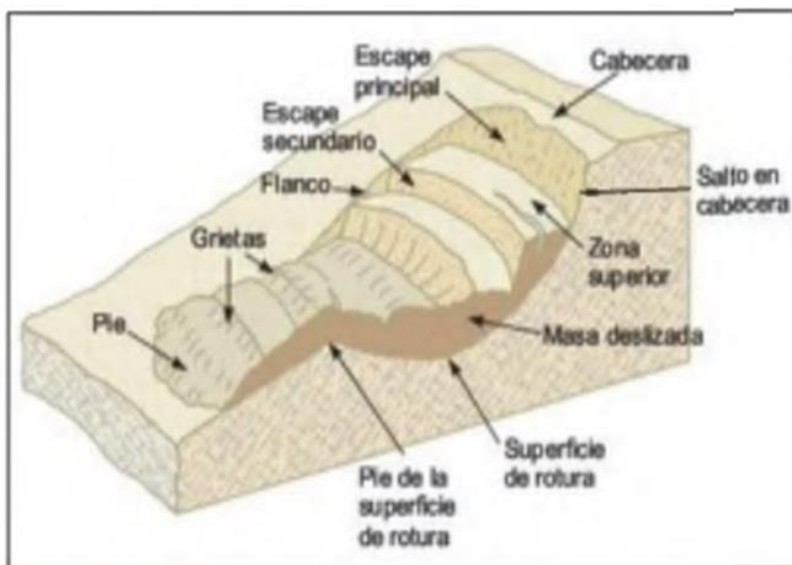
Los deslizamientos pueden ocurrir de diversas formas, ya sea de manera gradual o repentina, con o sin una causa evidente. Pueden ser provocados por actividades humanas como excavaciones o socavaciones de taludes, así como por procesos naturales como la desintegración del suelo y las infiltraciones de agua (Matteis, 2003).

B. Deslizamiento Rotacionales

Los deslizamientos rotacionales son más comunes en suelos cohesivos o homogéneos. La ruptura puede ocurrir en profundidad o en la superficie, y generalmente se produce a lo largo de superficies curvas. Una vez que comienza la inestabilidad, la masa comienza a girar, lo que resulta en un movimiento que a veces involucra bloques. Esto puede dar lugar a la formación de escalones en la superficie inclinada y grietas que crean estrías. Estas grietas pueden ser poco profundas o muy profundas, con un límite máximo de 10 (L. González et al., 2002).

Figura 4

Esquema de un deslizamiento rotacional y partes del mismo



Nota. Extraído de L. González et al. (2002, p. 625).

a) Deslizamiento Traslacional

La rotura se produce a lo largo de superficies planas de debilidad preexistentes. En ocasiones, este plano de rotura puede ser una capa delgada de material arcilloso entre estratos más duros. Estas rupturas suelen ser extensas y alcanzar grandes distancias, aunque no suelen ser muy profundas. Pueden ocurrir tanto en suelos como en rocas (L. González et al., 2002).

3.2.6 *Propiedades de la mecánica de suelos*

3.2.6.1 **Análisis Granulométrico**

Para La obtención del tamaño promedio de grano o distribución granulométrica en suelos de grano grueso, como gravas y arenas, se logra al pasar una cantidad medida de suelo a través de una serie de tamices de malla cada vez más fina. Esta técnica se utiliza para realizar un analizar el origen y las propiedades mecánicas de las partículas (Budhu, 2010), esto se puede representar mediante la tabla 8 y el diagrama de partículas en la figura 5.

Tabla 8

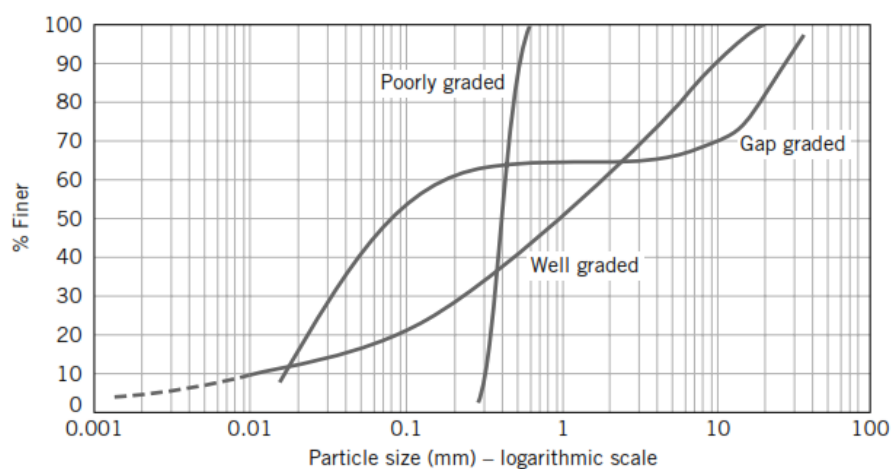
Representación del Análisis Granulométrico por tamiz

Designación ASTM	Abertura (mm)
3"	73
2 1/2"	60.3
2"	50.8
1 1/2"	38.1
1"	25.4
3/4"	19.05
1/2"	12.7
3/8"	9.525
N° 4	4.76
N° 10	2
N° 40	425 μm
N° 200	75 μm

Nota. Extraído de ASTM D422 (2007, p. 7).

Figura 5

Curva de distribución granulométrica



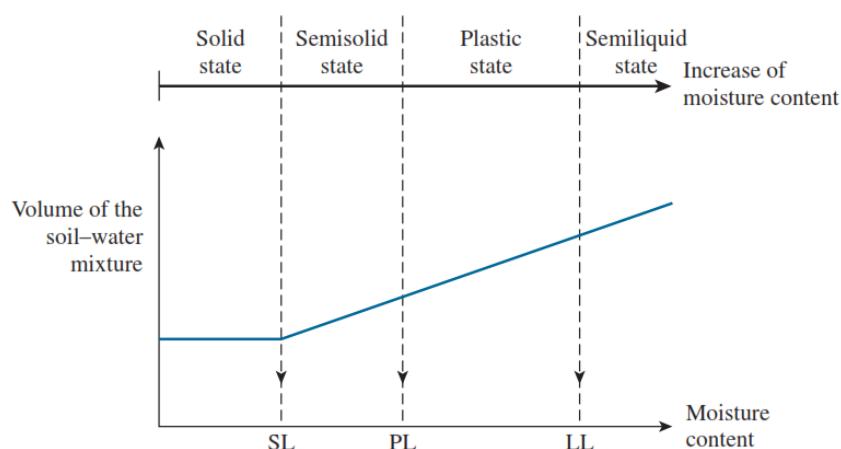
Nota. Extraído de Budhu, 2010 (p. 34).

3.2.6.2 Límites de consistencia

Los límites de Atterberg definen los niveles de humedad disponible para cada estado de suelo. Esta humedad es igual al contenido máximo de humedad del suelo y puede ser sólida, semisólida, plástica y líquida (Braja M., 2019). El cambio de consistencia se muestra en la figura 6.

Figura 6

Estados de consistencia por Atterberg



Nota. Extraído de límites de consistencia tomado de Braja M. (2019, p. 19).

A. Limite Liquido

Viene a ser la cantidad de agua, que se expresa en porcentaje, que tiene un suelo en el punto de transición entre los estados semilíquido y plástico (ASTM D4318, 2017).

B. Limite Plástico

Se define que cuando un suelo se encuentra en el punto de transición entre los estados plásticos y semisólido (ASTM D4318, 2017).

C. Indice de Plasticidad

El índice de plasticidad se define como el rango de contenido de agua en el cual un suelo muestra comportamiento plástico. Este se determina restando el límite líquido del límite plástico, según lo especifica el estándar ASTM D4318 (2017).

El índice de plasticidad se calcula con la siguiente ecuación (14):

$$IP = LL - PL \dots \dots (14)$$

IP: Índice de plasticidad

LL: Limite liquido

LP: Limite plastico

3.2.6.3 Clasificación de suelo

Se basa en el reconocimiento de tipos y prioridades de los componentes del suelo, teniendo en cuenta ciertos aspectos como el tamaño del grano, gradación y su compresibilidad (Braja M., 2019).

Según Braja M. (2019), se clasifica en:

– Suelos de granulometría gruesa

Estos suelos, en su estado natural, están compuestos principalmente por grava y arena, con menos del 50% pasando a través de un tamiz N°200.

– **Suelos de granulometría fina**

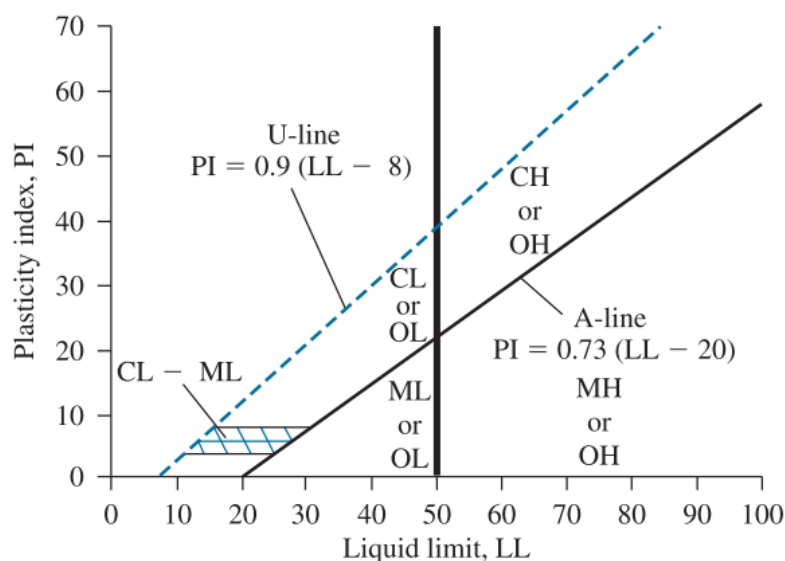
En estos suelos, más del 50% del material pasa a través del tamiz N°200.

Así mismo se puede demostrar los procedimientos para determinar las propiedades e identificar diferentes tipos de suelo (Murthy, 2003). Esto se puede mostrar en la tabla 9 la clasificación de suelos y también en la figura 7 la carta de plasticidad

Tabla 9*Clasificación de suelos*

Criteria for assigning group symbols and group names using laboratory tests					Soil Classification	
					Group Symbol	Group name
Coarse-grained Soil More than 50% retained on No. 200 sieve	Gravels More than 50% of coarse fraction retained on No. 4 sieve	Clean Gravels Less than 5% fines	$Cu \geq 4$ and $1 \leq Cc \leq 3$	GW	Well-graded gravel	
			$Cu < 4$ and/or $1 > Cc > 3$	GP	Poorly graded gravel	
		Gravels with Fines	Fines classify as ML or MH	GM	Silty gravel	
		More than 12% fines	Fines classify as CL or CH	GC	Clayey gravel	
	Sands 50% or more of coarse fraction passes No. 4 sieve	Clean Sands	$Cu \geq 6$ and $1 \leq Cc \leq 3$	SW	Well-graded sand	
		Less than 5% fines	$Cu > 6$ and/or $1 > Cc > 3$	SP	Poorly graded sand	
		Sand with Fines More than 12% fines	Fines classify as ML or MH	SM	Silty sand	
			Fines classify as CL or CH	SC	Clayey sand	
Fine-grained soil 50% or more passes the No. 200 sieve	Silts and Clays Liquid limit less than 50	Inorganic	$PI > 7$ and plots on or above “A” line	CL	Lean clay	
			$PI < 4$ or plots below “A” line	ML	Silt	
		Organic	Liquid limit — oven dried Liquid limit— not dried	< 0.75	OH	Organic clay
						Organic Silt
	Silts and Clays Liquid limit 50 or more	Inorganic	PI plots on or above “A” line	CH	Fat clay	
			PI plots below “A” line	MH	Elastic silt	
		Organic	Liquid limit — oven dried Liquid limit— not dried	< 0.75	OH	Organic clay
						Organic Silt
Highly organic soil		Primarily organic matter, dark in color, and organic odor			PT	Peat

Nota. Extraído de Braja M. (2019, p. 23).

Figura 7*Representación de la plasticidad*

Nota. Extraído de Braja M. (2019, p. 22).

3.2.6.4 Ensayo de Penetración Dinámica Ligera (DPL)

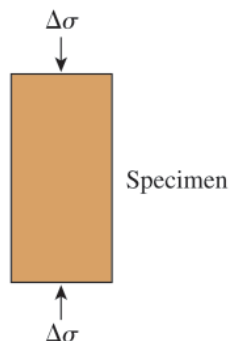
Es un método de auscultación utilizado en el análisis geotécnico de suelos para estimar su resistencia mediante el recuento de golpes. Consiste en un cono metálico de 35.7 mm de diámetro y 1.00 m de longitud, con una punta en ángulo de 60°. Para realizar el ensayo, se deja caer un martillo de acero de 10 kg desde una altura de 0.50 m, medida desde la parte superior del tambor de acero, con el objetivo de penetrar el suelo en tramos de 10 cm. El número total de golpes (Ndpl) se registra durante el ensayo (Ortiz, 2020).

3.2.6.5 Ensayo de resistencia a la compresión no confinado

Este ensayo nos permite determinar la resistencia a la compresión de una muestra de suelo sin confinar. Consiste en someter una probeta cilíndrica de suelo a un esfuerzo vertical con deformación controlada y medir la máxima carga que la muestra puede resistir. Este ensayo proporciona la capacidad de carga de materiales como suelo y rocas. (Braja M., 2019)., así mismo se muestra en la figura 8 como se realizado en respectivo ensayo.

Figura 8

Representación del ensayo de Resistencia de una muestra de suelo



Nota. Extraído de Braja M. (2019, p. 56)

Los cálculos necesarios para el ensayo son:

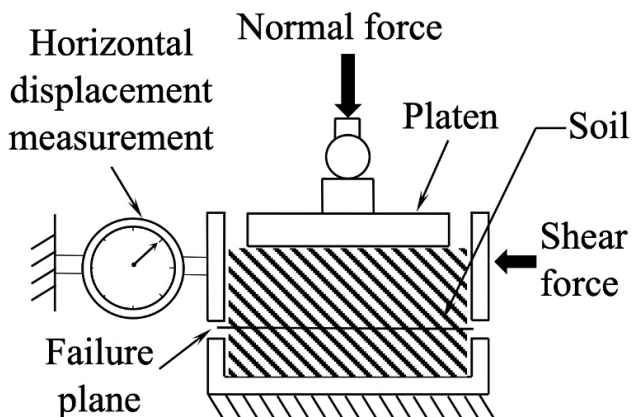
- **Deformación Vertical Unitaria:** Se calcula multiplicando la lectura por la calibración y dividiendo por la altura de la probeta.
- **Área corregida:** Se obtiene dividiendo el área inicial entre la diferencia de 1 y la deformación vertical unitaria.
- **Carga:** Es el resultado de multiplicar la lectura por la calibración del anillo y dividiendo por el área corregida.
- **Sensibilidad (S):** Se calcula dividiendo la carga obtenida en la probeta natural entre la carga en la probeta remodelada.

3.2.6.6 Ensayo de Corte Directo

Las pruebas de corte directo se utilizan a menudo para determinar la resistencia residual de suelos y arenas no cohesivos. Todavía queda arena. En esta prueba, primero se aplica el esfuerzo vertical al suelo y luego el esfuerzo cortante de modo que el plano de falla pase a través del suelo y se comprima horizontalmente. Luego se aplica una fuerza cortante, empujando la superficie de la falla horizontalmente a través del suelo. (Evans et al., 2022). En la figura 9 se representa la prueba del ensayo.

Figura 9

Ensayo de corte directo.

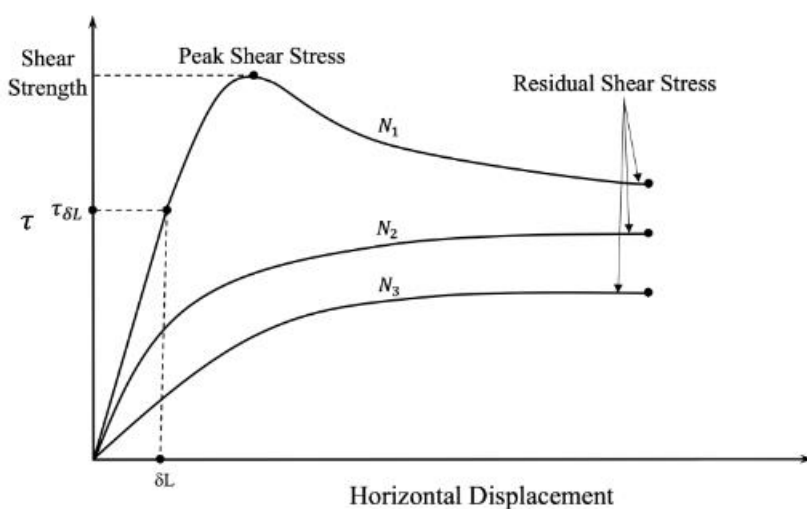


Nota. Tomado de Evans et al. (2022, p. 34)

Así mismo se muestra como los datos de la prueba se han reducido y representado gráficamente en la Figura 10, dividiendo la fuerza aplicada por el área de la muestra, se han convertido los datos de fuerza horizontal y vertical en tensión. Observe el cambio en el área de la muestra como resultado de la deformación horizontal.

Figura 10

Representación Gráfico de datos iniciales de corte directo



Nota. Tomado de Evans et al. (2022, p. 34)

3.3 Definición de términos

Infiltración: Viene a ser el movimiento del agua sobre y dentro la superficie del suelo causado por la gravedad y las fuerzas capilares (Aparicio, 1989).

Deslizamiento: Es el movimiento de una masa de suelo o roca, que se desplaza con respecto a la base y se desliza a lo largo de una o más superficies de fractura de la red cuando se excede la resistencia al corte de estas superficies. Las masas generalmente se mueven juntas durante su viaje y se comportan como una unidad (González et al., 2004).

Factor de Seguridad: Viene a ser la relación entre la resistencia última del suelo y la carga máxima que se espera aplicar es el factor de seguridad (Suarez, 1998).

Precipitación Pluvial: En la ingeniería hidrológica, las precipitaciones son la principal fuente de agua superficial, y su medición y análisis proporcionan un punto de partida para el estudio de los problemas de uso y control del agua (Villón, 2002).

Talud: El talud es una superficie inclinada que se encuentra en laderas de montañas, cortes de carreteras, terraplenes y otras estructuras. Puede ser natural o artificial (Braja M., 2019).

Conductividad Hidráulica: Se refiere la velocidad de flujo de agua a través de los poros del suelo. Esto depende de los factores como la estructura del suelo, contenido de humedad y porosidad y es crucial para poder comprender los procesos hidrológicos como el drenaje de suelos y la infiltración de agua (Forsythe, 1985).

Flujos: Se refiere al desplazamiento del agua a través de las capas permeables del suelo, como la arena y otros materiales (Villón, 2002).

Pendiente: La pendiente indica la inclinación del terreno respecto a un plano horizontal, medida en grados, porcentaje o relación de distancia horizontal al subir un pendiente (Suarez, 1998).

Peso unitario del suelo: El peso unitario del suelo es una propiedad fundamental que caracteriza la densidad y el comportamiento mecánico del suelo (Braja M., 2019).

Factores topográficos: Se refieren a los rasgos físicos y culturales del terreno, como las curvas de nivel, los elementos hidrográficos y las estructuras humanas, que describen la configuración del terreno (Gutierrez et al., 2023).

Ensayo DPL: Forma parte de una serie de pruebas realizadas in situ para estimar el ángulo de fricción interna de los suelos mediante el registro del número de golpes en un cono penetrómetro (Ortiz, 2020).

Ensayo de no confinado: En este ensayo, mide la resistencia a la compresión sin confinamiento, que representa la máxima carga que un suelo puede soportar sin deformarse o romperse. Utilizando este valor y la teoría de Mohr-Coulomb, se puede calcular la resistencia no drenada al corte (cohesión) del materia (Braja M., 2019).

IV Metodología

4.1 Tipo y nivel de investigación

Tipo de investigación

Es aplicada porque se enfoca en generar conocimientos que contribuyan a resolver problemas reales y específicos (C. Arias et al., 2020). Es así que no solo se busca generar conocimiento sobre la infiltración de agua, sino también ofrece soluciones viables que mejoren la seguridad y la durabilidad de la infraestructura vial.

Nivel o alcance de investigación

Este presente estudio se clasifica como descriptivo, ya que se enfoca en detallar las características de la población bajo estudio para comprender con mayor profundidad sus comportamientos y fenómenos tal como se presentan en su contexto natural (F. Arias, 2012). Por consiguiente, es investigación que sirve para identificar patrones y tendencias en el flujo de infiltración a lo largo del tiempo y en diferentes condiciones ambientales, siendo útil para comprender mejor la variabilidad de infiltración en la seguridad del talud.

Diseño de investigación

Esta investigación es no experimental, ya que se lleva a cabo sin alterar las variables, se basa en la observación en su forma real y registrando su información. Sin embargo, es transversal por que los datos que se tomarán serán en un tiempo determinado (Hernández et al., 2014). Por lo tanto, con esta investigación se observó y describió la relación entre estos fenómenos de infiltración y deslizamiento de taludes sin intervención directa.

4.2 Ámbito temporal y espacial

Ámbito temporal

En cuanto al desarrollo de esta investigación se llevó a cabo desde los inicios de enero de 2023 hasta diciembre de 2023, siendo un total de 12 meses de duración.

Ámbito Espacial

La investigación se llevó a cabo dentro de la ciudad de Abancay, en el Departamento de Apurímac. En particular, se centró en la carretera Emp. AP-647 (Dv. Atumpata), Aymas Alto - Quisa pata.

4.3 Población y muestra

Población

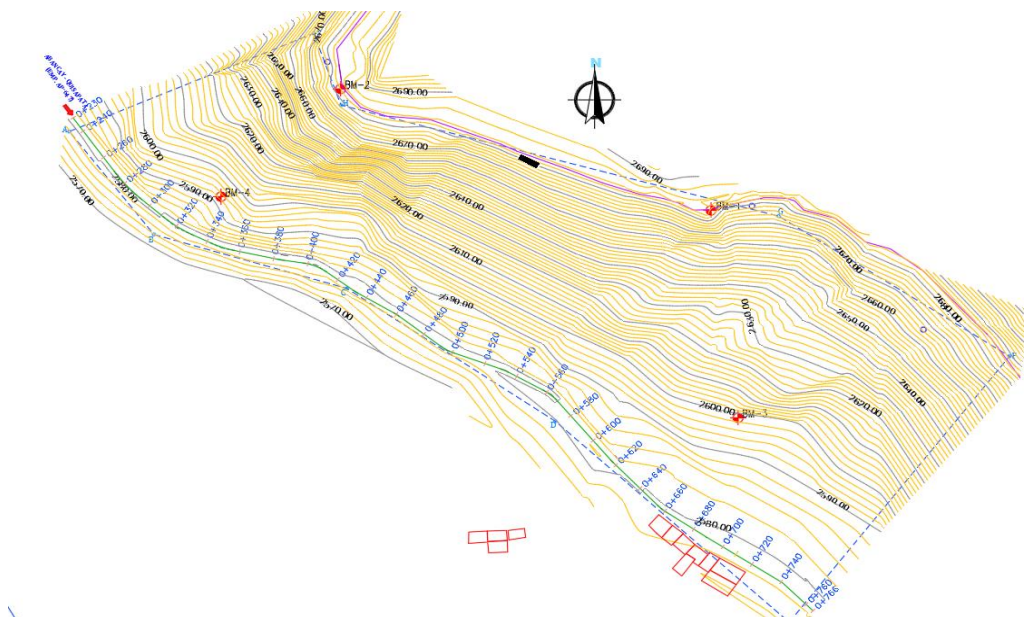
En la población, es necesario analizar todas las unidades que lo componen. Estas unidades, pueden ser cuantificadas, conforman una característica específica, sin embargo, abarcando la totalidad del fenómeno Tamayo (2004). Por lo que, la población de esta presente tesis está determinada por los taludes de la vía vecinal Emp. AP-647 del sector de Aymas alto.

Muestra

Una muestra se define como un subgrupo respecto de una población más amplia que se selecciona para ser un objeto de estudio, con el objetivo de reunir información (C. Arias et al., 2020), para este estudio la muestra está compuesta por un tramo de Km 00+230 - km 00+670, la elección de estas progresivas se debe a que el lugar se encuentra en la zona más crítica a la alta presencia de suelo finos, donde se identificó para el análisis cinco taludes.

Figura 11

Puntos de muestras del talud del sector Aymas Alto



Nota. Elaboración propia.

Muestreo

Para esta investigación se usó el muestreo no probabilístico por conveniencia. Este tipo de muestreo nos permite escoger según un criterio o juicio por el investigador (C. Arias et al., 2020), así mismo se realizaron mediante pozos de exploración de 2.50 m, el número de prospecciones a realizar la muestra fue de acuerdo (ASMTD420, 2018), esta norma nos permite realizar una evaluación de la estabilidad de taludes y permite tomar discreción de las muestras según el investigador.

Tabla 10

Cantidad de muestras por ensayo

Criterios de cuantificación	
Evaluación	Muestras
Estudio de infiltración	03 pruebas.
Propiedades de suelo	03 calicatas.
Ensayos de resistencia a la compresión	03 puntos.

Nota. Fuente elaboración propia.

4.4 Instrumentos

Esta investigación, hace necesario la recolección de datos de laboratorio, y que para efecto utilizaran como instrumento de recolección de información, ficha de observación y los protocolos de ensayos debidamente sustentado en base a los indicadores que evidenciaran los resultados. Las fichas de recolección de información de protocolos, será en la siguiente tabla 11.

Tabla 11

Representación para identificar las técnicas y recolección de muestras

Estudios	Técnicas	Instrumentos	Normativa
Propiedades de mecánica de suelos	Prospección en campo	Ensayo granulométrico	MTC E 107
		Límites de Atterberg	MTC E 110,111
		Resistencia de Compresión no confinada	NTP 339.167 ASTM D 2166
		Densidad de campo	NTP 339.143
		Peso Unitario	ASTM D-1556
		Contenido de humedad	MTC E 108
		Clasificación de suelos	ASTM D2487
		Penetración Dinámica Ligera (DPL)	DIN 4094
Estudio Topográfico	Recolección datos de campo	Corte Directo	ASTM D3080
		Estación total	Certificado de calibración de equipos
Estudio Hidrológico	Datos estadísticos	Precipitaciones máximas en 24 horas	Senamhi
Estudio de Permeabilidad	Prospección en campo	Coeficiente de Permeabilidad	MINVU 1996
Modelamiento	Análisis tecnológico	Excel	Software de Diseño
		AutoCAD 2021	
		Slide V6.0	
		Civil 3d 2021	

Nota. Elaboración propia.

4.5 Procedimientos

La técnica se realizó mediante la observación, lo cual consisten realizar una visualización del fenómeno, recolectar la información y tomar las respectivas muestras para luego realizar su análisis, esto nos garantiza tomar una información relevante y confiable para desarrollar el tema de investigación. Así mismo para la recolección de los datos se realizará mediante los siguientes procesos:

Primeramente, se procedió a realizar un reconocimiento para la identificación de los taludes más inestables que se encuentran en el sector de Aymas alto, para el análisis de estudio presenta un tramo de 00+230 Km – km 00+670, el tipo de vía es de trocha carrozable siendo la Dv. Atumpata.

Análisis del Estudio

a) Estudio topográfico

Se realizó el levantamiento topográfico que fueron realizado por una Estación Total, primeramente, antes de iniciar con el trabajo se realizaron la monumentación de cinco puntos de control BM's estos fueron colocados en puntos estratégicos en la zona del proyecto. Estos BM's han sido fijados en piedras grandes, muro de concreto.

El levantamiento topográfico fue realizado con la estación total Topcon ES-105. Luego de ello se inició con la toma de puntos con la ayuda de los puntos de control, esto nos permitió realizar el levantamiento del área de influencia del proyecto, y tomando como detalles la vía, canal de concreto existente, viviendas entre otras obras de arte. El método que se realizó para el levantamiento topográfico fue el método de la poligonal cerrada que tiene 9 vértices teniendo un área de 7.49 Ha y un perímetro de 1352.37 metros.

Así mismo se realizaron el procesamiento de datos en el Software “Civil 3D 2021” lo cual de estos datos tomados se pudieron generar las secciones transversales a cada 5

metros desde el eje de la vía de la progresiva Km 00+230 al km 00+670 de la vía Emp. AP-647 (Dv. Atumpata), estas secciones nos permitirán para realizar el análisis de estabilidad de taludes, luego de ello se realizaron los planos de planta, perfil y el plano de poligonal cerrada.

Instrumentos utilizados

- 01 estación total Topcon ES-105
- 03 prismas y 03 porta prismas
- 01 trípode
- 01 flexómetro de 5m
- 01 GPS Garmin 64s

b) Estudio de Mecánica de Suelos

Para la obtención de la información de las propiedades mecánicas de cada talud, en esta parte se realizaron la recolección de tres muestras de suelo por medio de calicatas, teniendo como dimensiones de 1.50 x 1.50 y con una profundidad de 2.50 metros, esto nos permite un muestreo más detallado brindando mejor apreciación de las características del suelo. Para luego realizar sus ensayos en laboratorio que son datos necesarios para el análisis como: Análisis granulométrico por tamizado, límites de Atterberg, contenido de humedad, gravedad especificada de los sólidos, Clasificación de suelo por los métodos SUCS Y AASHTO, Penetración dinámica Ligera (DPL), Ensayo de compresión no confinada, corte directo y así mismo el perfil estratigráfico.

c) Estudio Hidrológico

Se realizó el estudio hidrológico mediante los datos históricos de la estación de San Antonio que fueron recolectados por Autoridad Nacional del Agua “ANA”, lo cual se usaron datos precipitaciones máximas en 24 Horas desde un periodo desde 1987 hasta el 2021.

Primeramente, se realizó la detección de los datos dudosos por (Método Water Resources Council), con el fin que no exista datos erróneos, posterior a ello se realizó un ordenamiento de mayor a menos las precipitaciones para luego ser corregido por el factor de 1.13 que nos recomienda la OMM.

Posterior a ello se realizó un análisis estadístico en la prueba de bondad de ajuste, donde se utilizó la prueba de Smirnov - Kolmogorov, Esto nos permite evaluar el mayor valor de la distribución de probabilidad, que también se realizó con el apoyo del software de Hidrognomon, de estos cálculos realizados y mediante el Software el que más se ajusta fue Log Pearson III.

De los datos obtenidos nos permite determinar las precipitaciones máximas 24 Horas y también nos permite calcular las curvas IDF y las precipitaciones máximas mediante el método de Disk Peschke, luego de ello se realizó el hietograma del bloque interno para un periodo de retorno de 100 años del sector de Aymas alto

d) Estudio de permeabilidad

Para determinar la permeabilidad del terreno se utilizó por el método Porchet mediante la normativa (MINVU, 1996), este ensayo consiste en realizar una excavación de un orificio cilíndrico siendo su radio de 8.50 cm y una altura de 30 cm, el cual esto nos permite medir el descenso del nivel del agua dentro del orificio en correlación de un tiempo, este ensayo nos permite evaluar el coeficiente de permeabilidad y la tasa de infiltración, para la presente investigación se muestrearon tres ensayos.

Figura 12

Ensayo del método Porchet MINVU 1996



Nota. Como se aprecia en la imagen se puede observar la medición de la profundidad del ensayo realizado.

De los estudios realizados del estudio topográfico tenemos las secciones transversales, del estudio de mecánica de suelos nos brinda la información del Angulo de fricción, cohesión, peso unitario, Clasificación SUCS y AASHTO, Corte Directo y DPL nos permite identificar si existe nivel freático, respecto al estudio hidrológico nos permite calcular la intensidad y precipitaciones en diferentes periodos de retorno 50 y 100 años y por último el estudio de la permeabilidad del suelo en in-situ. Todos estos estudios nos permitieron realizar un análisis detallado para evaluar el factor de seguridad en condiciones estática y cuál es el efecto que tiene la infiltración para esto se utilizó el Software Slide V6.0.

4.6 Análisis de datos

Para el análisis se realizó mediante el procesamiento estadístico de los datos recopilados se realizó por medio de un análisis descriptivo, donde se comprobó la hipótesis

y se evaluó la significancia de las relaciones entre las variables de flujo de infiltración y los deslizamientos de taludes. Se usó una hoja de cálculo, donde se presentan el vaciado de las fichas de registro y los gráficos de líneas y barras de interpretación, elaborados en Microsoft Excel y SPSS para la comprobación de las hipótesis.

4.7 Consideraciones éticas

Los siguientes criterios se tomaron en cuenta para establecer y garantizar la calidad ética correspondiente al trabajo de investigación y asegurar una calidad de investigación que respete las normas, resultados que son validados por el laboratorio certificado que brindan calidad, como también aportara para el bien común de la sociedad.

V Resultados y discusión

5.1 Resultados del estudio

Estudio de Mecánica de Suelos

Para este presente estudio, se presenta el informe documentado que se detalla los siguientes resultados. Se llevó a cabo un reconocimiento del área del proyecto para evaluar el terreno, realizando un total de tres (03) calicatas al descubierto con el fin de analizar las características del subsuelo. En esta investigación, se siguió a los lineamientos de la norma técnica peruana CE.020 suelos y taludes y la norma ASTM D420, el cual nos permiten evaluar las características y condiciones del terreno.

Se presenta el sistema de exploración utilizado para evaluar las propiedades físicas y mecánicas del suelo del talud, junto con la ubicación de las muestras georreferenciadas, detalladas en la tabla 12 a continuación.

Tabla 12

Georreferenciación de puntos de investigación

Componente	Lado	Nº de	Profundidad	Coordenadas	
		Muestras	(m)	Este (M)	Norte (M)
TALUD	Derecho	C - 01	2.50	732,018.69	8'490,430.78
TALUD	Derecho	C - 02	2.50	731,927.92	8'490,503.84
TALUD	Derecho	C - 03	2.50	731,688.65	8'490,599.83

Nota. En el cuadro nos representa las cantidades de muestras recolectadas donde se realiza a una prospección de 2.50 m, así mismo, según la norma (MTC, 2016) menciona que las profundidades deberán ser al menos 1.50 m, lo cual se realizado a mayor profundidad para tener una mejor caracterización del tipo de material.

A. Análisis granulométrico

Este modo de operación detalla el procedimiento para determinar los porcentajes de suelo que pasan a través de los diferentes tamices utilizados en el ensayo, hasta alcanzar el tamiz de 74 mm (N° 200). Esta metodología permite cuantificar la distribución de tamaños de partículas del suelo, lo que posibilita su clasificación. Los resultados obtenidos se presentan en las siguientes tablas para su referencia.

Tabla 13

Distribución Granulométrica Calicata 01

Tamiz		% Retenido	% Retenido Acumulado	% Pasa
(Pulg.)	(mm)			
3"	76.200	0.00	0.00	100.00
2 1/2"	63.500	0.00	0.00	100.00
2"	50.800	0.00	0.00	100.00
1 1/2"	38.100	5.36	5.36	94.64
1"	25.400	8.24	13.60	86.40
3/4"	19.000	3.26	16.86	83.14
1/2"	12.700	5.37	22.23	77.77
3/8"	9.510	3.36	25.58	74.42
1/4"	6.350	4.85	30.43	69.57
#4	4.760	4.92	35.35	64.65
#10	2.000	15.52	50.87	49.13
#20	0.840	13.03	63.90	36.10
#30	0.590	4.21	68.12	31.88
#40	0.420	5.50	73.62	26.38
#60	0.250	4.21	77.83	22.17
#100	0.149	4.32	82.15	17.85
#200	0.074	3.94	86.09	13.91
Pasa # 200		13.91		

Nota. El cuadro representa a los resultados de la prueba correspondiendo al análisis de la distribución granulométrico, donde se representa el porcentaje que pasa y el retenido por la

mallá # 200, esta muestra se representa por la calicata 01, este análisis se realizó bajo la norma MTC E 107 método por tamizado.

Tabla 14

Clasificación de la muestra de suelo calicata 01

CLASIFICACIÓN DEL SUELO C-1	
Clasificación por el método SUCS (ASTM D2487)	SM
Clasificación por el método AASHTO (ASTM D3282)	A-2-6(0)
Nombre del Grupo	Arena Limosa con Grava de Mediana Plasticidad
<i>Nota.</i> La tabla presenta la clasificación actual para la calicata C-1, con un valor correspondiente a (SM) según la clasificación SUCS y (A-2-6) de acuerdo con la clasificación AASHTO, que indica la categoría de Arena Limosa.	

Tabla 15

Distribución Granulométrica Calicata 02

Tamiz		% Retenido	% Retenido Acumulado	% Pasa
(Pulg.)	(mm)			
3"	76.200	0.00	0.00	100.00
2 1/2"	63.500	0.00	0.00	100.00
2"	50.800	0.00	0.00	100.00
1 1/2"	38.100	6.75	6.75	93.25
1"	25.400	1.51	8.26	91.74
3/4"	19.000	4.03	12.29	87.71
1/2"	12.700	4.02	16.31	83.69
3/8"	9.510	2.64	18.95	81.05
1/4"	6.350	4.92	23.87	76.13
#4	4.760	3.68	27.54	72.46
#10	2.000	13.49	41.03	58.97
#20	0.840	15.26	56.29	43.71
#30	0.590	4.22	60.51	39.49
#40	0.420	6.34	66.85	33.15

#60	0.250	5.11	71.96	28.04
#100	0.149	5.22	77.18	22.82
#200	0.074	5.08	82.26	17.74
Pasa # 200		17.74		

Nota. Del cuadro mostrado nos representa la prueba del análisis de la distribución granulométrico, donde se representa el porcentaje que pasa y el retenido por la malla # 200, esta muestra se representa por la calicata 02, este análisis se realizó bajo la norma MTC E 107 método por tamizado.

Tabla 16

Clasificación de la muestra de suelo calicata 02

CLASIFICACIÓN DEL SUELO C-2	
Clasificación por el método SUCS (ASTM D2487)	SC-SM
Clasificación por el método AASHTO (ASTM D3282)	A-1-b (0)
Nombre del Grupo	Arena Arcilloso-Limosa con Grava de Mediana Plasticidad

Nota. La tabla presenta la clasificación actual para la calicata C-2. Según la clasificación SUCS, tiene un valor de (SC-SM), mientras que según la clasificación AASHTO es (A-1-b), lo que indica una clasificación de doble grupo, siendo Arena Limosa-Limosa.

Tabla 17

Distribución Granulométrica Calicata 03

Tamiz		% Retenido	% Retenido Acumulado	% Pasa
(Pulg.)	(mm)			
3"	76.200	0.00	0.00	100.00
2 1/2"	63.500	0.00	0.00	100.00
2"	50.800	0.00	0.00	100.00
1 1/2"	38.100	0.00	0.00	100.00
1"	25.400	1.50	1.50	98.50
3/4"	19.000	0.63	2.14	97.86
1/2"	12.700	2.33	4.47	95.53
3/8"	9.510	1.62	6.08	93.92
1/4"	6.350	4.87	10.95	89.05
#4	4.760	6.23	17.18	82.82

#10	2.000	22.11	39.28	60.72
#20	0.840	20.15	59.44	40.56
#30	0.590	5.82	65.26	34.74
#40	0.420	8.55	73.82	26.18
#60	0.250	6.06	79.87	20.13
#100	0.149	5.43	85.30	14.70
#200	0.074	4.30	89.61	10.39
Pasa #200		10.39		

Nota. Del cuadro mostrado nos representa la prueba del análisis de la distribución granulométrico, donde se representa el porcentaje que pasa y el retenido por la malla # 200, esta muestra se representa por la calicata 03, este análisis se realizó bajo la norma MTC E 107 método por tamizado.

Tabla 18

Clasificación de la muestra de suelo calicata 03

CLASIFICACIÓN DEL SUELO C-3	
Clasificación por el método SUCS (ASTM D2487)	SP-SM
Clasificación por el método AASHTO (ASTM D3282)	A-2-6(0)
Nombre del Grupo	Arena Mal Gradada con Limo con Grava de Mediana Plasticidad

Nota. La tabla presenta la clasificación actual para la calicata C-3. Según la clasificación SUCS, tiene un valor de (SP-SM), mientras que según la clasificación AASHTO es (A-2-6), lo que indica una clasificación de doble grupo, siendo Arena Mal Gradada con Limo con Grava.

Tabla 19

Clasificación de la muestra de suelo calicata 03

CLASIFICACIÓN DEL SUELO C-3	
Clasificación por el método SUCS (ASTM D2487)	SC-SM
Clasificación por el método AASHTO (ASTM D3282)	A-1-b (0)
Nombre del Grupo	Arena Arcilloso-Limosa con Grava de Mediana Plasticidad

Nota. La tabla exhibe la clasificación actual de la calicata C-3. Según la clasificación SUCS, tiene un valor de (SC-SM), mientras que según la clasificación AASHTO es (A-1-b), lo que indica una clasificación de doble grupo, siendo Arena Arcilloso-Limosa.

B. Límites de Atterberg, Humedad

Estos métodos operativos determinan el peso de agua absorbida, secando el suelo húmedo hasta un peso constante en un horno controlado a 110 ± 5 °c. El peso del suelo que permanece del secado, representa el peso de las partículas sólidas. La pérdida de peso debido al secado es considerada como el peso del agua. El resultado se muestra en la siguiente tabla 20.

Tabla 20

Resumen análisis del contenido de humedad C1-C3

Límites De Atterberg, Humedad						
Identificación			Límites De Plasticidad			Humedad Natural
Elemento	Nº de Calicata	Estrato	LL %	LP %	IP %	W %
TALUD	C-1	E – 02	37.9	26.9	11.1	4.23
TALUD	C-2	E – 02	22.9	16.7	6.2	5.72
TALUD	C-3	E – 02	38.1	25.6	12.5	5.32

Nota. En la tabla se puede observar los resultados de las tres calicatas muestras donde nos representa de cada calicata su respectivo valor de los límites de consistencia que fue ensayado según la normativa del MTC E-110, MTC E-111 y el ASTM D 4318 y para el ensayo del contenido de humedad ASTM D2216.

C. Perfil estratigráfico de cada calicata

Así mismo se muestra los perfiles de los suelos de las tres calicatas realizadas durante la ejecución del proyecto que se muestran en las siguientes tablas.

Tabla 21*Representación del perfil estratigráfico (C-01)*

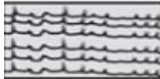
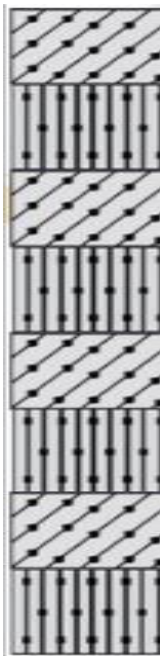
Análisis de Flujo de Infiltración en los Deslizamientos de Taludes en Aymas Alto - Abancay, Apurímac 2023					C - 01
Profundidad (M)	Espesor	Clasificación	Símbolo	Descripción de la Muestra	Observaciones
</					

Nota. Elaboración propia.**Figura 13**

Calicata 01

*Nota.* Perfil estratigráfico de la calicata 01.

Tabla 22*Representación del perfil estratigráfico (C-2)*

Análisis de Flujo de Infiltración en los Deslizamientos de Taludes en Aymas Alto - Abancay, Apurímac 2023						C - 02
Profundad Ad (M)	Espesor	Clasificación	Símbolo	Descripción de la Muestra	Observaciones	
	0.00	0.30		PT: material altamente orgánico		
	0.10					
	0.20					
	0.30	2.20		Tipo de suelo: SC-SM (Arena Arcilloso-Limosa con Grava de Mediana Plasticidad, Color Gris Verdusco). Distribuido de partículas del suelo: % Finos = 17.7 % Arenas = 54.7 %Gravas = 27.5 Límites de Atterberg: LL = 22.9 % LP= 16.7% IP = 6.2%		
	0.40					
	0.50					
	0.60					
	0.70					
	0.80					
	0.90					
	1.00					
	1.10					
	1.20					
	1.30					
	1.40					
	1.50					
	1.60					
	1.70					
	1.80					
	1.90					
	2.00					
	2.10					
	2.20					
	2.30					
	2.40					
	2.50					
						Tipo de excavación: MANUAL Prof. de excavación: 2.50 m Nivel Freático: NO PRESENTA

Nota. Elaboración propia.**Figura 14***Calicata 02**Nota.* Perfil estratigráfico Calicata 02.

Tabla 23*Representación del perfil estratigráfico (C-3)*

Análisis de Flujo de Infiltración en los Deslizamientos de Taludes en Aymas Alto - Abancay, Apurímac 2023						C - 03
Profundidad (M)	Espesor	Clasificación	Símbolo	Descripción de la Muestra	Observaciones	
0.00	0.30	SUCS		PT: material altamente orgánico		
0.10						
0.20						
0.30	2.20			Tipo de suelo: SP-SM (Arena Mal Gradada con Limo con Grava de Mediana Plasticidad, Color Marrón). Distribuido de partículas del suelo: % Finos = 10.4 % Arenas = 72.4 % Gravas = 17.2 Límites de Atterberg: LL = 38.1 % LP= 25.6 % IP = 12.5 %	Tipo de excavación: MANUAL Prof. de excavación: 2.50 m Nivel Freático: NO PRESENTA	
0.40						
0.50						
0.60						
0.70						
0.80						
0.90						
1.00						
1.10						
1.20						
1.30						
1.40						
1.50						
1.60						
1.70						
1.80						
1.90						
2.00						
2.10						
2.20						
2.30						
2.40						
2.50						

Nota. Elaboración propia.

Figura 15*Calicata 03*

Nota. Perfil estratigráfico Calicata 03.

D. Resistencia a la compresión no confinada del suelo

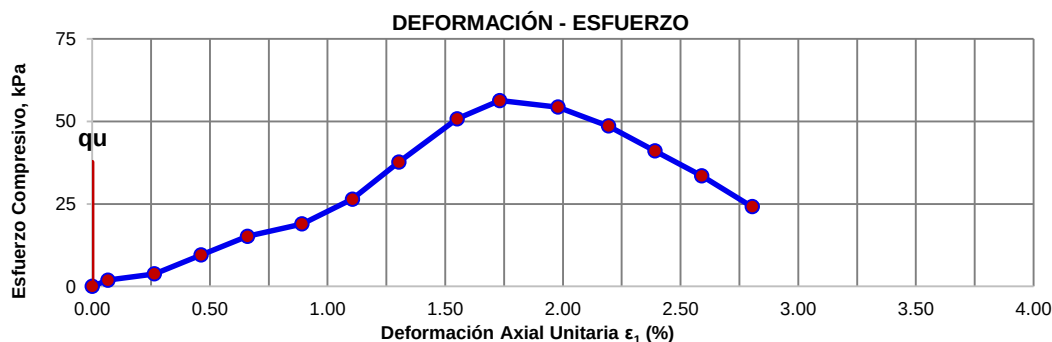
En este ensayo se basa en la descripción del procedimiento seguido en el ensayo, incluyendo la preparación de las muestras, el equipo utilizado y las condiciones de carga aplicadas a las que fueron sometidas las muestras de suelo.

Tabla 24

Resistencia de Muestra - C1

Carga Aplicada		Deformación (Plg)	Deformación Axial Unitaria E_1 (%)	Área De La Sección Transversal Media, A (Cm ²)	Esfuerzo Compresivo, Σ_c	
Lbf	Kgf				Kg/Cm ²	Kpa
0	0	0	0	46.57	0	0
2	0.91	0.004	0.07	46.6	0.02	2
4	1.81	0.016	0.26	46.69	0.04	4
10	4.54	0.028	0.46	46.78	0.1	10
16	7.26	0.04	0.66	46.88	0.15	15
20	9.07	0.054	0.89	46.98	0.19	19
28	12.7	0.067	1.11	47.09	0.27	26
40	18.14	0.079	1.3	47.18	0.38	38
54	24.49	0.094	1.55	47.3	0.52	51
60	27.22	0.105	1.73	47.39	0.57	56
58	26.31	0.12	1.98	47.51	0.55	54
52	23.59	0.133	2.19	47.61	0.5	49
44	19.96	0.145	2.39	47.71	0.42	41
36	16.33	0.157	2.59	47.8	0.34	33
26	11.79	0.17	2.8	47.91	0.25	24
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN NO CONFINADA qu					0.38	38

Nota. Extraído de ficha de registro – Lunix ingenieros.

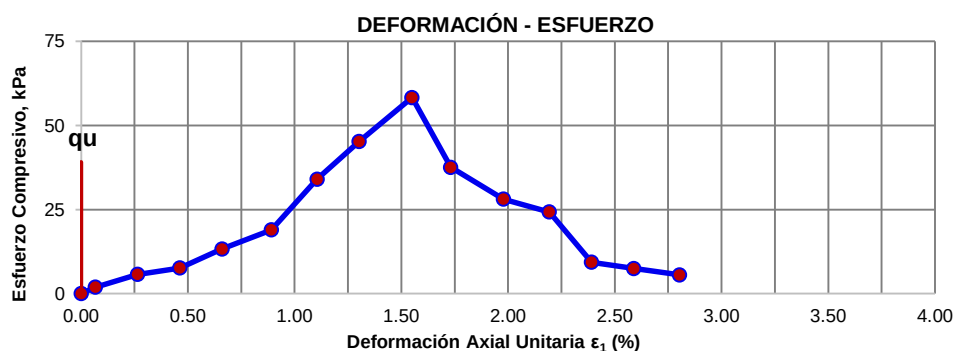
Figura 16*Grafica de resistencia máxima – C1**Nota.* Extraído de ficha de registro – Lunix ingenieros

En la figura 15 se muestran la máxima resistencia a la compresión es de 0.57 kg/cm², cuya deformación axial de la muestra 1 resulta ser de 1.73% y obteniendo una cohesión 1.90 Tn/m², para estos ensayos se tomó en consideración la norma ASTM D 2166.

Tabla 25*Resistencia de Muestra – C2*

Carga Aplicada		Deformación (Plg)	Deformación Axial Unitaria ϵ_1 (%)	Área de la Sección Transversal Media, A (Cm ²)	Esfuerzo Compresivo, Σ_c	
lbf	kgf				kg/cm ²	kPa
0	0	0	0	46.57	0	0
2	0.91	0.004	0.07	46.6	0.02	2
6	2.72	0.016	0.26	46.69	0.06	6
8	3.63	0.028	0.46	46.78	0.08	8
14	6.35	0.040	0.66	46.88	0.14	13
20	9.07	0.054	0.89	46.98	0.19	19
36	16.33	0.067	1.11	47.09	0.35	34
48	21.77	0.079	1.3	47.18	0.46	45
62	28.12	0.094	1.55	47.30	0.59	58
40	18.14	0.105	1.73	47.39	0.38	38
30	13.61	0.120	1.98	47.51	0.29	28
26	11.79	0.133	2.19	47.61	0.25	24
10	4.54	0.145	2.39	47.71	0.10	9
8	3.63	0.157	2.59	47.80	0.08	7
6	2.72	0.17	2.80	47.91	0.06	6
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN INCONFINADA q_u					0.4	39

Nota. Extraído de ficha de registro – Lunix ingenieros.

Figura 17*Grafica de resistencia máxima – C2*

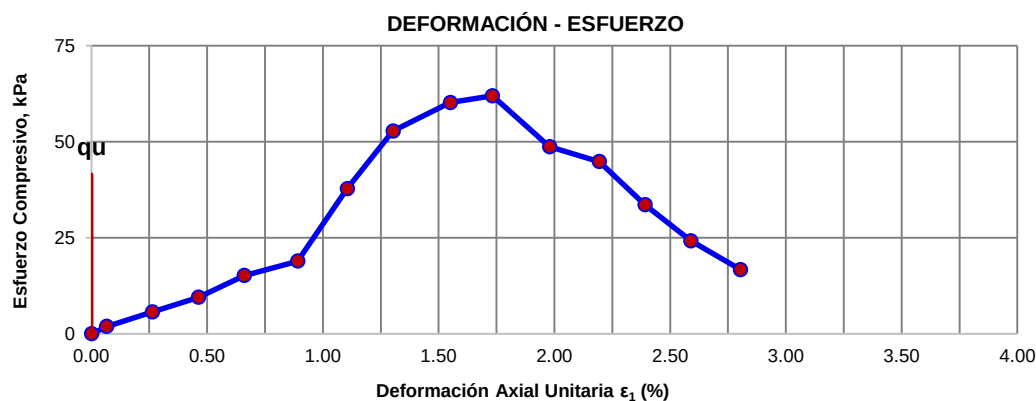
Nota. Extraído de ficha de registro – Lunix ingenieros.

En la figura 17 se muestra la máxima resistencia a la compresión es de 0.59 kg/cm² y cuya deformación axial de la muestra 2 que resulta ser de 1.55% y teniendo una cohesión 2.00 Tn/m², para estos ensayos se tomó en consideración la norma ASTM D 2166.

Tabla 26*Resistencia de Muestra – C3*

Carga Aplicada		Deformación (Plg)	Deformación Axial Unitaria E_1 (%)	Área de la Sección Transversal Media, A (Cm ²)	Esfuerzo Compresivo, Σ_c	
Lbf	Kgf				Kg/Cm ²	Kpa
0	0	0	0	46.57	0	0
2	0.91	0.004	0.07	46.6	0.02	2
6	2.72	0.016	0.26	46.69	0.06	6
10	4.54	0.028	0.46	46.78	0.1	10
16	7.26	0.04	0.66	46.88	0.15	15
20	9.07	0.054	0.89	46.98	0.19	19
40	18.14	0.067	1.11	47.09	0.39	38
56	25.4	0.079	1.3	47.18	0.54	53
64	29.03	0.094	1.55	47.3	0.61	60
66	29.94	0.105	1.73	47.39	0.63	62
52	23.59	0.12	1.98	47.51	0.5	49
48	21.77	0.133	2.19	47.61	0.46	45
36	16.33	0.145	2.39	47.71	0.34	34
26	11.79	0.157	2.59	47.8	0.25	24
18	8.16	0.17	2.8	47.91	0.17	17
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN NO CONFINADA qu					0.4	39

Nota. Extraído de ficha de registro – Lunix ingenieros.

Figura 18*Grafica de resistencia máxima – C3*

Nota. Extraído de ficha de registro – Lunix ingenieros.

En la figura 18 se muestran la máxima resistencia a la compresión es de 0.63 kg/cm², cuya deformación axial de la muestra 3 resulta ser de 1.73% y teniendo una cohesión 2.10 Tn/m², para estos ensayos se tomó en consideración la norma ASTM D 2166.

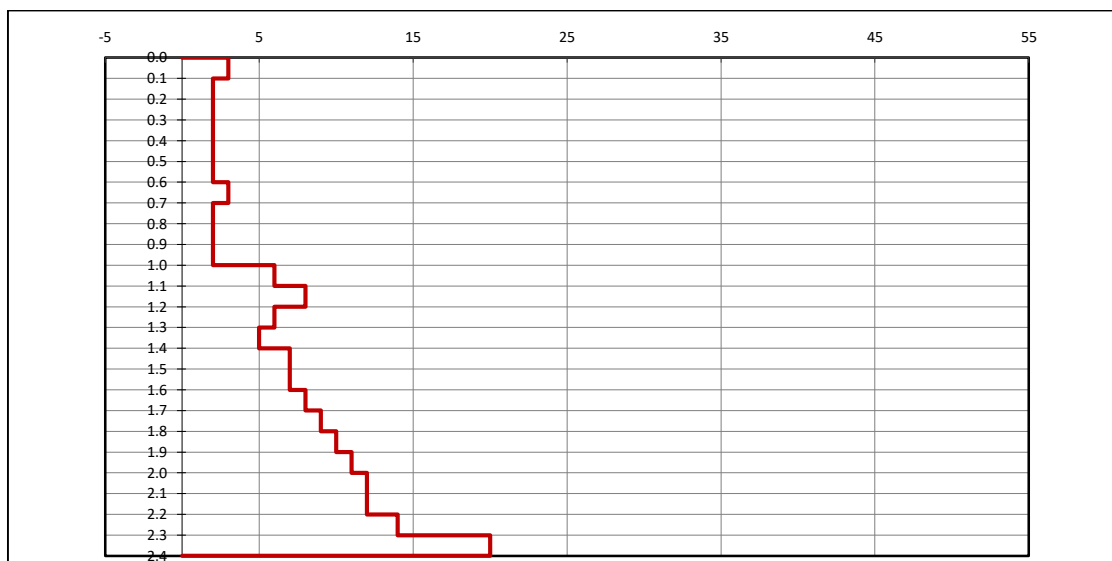
E. Ensayo de Penetración Dinámica Ligera (DPL)

Este método de trabajo indirecto, permitió estimar la resistencia de los suelos a través del número de golpes mediante un cono metálico, introducido a una profundidad 2.40 m en el terreno. Los resultados obtenidos son los siguientes.

Tabla 27*Resultados DPL – C1*

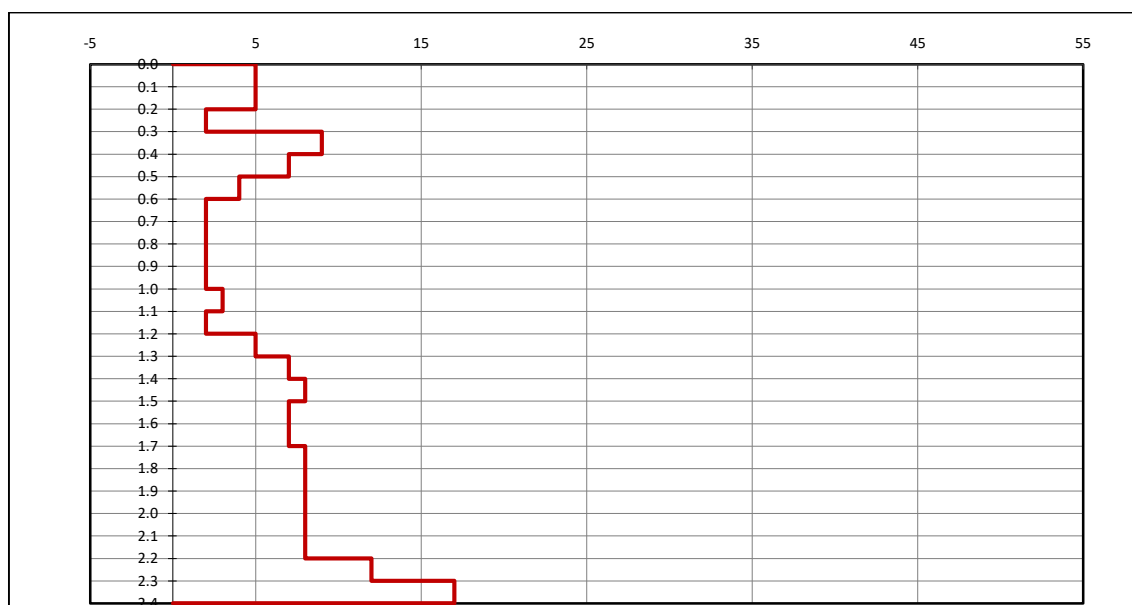
Profundidad m	Nº de golpes SPT	Corrección por N. F.	Corrección por Eficiencia	Corrección por Longitud	Corrección por Diámetro	Angulo de Fricción
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.30	1.85	1.85	1.39	1.04	1.04	19.57
0.60	1.59	1.59	1.19	0.89	0.89	19.23
0.90	1.85	1.85	1.39	1.04	1.04	19.57
1.20	4.24	4.24	3.18	2.38	2.38	21.9
1.50	4.77	4.77	3.57	2.68	2.68	22.32
1.80	6.35	6.35	4.77	3.57	3.57	23.45
2.10	8.74	8.74	6.55	4.91	4.91	24.91
2.40	12.18	12.18	9.13	6.85	6.85	26.70

Nota. Extraído de ficha de registro – Lunix ingenieros.

Figura 19*Gráfico de escala de penetración – C1**Nota.* Extraído de ficha de registro – Lunix ingenieros.**Tabla 28***Resultados DPL – C2*

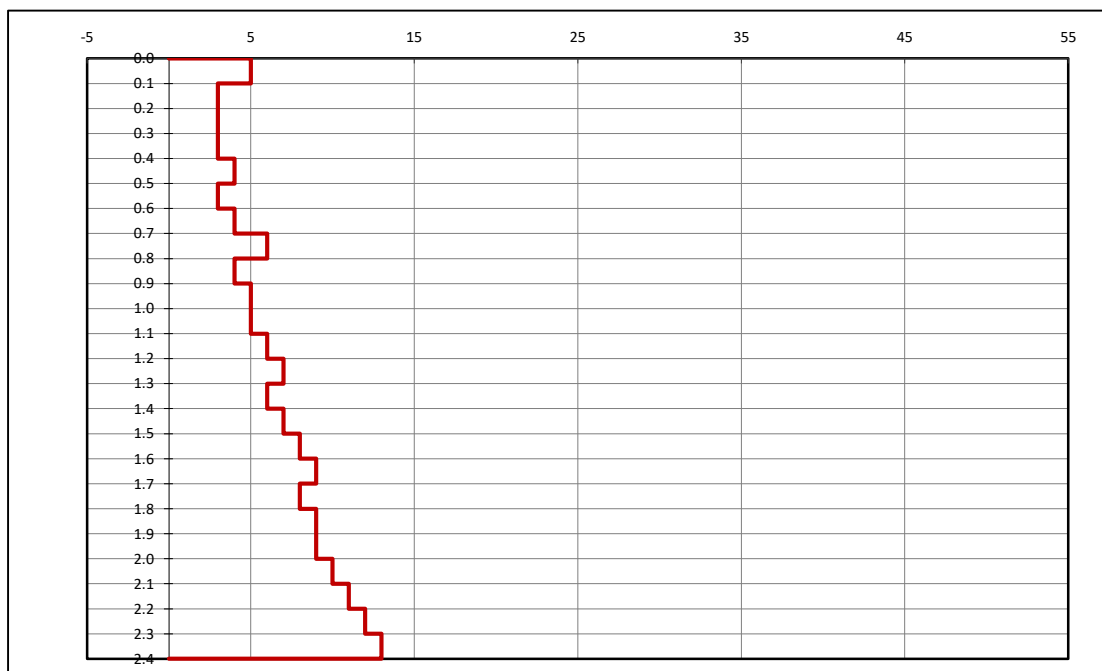
Profundidad m	Nº de golpes SPT	Corrección por N. F.	Corrección por eficiencia	Corrección por longitud	Corrección por diámetro	Angulo de fricción
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.30	3.18	3.18	2.38	1.79	1.79	20.98
0.60	5.29	5.29	3.97	2.98	2.98	22.72
0.90	1.59	1.59	1.19	0.89	0.89	19.23
1.20	1.85	1.85	1.39	1.04	1.04	19.57
1.50	5.29	5.29	3.97	2.98	2.98	22.72
1.80	5.82	5.82	4.37	3.28	3.28	23.09
2.10	6.35	6.35	4.77	3.57	3.57	23.45
2.40	9.79	9.79	7.35	5.51	5.51	25.50

Nota. Extraído de ficha de registro – Lunix ingenieros.

Figura 20*Gráfico de escala de penetración – C2**Nota.* Extraído de ficha de registro – Lunix ingenieros.**Tabla 29***Resultados DPL – C3*

Profundidad m	Nº de golpes SPT	Corrección por N. F.	Corrección por eficiencia	Corrección por longitud	Corrección por diámetro	Angulo de fricción
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.30	2.91	2.91	2.18	1.64	1.64	20.72
0.60	2.65	2.65	1.99	1.49	1.49	20.46
0.90	3.71	3.71	2.78	2.08	2.08	21.46
1.20	4.24	4.24	3.18	2.38	2.38	21.90
1.50	5.29	5.29	3.97	2.98	2.98	22.72
1.80	6.62	6.62	4.96	3.72	3.72	23.63
2.10	7.41	7.41	5.56	4.17	4.17	24.13
2.40	9.53	9.53	7.15	5.36	5.36	25.35

Nota. Extraído de ficha de registro – Lunix ingenieros.

Figura 21*Gráfico de escala de penetración – C3**Nota.* Extraído de ficha de registro – Lunix ingenieros.**F. Ensayo de densidad de campo**

Para este ensayo se consideró en método de cono de área que esto fue realizado en in-situ de cada muestra obtenida, de estos resultados se tomó en cuenta las normas técnicas peruanas y la normas American Society for Testing and Materials “ASTM”, lo cual estos resultados se ven reflejados en la tabla 30.

Tabla 30*Resultados de los ensayos de Densidad y Peso Unitario*

Elemento	Nº de Calicata	Peso Volumétrico Natural (Tn/m3)	Peso Volumétrico Natural Seco (Tn/m3)
Talud	C-1	1.55	1.49
Talud	C-2	1.50	1.43
Talud	C-3	1.51	1.43

Nota. Extraído de ficha de registro – Lunix ingenieros.

G. Ensayo de Corte Directo

Así mismo se realizó el ensayo de corte directo, para poder determinar la resistencia de corte de una masa de suelo, donde genera esfuerzos normales y cortantes sobre una superficie de corte, lo cual al aumentar el esfuerzo cortante, se puede evaluar el desplazamiento y el esfuerzo de una masa de suelo hasta que se genere una falla, gracias a ello este ensayo nos permite obtener ciertos parámetros como la cohesión y el ángulo de fricción interna, lo cual es ideal para la presente investigación, estos resultados se verá reflejado en los siguientes cuadros.

Tabla 31

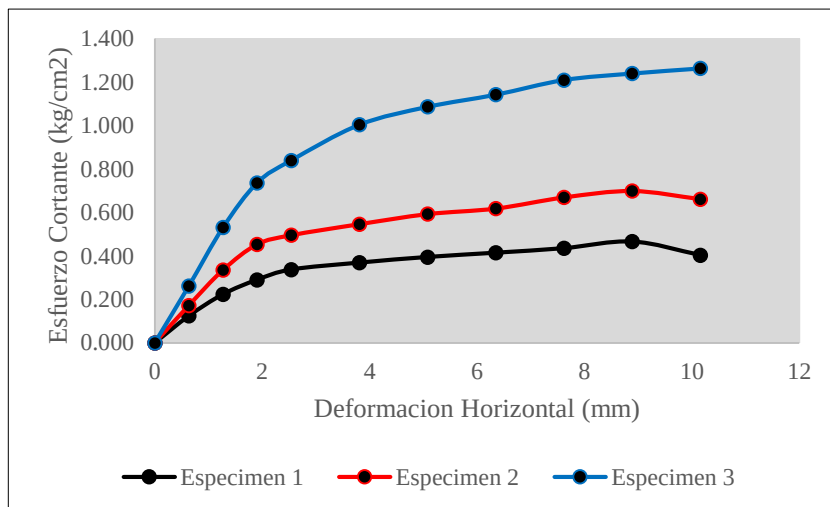
Resultados del espécimen de muestreo de la calicata 01

		Espécimen 01		Espécimen 02		Espécimen 03	
Peso normal (kg)		15.30		30.60		61.20	
Esfuerzo normal (kg/cm²)		0.624		1.248		2.577	
Deformación horizontal (pulg/mm)	Area corregida (cm²)	Carga (N)	Esf. Corte (kg/cm²)	Carga (N)	Esf. Corte (kg/cm²)	Carga (N)	Esf. Corte (kg/cm²)
0.000//0.000	29.996	0	0.000	0	0.000	0	0.000
0.025//0.635	29.604	32	0.110	50	0.172	72	0.248
0.05//1.27	29.211	58	0.202	96	0.335	144	0.503
0.075//1.905	28.819	74	0.262	128	0.453	198	0.701
0.1//2.54	28.427	84	0.301	138	0.495	222	0.796
0.15//3.81	27.643	90	0.332	148	0.546	258	0.952
0.2//5.08	26.860	94	0.357	156	0.592	272	1.033
0.25//6.35	26.079	96	0.375	158	0.618	278	1.087
0.3//7.62	25.299	98	0.395	166	0.669	284	1.145
0.35//8.89	24.521	100	0.416	168	0.699	282	1.173
0.4//10.16	23.746	90	0.386	160	0.687	280	1.202

Nota. Extraído de ficha de registro – Lunix ingenieros.

Figura 22

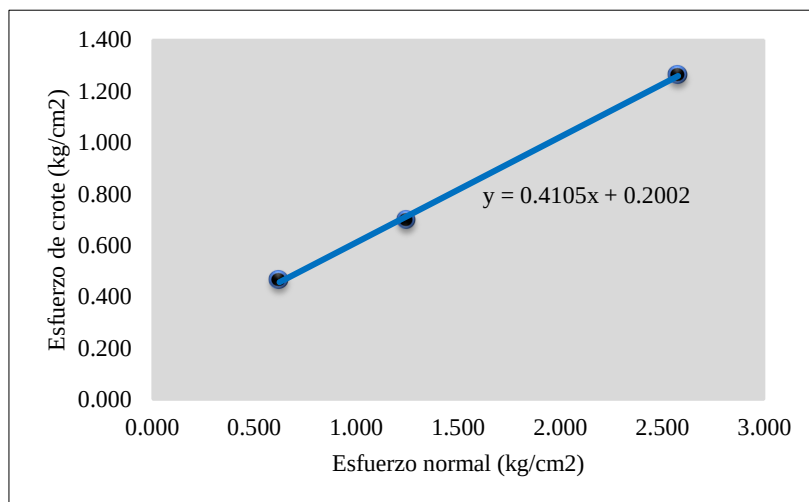
Curva de esfuerzo cortante vs la deformación de la muestra obtenida de la calicata 01



Nota. Esta figura representa como el suelo resiste el esfuerzo cortante, mostrando como se incrementa hasta un punto de falla.

Figura 23

Esfuerzo de corte vs el esfuerzo normal de la calicata 01



Nota. Se observa la relación entre el esfuerzo norma aplicado y el esfuerzo de corte máximo alcanzado, generando una línea de tendencia mediante la ecuación como se aprecia en la imagen.

Tabla 32*Resultados del espécimen de muestreo de la calicata 02*

		Espécimen 01		Espécimen 02		Espécimen 03	
Peso normal (kg)		15.30		30.60		61.20	
Esfuerzo normal (kg/cm²)		0.624		1.248		2.577	
Deformación horizontal (pulg/mm)	Área corregida (cm²)	Carga (N)	Esf. Corte (kg/cm²)	Carga (N)	Esf. Corte (kg/cm²)	Carga (N)	Esf. Corte (kg/cm²)
0.000//0.000	29.996	0	0.000	0	0.000	0	0.000
0.025//0.635	29.604	36	0.124	50	0.172	76	0.262
0.05//1.27	29.211	64	0.223	96	0.335	152	0.531
0.075//1.905	28.819	82	0.290	128	0.453	208	0.736
0.1//2.54	28.427	94	0.337	138	0.495	234	0.839
0.15//3.81	27.643	100	0.369	148	0.546	272	1.003
0.2//5.08	26.860	104	0.395	156	0.592	286	1.086
0.25//6.35	26.079	106	0.414	158	0.618	292	1.142
0.3//7.62	25.299	108	0.435	166	0.669	300	1.209
0.35//8.89	24.521	112	0.466	168	0.699	298	1.239
0.4//10.16	23.746	94	0.404	154	0.661	294	1.263

Nota. Extraído de ficha de registro – Lunix ingenieros.**Tabla 33***Resultados del espécimen de muestreo de la calicata 03*

		ESPECIMEN 01		ESPECIMEN 02		ESPECIMEN 03	
Peso normal (kg)		15.30		30.60		61.20	
Esfuerzo normal (kg/cm²)		0.624		1.248		2.577	
Deformación horizontal (pulg/mm)	Área corregida (cm²)	Carga (N)	Esf. Corte (kg/cm²)	Carga (N)	Esf. Corte (kg/cm²)	Carga (N)	Esf. Corte (kg/cm²)
0.000//0.000	29.996	0	0.000	0	0.000	0	0.000
0.025//0.635	29.604	38	0.131	57	0.196	80	0.276
0.05//1.27	29.211	68	0.237	110	0.384	160	0.559
0.075//1.905	28.819	87	0.308	145	0.513	218	0.771
0.1//2.54	28.427	98	0.352	158	0.567	245	0.879
0.15//3.81	27.643	106	0.391	168	0.620	285	1.051
0.2//5.08	26.860	111	0.421	178	0.676	301	1.143
0.25//6.35	26.079	113	0.442	181	0.708	308	1.204
0.3//7.62	25.299	116	0.468	189	0.762	315	1.270
0.35//8.89	24.521	118	0.491	193	0.803	313	1.302
0.4//10.16	23.746	107	0.459	182	0.782	310	1.331

Nota. Extraído de ficha de registro – Lunix ingenieros.

Del ensayo de corte directo en laboratorio se logra determinar los parámetros del ángulo de fricción y la cohesión, mediante la normativa ASTM D3080, con los resultados obtenidos se podrá evaluar cómo viene a ser el comportamiento del talud para el presente estudio. Sin embargo, estos resultados se detallan en la siguiente tabla 33.

Tabla 34

Resumen de los resultados de los ensayos muestreados

Elemento	N° de Calicata	Peso Volumétrico Natural (Tn/m3)	Peso Volumétrico Natural Seco (Tn/m3)	Ángulo de fricción (°)	Cohesión (Tn/m2)
Talud	C-1	1.55	1.49	21.75	1.91
Talud	C-2	1.50	1.43	22.32	2.00
Talud	C-3	1.51	1.43	23.04	2.10

Nota. Extraído de la ficha de registro – Lunix Ingenieros.

En la tabla 34 se presenta un resumen de los ensayos de laboratorio realizados, los cuales se llevaron a cabo siguiendo las Normas Técnicas Peruanas (NTP) y las normas de la Sociedad Estadounidense para Pruebas y Materiales (ASTM). Para el presente estudio, se llevaron a cabo ensayos que proporcionan información detallada y concisa. En cuanto al ángulo de fricción, se consideraron los valores del ensayo de corte directo, ya que este método es el más adecuado para evaluar los esfuerzos verticales y horizontales generados. Por otro lado, para la cohesión se utilizaron los valores obtenidos del ensayo de compresión no confinada. Estos datos permitirán realizar un análisis más exhaustivo para el modelado del talud mediante el Software Slide V6.0

Estudio Topográfico

El estudio topográfico nos brindó información respecto a relieve del terreno, elevaciones, pendientes, perfiles longitudinales y obras de arte existentes. Esta información brindada se utilizará para el diseño y su modelamiento respectivo.

El levantamiento topográfico inició con la obtención de los BM's georreferenciados, los cuales se muestran en la tabla 35.

Tabla 35

Cuadro de BMS

Cuadro de BM's			
BM	Este (mE)	Norte (mN)	Elevación (m.s.n.m)
1	731896.00	8490504.00	2684.00
2	731682.01	8490578.49	2682.00
3	731911.62	8490376.62	2629.00
4	731612.94	8490512.35	2600.00

Nota. Elaboración propia.

La ubicación geográfica (coordenadas UTM y elevación de cada BM), se muestra con mayor precisión en los respectivos planos topográficos y fichas BM.

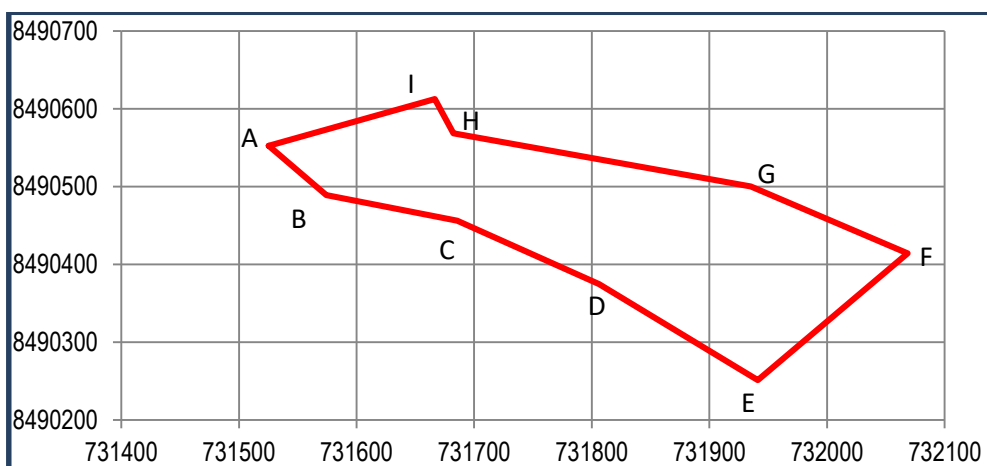
A. Método de la Poligonal cerrada

El proyecto consistió en procesar la información recopilada en campo (data de puntos topográficos) con los equipos topográficos antes mencionados haciendo usos de programas como hoja de Excel, Google Earth y AutoCAD Civil 3D 2021, con la finalidad de reconstruir y verificar la superficie del terreno.

Como resultado se obtuvo un área de 7.39 Ha y un perímetro de 1352.37 m, como se muestra en la figura 24, esta representación gráfica corresponde a los puntos de elevación del talud, que encierra mediante una poligonal de 9 lados.

Figura 24

Poligonal cerrada de las elevaciones del talud



Nota. Elaboración propia.

Los datos obtenidos se consignaron en una tabla llamada cartera de topografía, para realizar los cálculos, se tomó el azimut en el punto inicial para dar una orientación con respecto al norte para toda la figura, obteniendo así la siguiente tabla 36 de coordenadas resultantes de la poligonal cerrada.

Tabla 36

Cuadro de coordenadas del área intervenida

Cuadro de Coordenadas		
Vértice	Este (m)	Norte (m)
A	731,525.31	8,490,552.41
B	731,574.18	8,490,489.10
C	731,685.64	8,490,456.10
D	731,806.07	8,490,374.55
E	731,941.21	8,490,251.06
F	732,068.52	8,490,414.10
G	731,935.18	8,490,500.14
H	731,682.37	8,490,568.52
I	731,666.63	8,490,612.52
A	731,525.31	8,490,552.41

Nota. Elaboración propia.

En la tabla se aprecia las coordenadas de elevación del talud, tanto en su lado norte con este, siendo importante para trabajos de puntos de control y replanteos.

B. Pendiente

En la determinación de la pendiente, del talud del sector de Aymas alto tiende a ser diverso, pudiéndose encontrar una pendiente alta, teniendo en cuenta que la cota máxima viene a ser 2690 m.s.n.m. y siendo la más baja 2570 m.s.n.m. La pendiente promedio se obtuvo de la siguiente manera, esto se muestra en la tabla 37:

Tabla 37

Pendiente del área de influencia

Pendiente			
Cota mínima	Cota máxima	Distancia Horizontal	%
2570	2690	185.3	64.76
Pendiente promedio del área de influencia			

Nota. Elaboración propia.

En la tabla se aprecia como topografía del terreno presenta un relieve real o perfil topográfico de pendientes que oscilan entre 40% y 80%.

Por el ultimo, con el estudio topográfico se recopiló información importante del desarrollo de la poligonal cerrada y el cálculo de la pendiente del talud, cuyos parámetros se muestran en la siguiente tabla 38.

Tabla 38*Parámetros Topográficos*

Parámetros	Unidad	Valor
Área	Km2	0.0749
Perímetro	ml	1352.37
Cota Máxima	m.s.n.m	2690
Cota Mínima	m.s.n.m	2570
Elevación Media	m.s.n.m	2620
Pendiente promedio	%	64.76
Altura	m	120
Longitud	m	185.3

Nota. Elaboración propia.

Estudio Hidrológico**Información pluviométrica**

Se obtuvo información Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI). Así mismo, según el MTC (2012), menciona que se sugiere tener al menos 25 años de registros para poder predecir eventos futuros con confianza, utilizando esta información histórica como base. Es así que en esta presente investigación se realizó la recopilación de la información de la precipitación máxima durante los últimos 33 años observados, la estación más cercana al estudio del proyecto fue de San Antonio. Sin embargo, de las precipitaciones máximas obtenidas se obtienen los datos de intensidad-duración y frecuencia, para ello fue necesario realizar un cálculo para generar dichos parámetros de precipitaciones máximas, curva IDF y la intensidad.

Tabla 39*Datos de la estación meteorológica*

Estación	Código	Latitud	Longitud	Elevación (msnm)
Granja San Antonio	47263360	13°36'17.7" S	72°51'24.9" W	2780

Nota. Elaboración propia.**A. Prueba de bondad de ajuste**

La estación Granja de San Antonio, fue analizada, teniendo los datos de la precipitación máxima de 24 Horas según la estación por cada año, como se muestra en la tabla 40.

Tabla 40*Datos de precipitación máxima en 24 horas.*

Nº	AÑO	P24 horas	Pmax Log(P24)
1	1987	22.50	1.41
2	1988	21.50	1.39
3	1989	20.00	1.35
4	1990	24.50	1.44
5	1991	22.20	1.40
6	1992	25.00	1.45
7	1993	27.00	1.48
8	1996	35.00	1.60
9	1997	37.20	1.62
10	1998	24.90	1.45
11	1999	40.20	1.66
12	2000	27.30	1.49
13	2001	27.30	1.49
14	2002	24.00	1.43
15	2003	43.70	1.69
16	2004	28.60	1.51

17	2005	30.60	1.54
18	2006	24.60	1.44
19	2007	28.20	1.50
20	2008	34.90	1.60
21	2009	35.90	1.61
22	2010	45.10	1.71
23	2011	26.50	1.48
24	2012	28.80	1.51
25	2013	38.80	1.64
26	2014	54.10	1.79
27	2015	58.20	1.82
28	2016	36.30	1.61
29	2017	32.80	1.57
30	2018	33.40	1.58
31	2019	39.50	1.65
32	2020	49.20	1.75
33	2021	28.40	1.51

Nota. Elaboración propia.

Una vez localizada las precipitaciones máximas de 24 horas por cada año, se crea una hoja de cálculo donde se considera in nivel de significancia de 5% y criticidad (Dmax) de 0.24, para luego generar la bondad de ajuste, lo cual para este presente estudio se utilizará la prueba de Kolgomorv Smirnov para poder determinar el modelo de distribución más adecuado mediante los métodos de análisis como el caso de Log normal, Gumbel y Log Pearson III, esto se muestra en la siguiente tabla 41

Tabla 41

Distribuciones de probabilidades mediante el método de Kolmogorov - Smirnov

PRUEBA DE BONDAD DE AJUSTE KOLGOMOROV SMIRNOV																		
m	Wibull P = X[mm]	$P(x) = \frac{m}{n+1}$	$Z=(x-\bar{x})/S$	$F_{xm}Normal$	$ F_a(x) - F_{xm} $ Normal	$Y=\ln x$	F_{xm} Log normal	$ F_a(x) - F_{xm} $ Log normal	$(x - x_0)$	F_{xm} Pearson III	$ F_a(x) - F_{xm} $ Pearson III	$\ln x - x_0$	F_{xm} LogPearson III	$ F_a(x) - F_{xm} $ LogPearson III	F_{xm} Gumbel	$ F_a(x) - F_{xm} $ Gumbel	F_{xm} LogGumbel	$ F_a(x) - F_{xm} $ LogGumbel
1	25.43	0.03	-1.065	0.143	0.114	3.24	0.111	0.081	9.273	0.118	0.089	0.772	0.099	0.0692	0.111	0.081	0.067	0.038
2	22.60	0.06	-1.329	0.092	0.033	3.12	0.049	0.010	6.448	0.045	0.014	0.654	0.031	0.0282	0.046	0.013	0.009	0.050
3	24.30	0.09	-1.171	0.121	0.033	3.19	0.082	0.006	8.143	0.085	0.004	0.726	0.066	0.0223	0.080	0.008	0.035	0.053
4	25.09	0.12	-1.097	0.136	0.019	3.22	0.102	0.016	8.934	0.108	0.010	0.758	0.088	0.0296	0.101	0.017	0.057	0.061
5	27.12	0.15	-0.907	0.182	0.035	3.30	0.162	0.015	10.968	0.177	0.030	0.836	0.159	0.0124	0.166	0.019	0.137	0.011
6	27.69	0.18	-0.855	0.196	0.020	3.32	0.181	0.005	11.533	0.198	0.022	0.857	0.182	0.0059	0.186	0.010	0.164	0.012
7	27.80	0.21	-0.844	0.199	0.007	3.32	0.185	0.021	11.646	0.203	0.003	0.861	0.187	0.0188	0.191	0.015	0.170	0.036
8	28.14	0.24	-0.813	0.208	0.027	3.34	0.197	0.038	11.985	0.216	0.019	0.873	0.201	0.0338	0.204	0.032	0.187	0.048
9	28.25	0.26	-0.802	0.211	0.053	3.34	0.201	0.064	12.098	0.220	0.044	0.877	0.206	0.0584	0.208	0.057	0.193	0.071
10	29.95	0.29	-0.644	0.260	0.034	3.40	0.266	0.028	13.793	0.289	0.005	0.935	0.282	0.0116	0.277	0.017	0.287	0.007
11	30.51	0.32	-0.591	0.277	0.046	3.42	0.289	0.034	14.358	0.313	0.010	0.954	0.309	0.0148	0.302	0.022	0.318	0.005
12	30.85	0.35	-0.560	0.288	0.065	3.43	0.303	0.050	14.697	0.327	0.026	0.965	0.325	0.0284	0.316	0.037	0.337	0.016
13	30.85	0.38	-0.560	0.288	0.095	3.43	0.303	0.079	14.697	0.327	0.055	0.965	0.325	0.0578	0.316	0.066	0.337	0.045
14	31.87	0.41	-0.465	0.321	0.091	3.46	0.346	0.066	15.714	0.370	0.042	0.998	0.372	0.0397	0.361	0.051	0.393	0.018
15	32.09	0.44	-0.444	0.329	0.113	3.47	0.356	0.085	15.940	0.380	0.061	1.005	0.383	0.0586	0.371	0.070	0.406	0.036
16	32.32	0.47	-0.423	0.336	0.134	3.48	0.365	0.105	16.166	0.389	0.081	1.012	0.393	0.0775	0.381	0.090	0.418	0.053
17	32.54	0.50	-0.402	0.344	0.156	3.48	0.375	0.125	16.392	0.399	0.101	1.019	0.403	0.0965	0.391	0.109	0.430	0.070
18	34.58	0.53	-0.212	0.416	0.113	3.54	0.462	0.068	18.426	0.482	0.047	1.079	0.494	0.0352	0.479	0.051	0.530	0.000
19	37.06	0.56	0.020	0.508	0.051	3.61	0.563	0.004	20.912	0.577	0.018	1.149	0.594	0.0354	0.578	0.020	0.632	0.074
20	37.74	0.59	0.083	0.533	0.055	3.63	0.589	0.001	21.590	0.601	0.012	1.167	0.619	0.0307	0.604	0.015	0.656	0.068
21	39.44	0.62	0.241	0.595	0.022	3.67	0.650	0.033	23.285	0.657	0.039	1.211	0.676	0.0582	0.662	0.045	0.710	0.098
22	39.55	0.65	0.252	0.599	0.048	3.68	0.654	0.007	23.398	0.660	0.013	1.214	0.679	0.0323	0.666	0.019	0.713	0.066
23	40.57	0.68	0.346	0.635	0.041	3.70	0.688	0.011	24.415	0.691	0.015	1.239	0.710	0.0333	0.698	0.021	0.741	0.065
24	41.02	0.71	0.389	0.651	0.055	3.71	0.702	0.004	24.867	0.704	0.002	1.250	0.722	0.0166	0.711	0.005	0.752	0.047
25	42.04	0.74	0.483	0.686	0.050	3.74	0.732	0.003	25.884	0.732	0.003	1.275	0.749	0.0140	0.739	0.004	0.776	0.041
26	43.84	0.76	0.652	0.743	0.022	3.78	0.781	0.016	27.692	0.776	0.012	1.317	0.791	0.0266	0.784	0.019	0.812	0.048
27	44.64	0.79	0.726	0.766	0.028	3.80	0.800	0.005	28.483	0.794	0.000	1.335	0.808	0.0135	0.801	0.007	0.826	0.032
28	45.43	0.82	0.799	0.788	0.036	3.82	0.817	0.006	29.274	0.810	0.013	1.352	0.823	0.0009	0.818	0.006	0.839	0.015
29	49.38	0.85	1.168	0.879	0.026	3.90	0.887	0.034	33.229	0.877	0.024	1.436	0.883	0.0296	0.882	0.029	0.888	0.035
30	50.96	0.88	1.316	0.906	0.024	3.93	0.908	0.025	34.811	0.897	0.015	1.467	0.900	0.0181	0.901	0.019	0.903	0.020
31	55.60	0.91	1.748	0.960	0.048	4.02	0.950	0.038	39.444	0.940	0.029	1.554	0.939	0.0269	0.942	0.030	0.934	0.022
32	61.13	0.94	2.264	0.988	0.047	4.11	0.977	0.036	44.981	0.970	0.029	1.649	0.965	0.0242	0.970	0.029	0.957	0.016
33	65.77	0.97	2.696	0.996	0.026	4.19	0.988	0.018	49.614	0.984	0.013	1.722	0.978	0.0077	0.982	0.012	0.970	0.001

n	33	D_{max}	0.156	0.125	0.101	0.097	0.109	0.098
a	0.05	$D_{critico} > D_{max}$	Si se ajusta	Si se ajusta	Si se ajusta	Si se ajusta	Si se ajusta	Si se ajusta
λ crítico	0.24	Mejor ajuste	6	6	3	1	4	2

Nota. Elaboración propia

Tabla 42

Resultados de prueba de error estándar del ajuste para la distribución

Nº	Distribución	E. E
1	Normal	0.156
2	Log Normal	0.125
3	Pearson III	0.101
4	Log Pearson III	0.097
5	Gumbel	0.109
6	Log Gumbel	0.098

Nota. Elaboración propia.

Los resultados arrojados en la tabla demuestran que el método que más se ajusta a la estación es Log Pearson III, con un coeficiente de E.E de 0.097 lo cual es cercano a 1 y que presenta menor error estándar.

Así mismo para generar mayor confiabilidad de haber realizado el cálculo de la distribución de probabilidad se utilizó el software Hidrognomon para constatar los resultados, como se puede apreciar en la tabla 43.

Tabla 43

Resultado de la prueba de Smirnov Kolgomorov

PRUEBA SMIRNOV - KOLGOMOROV					
<i>Kolmogorov-Smirnov test for:</i>	<i>a=1%</i>	<i>a=5%</i>	<i>a=10%</i>	<i>Attained a</i>	<i>DMax</i>
<i>All data</i>					
GEV-Min (L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	99.33%	0.06834
GEV-Max (kappa specified, L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	96.77%	0.08007
GEV-Max (L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	94.75%	0.08507
Exponential (L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	94.05%	0.08654
GEV-Min	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	92.60%	0.08927
Pareto (L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	91.34%	0.09141
Exponential	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	90.16%	0.09327

Pareto	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	88.71%	0.09541
<u>Log Pearson III</u>	<u>ACCEPT</u>	<u>ACCEPT</u>	<u>ACCEPT</u>	<u>87.92%</u>	<u>0.09652</u>
EV2-Max (L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	87.51%	0.09708
GEV-Max (kappa specified)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	85.28%	0.10002
Pearson III	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	84.26%	0.10129
EV1-Max (Gumbel, L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	81.08%	0.10509
EV1-Max (Gumbel)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	77.41%	0.10922
Galton	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	76.26%	0.11048
GEV-Max	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	75.36%	0.11145
LogNormal	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	71.65%	0.11538
EV2-Max	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	66.00%	0.12125
Gamma	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	61.77%	0.12562
Normal	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	35.23%	0.15602
EV3-Min (Weibull)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	34.82%	0.15658
Normal (L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	33.01%	0.15908
EV3-Min (Weibull, L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	31.59%	0.16112
GEV-Min (kappa specified)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	20.75%	0.17932
GEV-Min (kappa specified, L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	19.68%	0.18147
EV1-Min (Gumbel)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	12.58%	0.20438
EV1-Min (Gumbel, L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	REJECT	8.64%	0.21226
EV1-Min (Gumbel)	ACCEPT	ACCEPT	REJECT	7.99%	0.21498

Nota. Se observa que del cuadro el más que se ajusta a la distribución es el de Log Pearson III teniendo un 87.92% logrando un mejor ajuste que para el desarrollo de la presente investigación.

B. Cálculo del Periodo de retorno

El manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje, para poder determinar el periodo de retorno se podrá calcular mediante el riesgo de falla admisible R, esto viene siendo que tan probable de ocurrencia surge un suceso, tomando en cuenta la vida útil.

De la tabla 2, se toma como valor de riesgo admisible de 25%, tomando como criterio para no afectar a la población y tomar medidas inmediatas al encontrarse en riesgo. Para ello tomaremos como vida útil de 25 años este tiempo encontramos de la tabla 3, de estos valores extraídos se tiene periodo de retorno de 87 años sin embargo para ser conservador reajustamos a un valor de 100 años y tener datos más eficientes.

C. Cálculo de la Bondad de ajuste

Para este presente estudio como resultado se tiene la distribución de Log Pearson III, como se mostró anteriormente tanto con el resultado del software se brindan el mismo resultado, en ese sentido determinamos las precipitaciones máximas tomando en cuenta que para este estudio se tomara para un periodo de retorno de 100 años.

Tabla 44

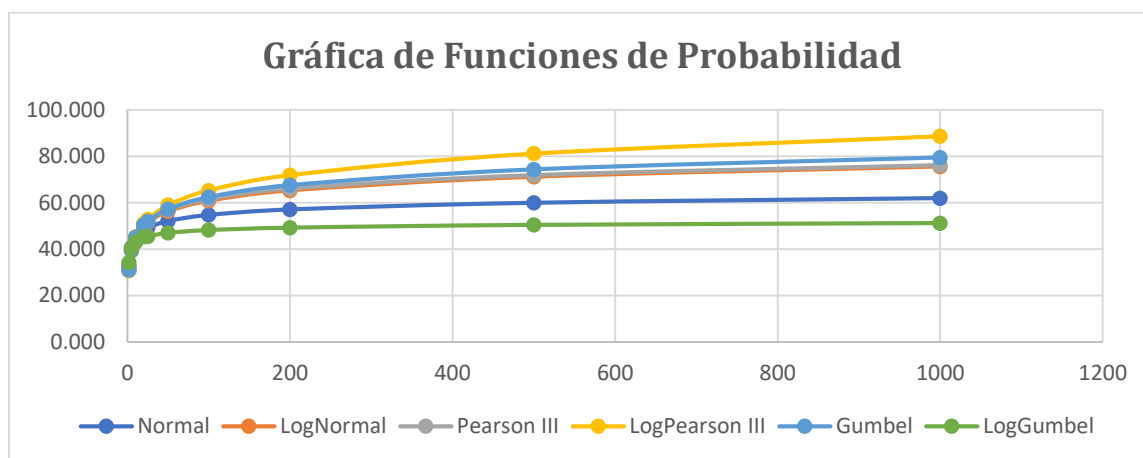
Resultado de comprobación de ajuste Long Pearson III

T (años)	Normal	Log Normal	Pearson III	Log Pearson III	Gumbel	Log Gumbel
2	32.612	31.313	31.001	30.720	31.052	34.172
5	40.600	39.806	39.761	39.167	39.444	40.409
10	44.776	45.126	45.337	45.059	44.999	43.060
20	48.224	50.052	50.486	50.944	50.328	45.328
25	49.229	51.585	52.081	52.862	52.019	45.540
50	52.105	56.241	56.889	58.944	57.227	46.984
100	54.693	60.787	61.523	65.265	62.396	48.192
200	57.061	65.269	66.025	71.878	67.546	49.230
500	59.930	71.146	71.821	81.139	74.341	50.411
1000	61.943	75.581	76.111	88.587	79.476	51.194

Nota. Elaboración propia.

Figura 25

Funciones de probabilidad



Nota. Elaboración propia.

Del gráfico se comprueba que Long Pearson III tiene mayor probabilidad de ajuste frente a los demás métodos, para la determinación de la precipitación máxima.

D. Cálculo de la Precipitación de diseño

Después de obtener la precipitación máxima probable para cada período de retorno, se calcula la precipitación de diseño, que se define utilizando una precipitación de 24 horas y un factor de ajuste de 1.33. Los resultados se presentan en la tabla 45 a continuación.

Tabla 45

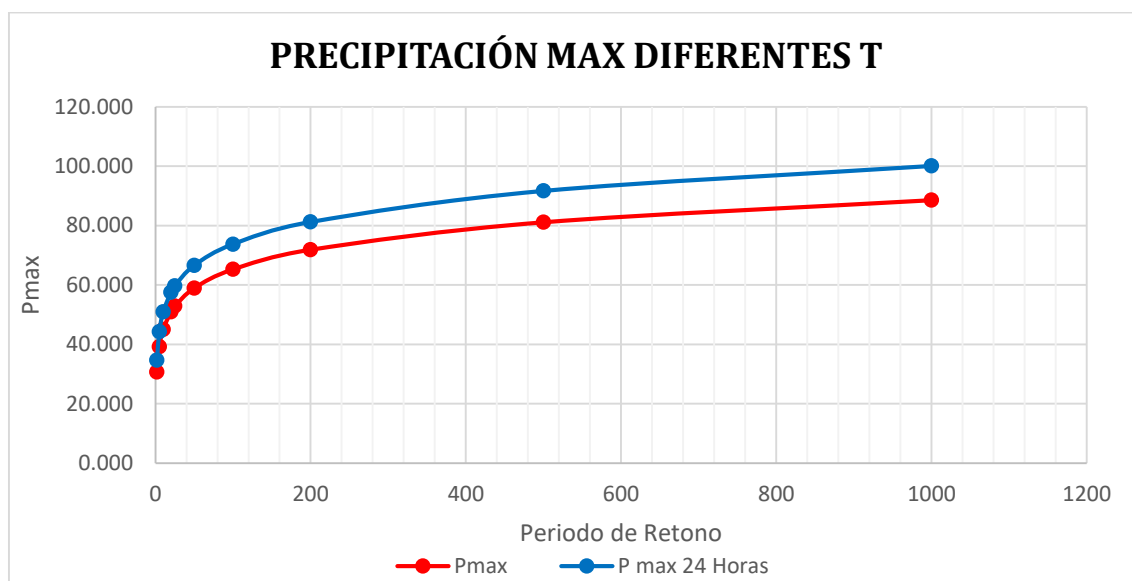
Precipitación máxima para distintos periodos de retorno

Periodo de Retorno T(años)	Hydrognomon Pmax (mm)	Pmax Corregido (mm)	Probabilidad de no excedencia P
2	34.172	38.614	0.500
5	40.409	45.662	0.800
10	43.060	48.658	0.900
20	45.328	51.221	0.950
25	45.540	51.460	0.960
50	46.984	53.092	0.980
100	48.192	54.457	0.990
200	49.230	55.630	0.995
500	50.411	56.964	0.998
1000	51.194	57.849	0.999

Nota. Elaboración propia.

Figura 26

Resultados de precipitación máxima en diferentes periodos (T)



Nota. Elaboración propia.

En la figura se aprecia cómo el método de Long Pearson III se adapta mejor en esta fase, en la cual se calcula la precipitación máxima para un periodo de retorno de 100 años, arrojando un valor de 54.457 mm en 24 horas, demostrando su eficiencia para otros periodos de retorno.

E. Cálculo de la Intensidad y curva IDF

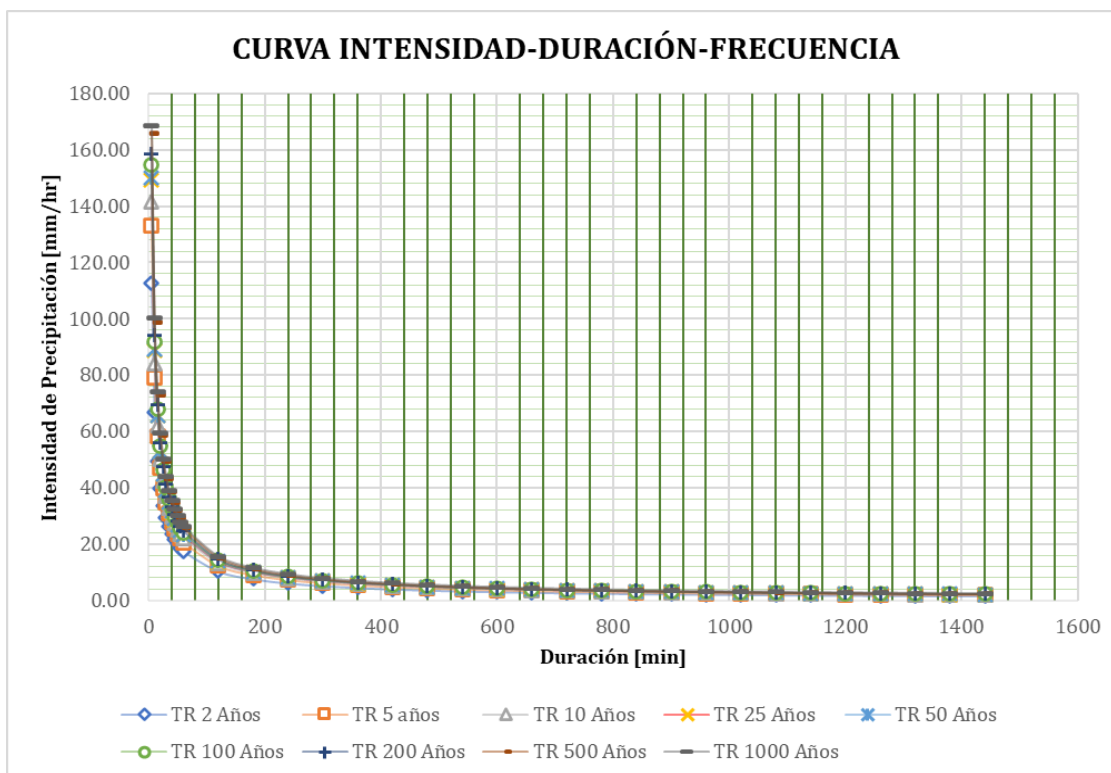
En la determinación de la curva IDF se aplicaron las directrices del Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje del MTC, empleando la relación de intensidad, precipitación y duración, basada en el cálculo de la precipitación de diseño, correspondiente a la precipitación máxima registrada en 24 horas.

Tabla 46*Intensidad de precipitación en función de la duración y periodo*

Duración (Minutos)	Precipitación en 24 horas (mm)								
	34.71	44.25	50.91	57.56	59.73	66.61	73.75	91.68	100.10
	Periodo de Retorno (Años)								
	2	5	10	25	50	100	200	500	1000
Intensidad en (mm/hr)									
5	8.43	10.74	12.36	13.97	14.50	16.17	17.90	22.26	24.30
10	10.02	12.78	14.70	16.62	17.24	19.23	21.29	26.47	28.90
15	11.09	14.14	16.27	18.39	19.08	21.28	23.56	29.29	31.98
20	11.92	15.19	17.48	19.76	20.51	22.87	25.32	31.48	34.36
25	12.60	16.07	18.48	20.90	21.68	24.18	26.77	33.28	36.34
30	13.19	16.81	19.34	21.87	22.69	25.31	28.02	34.83	38.03
35	13.71	17.48	20.10	22.73	23.59	26.30	29.12	36.20	39.53
40	14.17	18.07	20.79	23.50	24.39	27.19	30.11	37.43	40.87
45	14.60	18.61	21.41	24.20	25.12	28.00	31.01	38.55	42.09
50	14.98	19.11	21.98	24.85	25.79	28.75	31.84	39.58	43.21
55	15.35	19.57	22.51	25.45	26.41	29.45	32.60	40.53	44.25
60	15.68	20.00	23.00	26.01	26.99	30.09	33.32	41.42	45.23
120	18.65	23.78	27.36	30.93	32.09	35.79	39.62	49.26	53.78
180	20.64	26.32	30.28	34.23	35.52	39.60	43.85	54.52	59.52
240	22.18	28.28	32.53	36.78	38.17	42.56	47.12	58.58	63.96
300	23.45	29.90	34.40	38.89	40.36	45.00	49.83	61.94	67.63
360	24.55	31.30	36.00	40.71	42.24	47.10	52.15	64.83	70.78
420	25.51	32.53	37.42	42.30	43.90	48.95	54.20	67.38	73.56
480	26.38	33.63	38.69	43.74	45.39	50.61	56.04	69.67	76.06

Nota. Elaboración propia.

Una vez identificado el periodo de retorno se procedió con la gráfica IDF, como se visualiza en la siguiente figura 27.

Figura 27*Curva intensidad-duración-frecuencia*

Nota. Representación de las curvas IDF durante cada periodo de retorno.

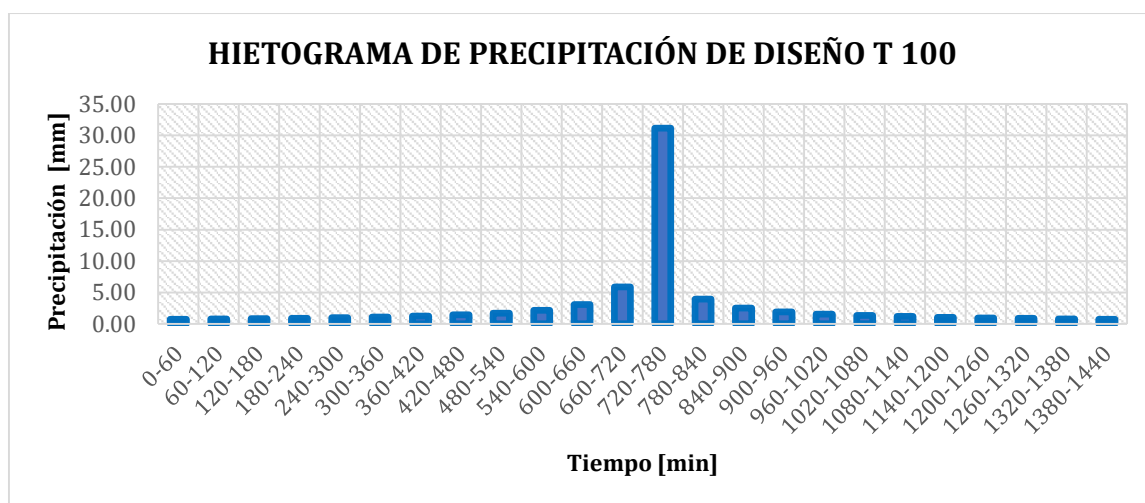
De la figura 27 y la tabla 46 se puede inferir que, por ejemplo, para un periodo de retorno de 100 años y una duración de 1 hora, se tiene una intensidad de 30.09 mm/h, la cual se origina y es visible en la curva IDF.

F. Cálculo de la precipitación de diseño mediante el método de bloque alterno

Usando el método de bloques alternos, se logró crear el hietograma final mediante las curvas IDF, lo cual permite mostrar la distribución de la precipitación en segmentos de 60 minutos durante todo el evento de lluvia.

Tabla 47*Resultados del método de bloque alterno*

MÉTODO DEL BLOQUE ALTERNO					
Duración [Min]	Intensidad [mm/Hr]	Profundidad Acumulada [mm]	Profundidad Incremental [mm]	Tiempo [min]	Precipitación [mm]
60	31.16	31.16	31.16	0-60	0.73
120	18.52	37.05	5.89	60-120	0.78
180	13.66	40.99	3.95	120-180	0.84
240	11.01	44.05	3.05	180-240	0.91
300	9.31	46.57	2.52	240-300	1.00
360	8.12	48.74	2.17	300-360	1.10
420	7.24	50.65	1.91	360-420	1.25
480	6.55	52.37	1.72	420-480	1.44
540	5.99	53.93	1.56	480-540	1.72
600	5.54	55.37	1.44	540-600	2.17
660	5.15	56.70	1.33	600-660	3.05
720	4.83	57.95	1.25	660-720	5.89
780	4.55	59.12	1.17	720-780	31.16
840	4.30	60.22	1.10	780-840	3.95
900	4.08	61.27	1.05	840-900	2.52
960	3.89	62.27	1.00	900-960	1.91
1020	3.72	63.22	0.95	960-1020	1.56
1080	3.56	64.13	0.91	1020-1080	1.33
1140	3.42	65.00	0.87	1080-1140	1.17
1200	3.29	65.83	0.84	1140-1200	1.05
1260	3.17	66.64	0.81	1200-1260	0.95
1320	3.06	67.42	0.78	1260-1320	0.87
1380	2.96	68.17	0.75	1320-1380	0.81
1440	2.87	68.90	0.73	1380-1440	0.75

Nota. Elaboración propia.**Figura 28***Hietograma de precipitación de diseño para un Periodo de Retorno de 100 años**Nota.* Elaboración propia.

En la ilustración se aprecia una precipitación máxima de 31.16 mm, correspondiente a un período de retorno de 100 años y una duración de 60 minutos, obtenida a través del método de bloques alternos.

G. Tiempo de concentración

Según los parámetros encontrados, podemos calcular con la siguiente fórmula de Kirpich que se muestra en la tabla 4, obteniendo el siguiente resultado:

$$T_c = 0.01947L^{0.77}S^{-0.385}$$

Siendo el tiempo de concentración mediante la ecuación de la fórmula de Kirpich. Siendo L longitud del cauce 185.30 m, y la pendiente promedio que se tiene es de 0.647m/m estos resultados se muestran en la tabla 28, del estudio topográfico.

$$T_c = 0.01947 * 185.30^{0.77} * 0.65^{-0.385}$$

$$T_c = 1.28 \text{ hr}$$

Se observa que el tiempo de concertación de lluvia tarda 1.28 horas.

H. Escorrentía

El cálculo del caudal máximo de escorrentía se llevó a cabo mediante el método racional. Los datos obtenidos del levantamiento topográfico indican un área de 0.075 km², que es menor a los 10 km² que menciona el manual de hidrología, hidráulica y drenaje. A continuación, se presenta la tabla 48 con los datos obtenidos.

Tabla 48*Parámetros para el cálculo de la esorrentía*

Cobertura Vegetal	Tipo de suelo	Pendiente del terreno	Topografía	Coefficiente
Pastos Vegetación Ligera	Semi Permeable	>50%	64.76 %	0.55
Verificación in situ	Ensayo de Permeabilidad Método Porchet	Levantamiento Topográfico		

Nota. Elaboración propia.

Del análisis hidrológico también se extrajo la intensidad máxima calculada utilizando la curva IDF. Para periodos de retorno de 50 y 100 años, se obtuvieron intensidades de 26.99 mm/hy 30.09 mm/h, respectivamente, para una duración de una hora de precipitación. Los resultados de estos cálculos se presentan en las tablas 49 y 50.

Tabla 49*Datos para un periodo de 50 Años*

Periodo de Retorno 50 Años				
Tiempo de concentración	$T_c = 0.01947L^{0.77}S^{-0.385}$	Hr		1.28
Intensidad	$I_{max} = \frac{KT^m}{D^n}$	mm/hr		23.00
Caudal	$Q = 0.278CIA$	m3/s		0.26

Nota. Elaboración propia.**Tabla 50***Datos para un periodo de 100 años*

Periodo de Retorno 100 años				
Tiempo de concentración	$T_c = 0.01947L^{0.77}S^{-0.385}$	Hr		1.28
Intensidad	$I_{max} = \frac{KT^m}{D^n}$	mm/hr		30.09
Caudal	$Q = 0.278CIA$	m3/s		0.34

Nota. Elaboración propia.

Estudio de Infiltración

Una vez establecida la precipitación y considerando que la tasa de precipitación efectiva o escurrimiento es de 0.55 según la tabla 38, se ha estimado el factor de infiltración para periodos de retorno de 2, 50 y 100 años, como se detalla en la siguiente tabla 51.

Tabla 51

Cálculo de la infiltración según periodos de retorno

Años	Precipitación (mm)	Intensidad (mm/hr)	Infiltración (mm/hr)	Infiltración (m/día)
2	34.71	15.68	8.63	0.21
5	44.26	20.00	11.00	0.26
10	50.92	23.00	12.65	0.30
25	57.57	26.01	14.30	0.34
50	59.73	26.99	14.84	0.36
100	66.61	30.09	16.55	0.40
200	73.75	33.32	18.33	0.44
500	91.69	41.42	22.78	0.55
1000	100.10	45.23	24.87	0.60

Nota. Elaboración propia.

Dado que la infiltración se mide en mm/hora es necesario aplicar un factor de conversión de 0.024 para tener los resultados en m/días, siendo este cálculo necesario para realizar el modelamiento en el software Slide V6.0.

Estudio de Permeabilidad

Para determinar la permeabilidad se realizó el ensayo mediante el método de Porchet establecida por el Ministerio de Vivienda y Urbanismo, este método nos permite determinar la permeabilidad en in-situ realizando un análisis para evaluar la capacidad del suelo que tiene para transmitir cierta cantidad de agua hacia el interior del suelo, sin embargo, para tener un análisis detallado se realizaron tres pozos cilíndricos de muestreo, las cuales fueron llenados con agua hasta una altura determinada para ver el tiempo de infiltración. A continuación, se muestran los resultados.

Tabla 52*Muestreo de ensayo de permeabilidad 01*

Nivel (cm)	Tiempo (min)	Tiempo (Seg)	2h+R (cm)	f (cm/s)	Infiltración (cm/hr)	Infiltración (mm/hr)
30	0.00	0.00	68.5			
28	0.53	32.00	64.5	0.00799	28.77	287.68
26	1.97	118.00	60.5	0.00316	11.39	113.90
24	3.20	192.00	56.5	0.00393	14.14	141.43
22	5.33	320.00	52.5	0.00244	8.78	87.77
20	7.00	420.04	48.5	0.00337	12.12	121.20
18	12.00	720.04	44.5	0.00122	4.39	43.90
16	16.83	1010.00	40.5	0.00138	4.97	49.70
14	23.40	1404.00	36.5	0.00112	4.04	40.38
12	29.98	1799.00	32.5	0.00125	4.50	44.96
Promedio				0.00287	10.34	103.44

Nota. Elaboración propia.

De la tabla 52, de los resultados obtenidos se obtiene un coeficiente de permeabilidad promedio de $2.87 \cdot 10^{-3}$ cm/s, lo que corresponde a una permeabilidad moderada para suelo clasificados como SM (arena limosa), según el análisis de mecánica de suelos SUCS. Tal como afirma Terzaghi & Peck, los suelos SM permite el flujo del agua a través de los vacíos con relativa facilidad, aunque la capacidad de drenaje disminuye a medida que aumenta la proporción de limo. Esto implica que, el flujo de agua puede volverse lento y aumentar el riesgo de acumulación de agua en el subsuelo.

Tabla 53*Muestreo de ensayo de permeabilidad 02*

Nivel (cm)	Tiempo (min)	Tiempo (Seg)	2h+R (cm)	f (cm/s)	Infiltración (cm/hr)	Infiltración (mm/hr)
30	0.00	0.00	68.5			
28	0.22	13.00	64.5	0.01967	70.81	708.14
26	0.38	23.00	60.5	0.02721	97.95	979.53
24	0.58	35.00	56.5	0.02423	87.21	872.13
22	0.93	56.00	52.5	0.01486	53.50	534.97
20	1.25	75.00	48.5	0.01773	63.82	638.17
18	1.82	109.00	44.5	0.01076	38.73	387.34
16	2.68	161.00	40.5	0.00770	27.71	277.13
14	3.72	223.00	36.5	0.00713	25.66	256.62
12	4.63	278.00	32.5	0.00897	32.29	322.89
Promedio				0.0154	55.30	552.99

Nota. Elaboración propia.

De la presente tabla 54, el resultado obtenido del ensayo indica que se tiene una permeabilidad promedio es de $1.54 \cdot 10^{-2}$ cm/s, paralelo a ello del resultado de la clasificación del suelo por el método SUCS se tiene un SC-CM correspondiente a un arena arcilloso - limosa con grava, el cual viene correspondiendo a una permeabilidad moderada, esto permite que el agua fluya, generando una reducción de la permeabilidad debido a que los vacíos del suelo sean obstruidos por las partículas más finas.

Tabla 54*Muestreo 03 de ensayo de permeabilidad*

Nivel (cm)	Tiempo (min)	Tiempo (Seg)	2h+R (cm)	f (cm/s)	Infiltración (cm/hr)	Infiltración (mm/hr)
30	0.00	0.00	68.5			
28	0.20	12.00	64.5	0.02131	76.71	767.15
26	0.28	17.00	60.5	0.05442	195.91	1959.07
24	0.37	22.00	56.5	0.05814	209.31	2093.12
22	0.52	31.00	52.5	0.03467	124.83	1248.27
20	0.67	40.00	48.5	0.03742	134.72	1347.24
18	1.03	62.00	44.5	0.01663	59.86	598.61
16	1.42	85.00	40.5	0.01740	62.65	626.55
14	2.02	121.00	36.5	0.01228	44.20	441.96
12	2.42	145.00	32.5	0.02055	74.00	739.96
10	2.75	165.00	28.5	0.02791	100.47	1004.72
Promedio				0.0211	108.27	1082.66

Nota. Elaboración propia.

De la tercera muestra realizada nos arroja una permeabilidad promedio de 2.11×10^{-2} cm/s, lo que indica una alta permeabilidad del suelo. Según los estudios de Mecánica de Suelos y la clasificación SUCS, este suelo se categoriza como SP-SM, es decir, arena mal gradada con limo y grava. Esta clasificación respalda la elevada permeabilidad observada, lo que permite que el agua penetre en el suelo de manera rápida y eficiente.

La alta tasa de infiltración se debe principalmente a los poros amplios presentes en la arena mal gradada y la mezcla de grava, que facilitan el flujo del agua. Si bien la cantidad de limo puede disminuir la permeabilidad en suelos más finos, en este caso su presencia es limitada y no impacta significativamente la capacidad de infiltración del suelo. En consecuencia, la combinación de arena y grava en la muestra de suelo contribuye a mantener una alta permeabilidad, como se evidencia en la tabla 54.

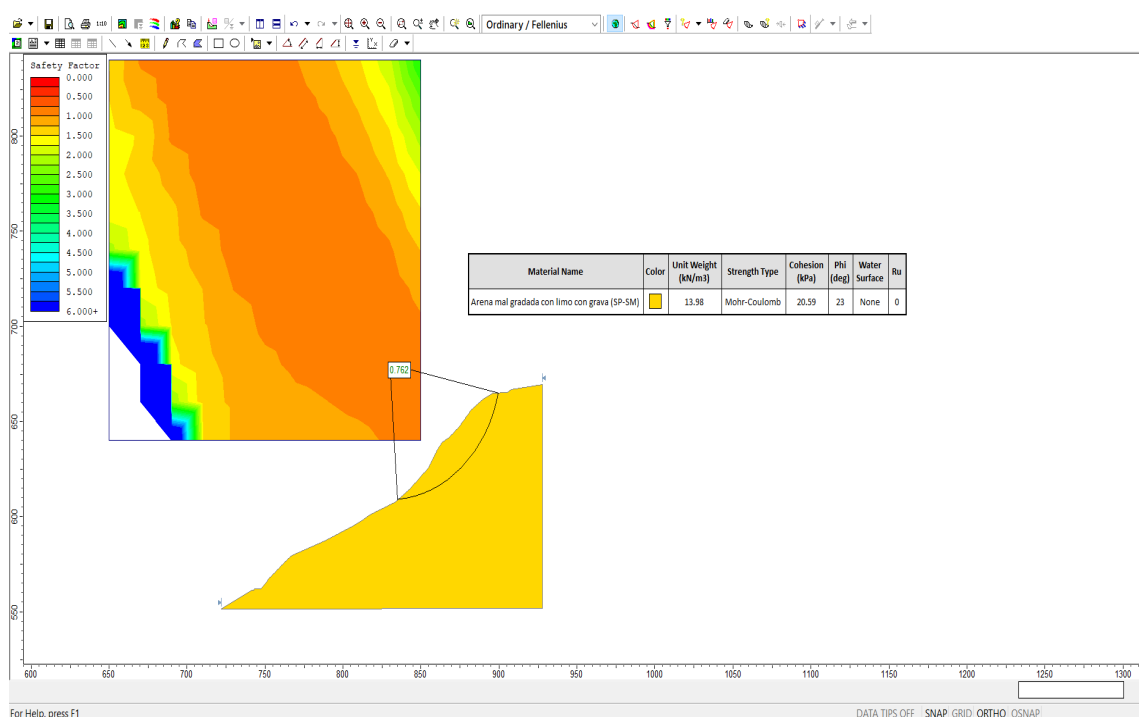
Resultados del modelamiento de estabilidad del talud

Análisis en condiciones estáticas

Se efectuó un análisis y la simulación utilizando el programa SLIDE V6.0 para cinco secciones diferentes ubicadas en el tramo que abarca desde el kilómetro 00+230 hasta el 00+670. Se examinó el terreno en su condición natural y considerando la infiltración, en ambos casos bajo condiciones estáticas. Con el software SLIDE se crearon tablas estadísticas que muestran las evaluaciones de todas las secciones analizadas.

Figura 29

Evaluación del Factor de seguridad mediante método de Fellenius, en condición estática, del Sub tramo Km 00+230 al km 00+265



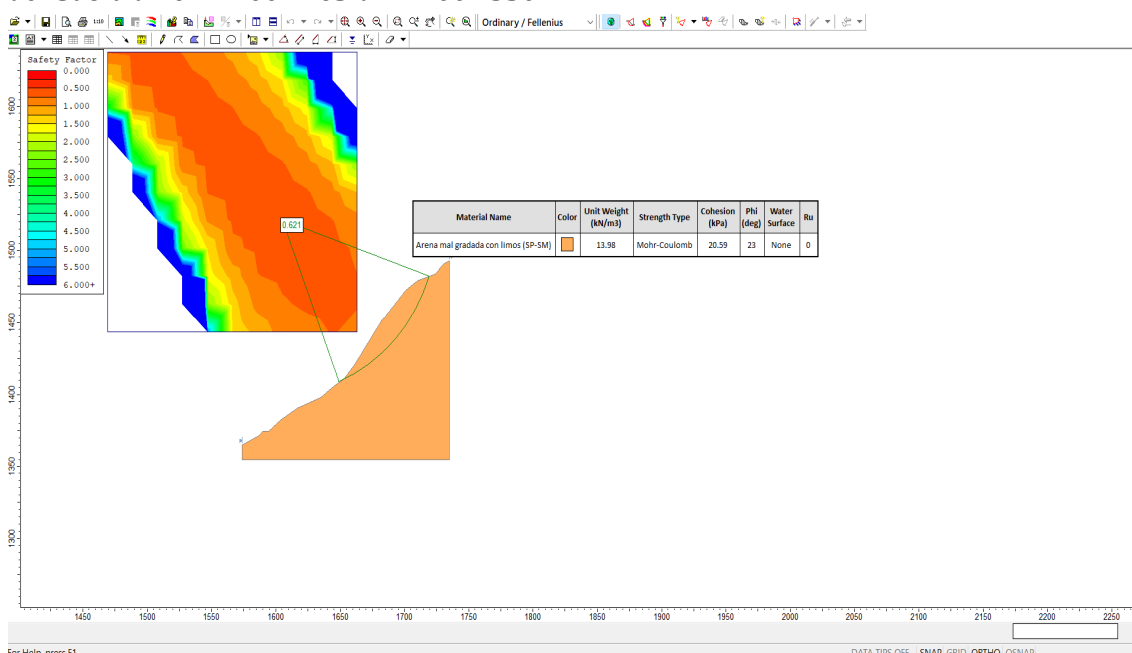
Nota. Elaboración propia, obtenido de software Slide V6.0.

En la figura 29, el color naranja de la columna indica el factor de seguridad, indica que se tiene un factor de seguridad menor que 1.50 teniendo como resultado 0.762, lo cual menor a lo exigido según la norma técnica peruana CE-020, sin embargo, esto se debe a que las propiedades del suelo muestra que se presenta un SP-SM “Arena mal gradada con limos”, debido a la presencia de limo esto afecta a las propiedades mecánicas del suelo, así mismo,

se tiene un ángulo de fricción relativamente bajo, pero se tiene una cohesión considerable, pero al actuar con un bajo ángulo de fricción, lo que el suelo no tiene una resistencia significativa al deslizamiento esto provocando un falla circular como se aprecia en la imagen. Para identificar el perfil del análisis genero un corte de la sección del talud que representa al tramo correspondiente, Así mismo se desprecia la capa de material orgánico debido a que presenta una muy baja resistencia al corte no aporta cohesión ni fricción significativa al suelo.

Figura 30

Evaluación del Factor de seguridad mediante método de Fellenius, en condición estática, del Sub tramo Km 00+265 al km 00+350



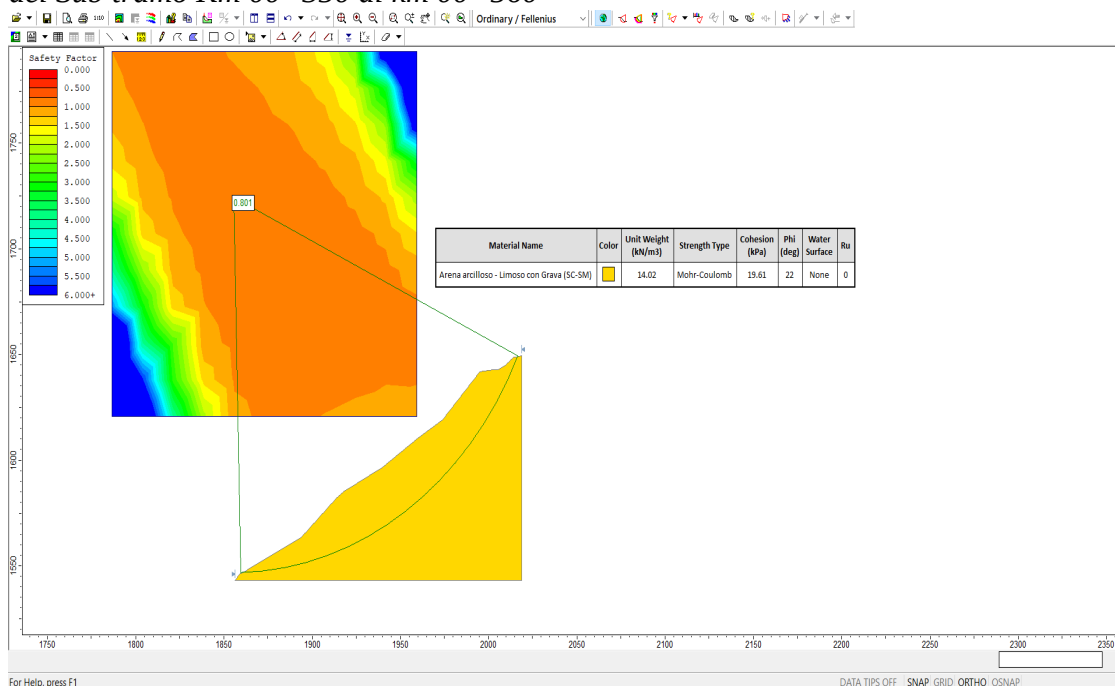
Nota. Elaboración propia, obtenido de software Slide V6.0.

En la figura 30, el color naranja de la columna indica el factor de seguridad, indica que se tiene un factor de seguridad menor a 1.50 teniendo como resultado 0.621, lo cual menor a lo exigido según la norma técnica peruana CE-020, sin embargo, esto se debe a que las propiedades del suelo muestra que se presenta un SP-SM “Arena mal gradada con limos”, debido a la presencia de limo esto afecta a las propiedades mecánicas del suelo, así mismo, se tiene un ángulo de fricción relativamente bajo, pero se tiene una cohesión considerable,

pero al actuar con un bajo ángulo de fricción, lo que el suelo no tiene una resistencia significativa al deslizamiento esto provocando un falla planar como se aprecia en la imagen. Para identificar el perfil del análisis genero un corte de la sección del talud que representa al tramo lo cual se puede apreciar que la sección es diferente al primer tramo evaluado. Sin embargo, de la capa de material orgánico se obvió debido a que presenta una muy baja resistencia al corte no aporta cohesión ni fricción significativa al suelo.

Figura 31

Evaluación del Factor de seguridad mediante método de Fellenius, en condición estática, del Sub tramo Km 00+350 al km 00+560



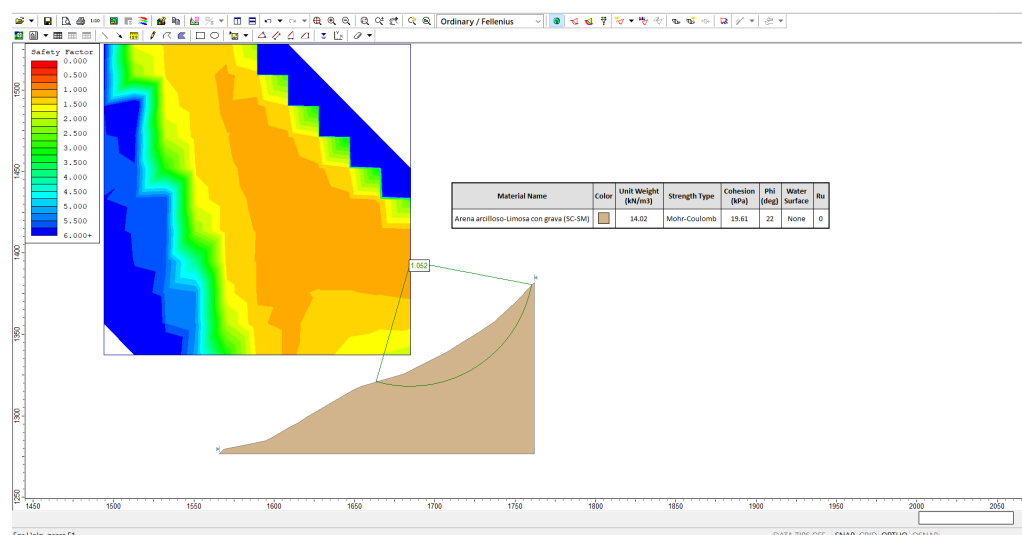
Nota. Elaboración propia, obtenido de software Slide V6.0.

En la figura 26, el color naranja de la columna indica el factor de seguridad, indica que se tiene un factor de seguridad menor a 1.50 teniendo como resultado 0.801, lo cual es menor a lo exigido según la norma técnica peruana CE-020 de suelos y taludes, sin embargo, un causante se debe a que las propiedades del suelo muestran que se presenta un SC-SM “Arena arcilloso-Limoso con Grava”, debido a la presencia de limo, arcilla y grava en este tipo de suelos reduce la capacidad de drenaje, lo que significa que el suelo es más propenso

a acumular agua y generar presiones de poro. De los resultados obtenidos se puede decir que el ángulo de fricción es bajo por lo que predomina la arcilla y limos, lo que es un indicativo a susceptibilidad de deslizamientos a una fallar circular como se evidencia en la presente figura. Así mismo para poder identificar la sección del talud se realizó una evaluación en campo, donde se identificó los tramos más críticos, ya que también debido a ello se genera el plano de falla.

Figura 32

Evaluación del Factor de seguridad mediante método de Fellenius, en condición estática, del Sub tramo Km 00+560 al km 00+610



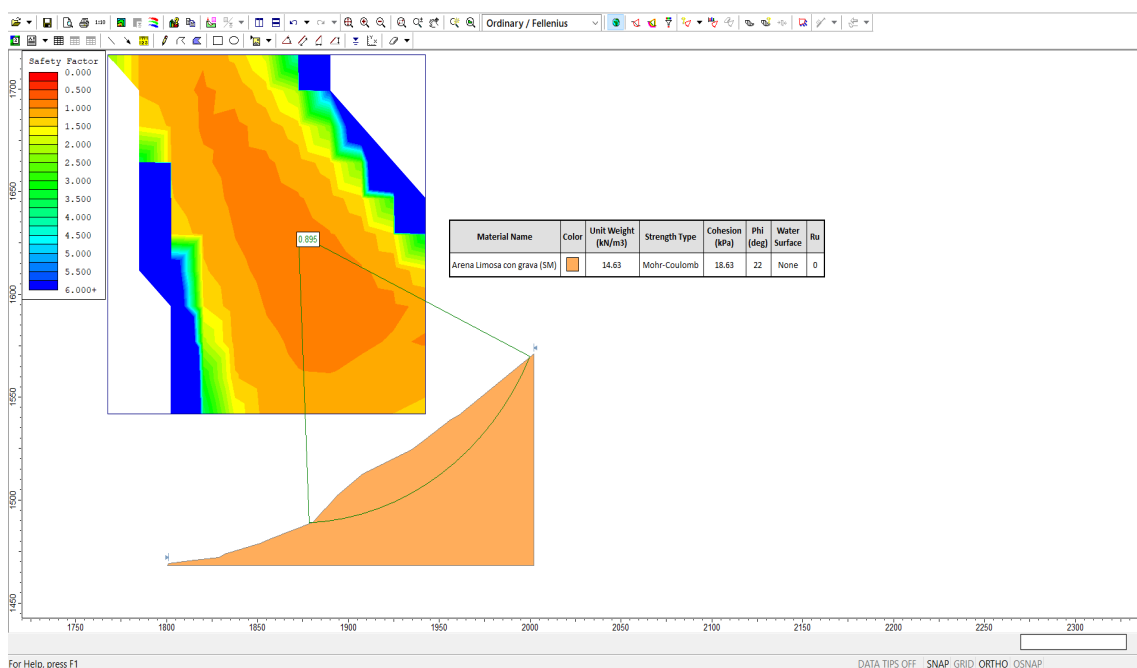
Nota. Elaboración propia, obtenido de software Slide V6.0.

En la figura 32, el color naranja de la columna indica el factor de seguridad, indica que se tiene un factor de seguridad menor a 1.50 teniendo como resultado 1.052, lo cual es menor a lo exigido según la norma técnica peruana CE-020 de suelos y taludes, sin embargo, un causante se debe a que las propiedades del suelo muestran que se presenta un SC-SM “Arena arcilloso-Limosa con Grava”, debido a la presencia de limo, arcilla y grava en este tipo de suelos reduce la capacidad de drenaje, lo que significa que el suelo es más propenso a acumular agua y generar presiones de poro. De los resultados obtenidos se puede decir que el ángulo de fricción es bajo por lo que predomina la arcilla y limos, lo que es un indicativo

a susceptibilidad de deslizamientos a una fallar circular como se evidencia en la presente figura. Así mismo para poder identificar la sección del talud se realizó una evaluación en campo, donde se identificó los tramos más críticos, ya que también debido a ello se genera el plano de falla.

Figura 33

Evaluación del Factor de seguridad mediante método de Fellenius, en condición estática, del Sub tramo Km 00+610 al km 00+670



Nota. Elaboración propia, obtenido de software Slide V6.0.

En la Figura 33, el recuadro de color naranja en la columna indica un factor de seguridad (FS) de 0.895, que es inferior al umbral de 1.50 establecido por la norma técnica peruana CE-020 para suelos y taludes. Este valor revela una situación de inestabilidad en el talud. La clasificación del suelo como SM ("Arena limosa con grava") juega un papel crucial en esta condición. La presencia de limo en la composición del suelo reduce su capacidad de drenaje, y a medida que el suelo se satura, las presiones de poro aumentan, disminuyendo así su resistencia al corte. Además, se ha observado que el ángulo de fricción es relativamente bajo, lo que dificulta la capacidad del suelo para resistir las fuerzas de deslizamiento. Por

otro lado, la cohesión es insuficiente para contrarrestar los efectos adversos de la saturación. Todo esto sugiere que el talud es propenso a una falla circular, como se ilustra en la figura presentada.

Del ámbito de influencia, se realizó el análisis en cinco secciones del talud, estos resultados evidencian inestabilidad en todos los sub tramos evaluados, principalmente debido a que se presencian de limos que reducen la capacidad de drenaje y generan presiones de poro, lo cual disminuye la resistencia cortante y producir deslizamientos, cabe mencionar que para este análisis se enmarco según la norma de suelos y taludes (CE.020, 2012). Sin embargo, se consideraron solo un análisis en condiciones estáticas para cada sección de talud, en la siguiente tabla 55 se muestra los resultados obtenidos del modelamiento.

Tabla 55

Resultados del Software Slide, en condiciones estáticas.

Tramo	Método	Factor de seguridad
PG 00+230 al PG 00+265	Fellenius	0.762
PG 00+265 al PG 00+350	Fellenius	0.621
PG 00+350 al PG 00+560	Fellenius	0.801
PG 00+560 al PG 00+610	Fellenius	1.052
PG 00+610 al PG 00+670	Fellenius	0.895

Nota. Se aprecia del análisis el factor de seguridad en cada tramo evaluado donde se aprecia que el factor es menor a 1.50 según lo estipulado la norma CE.020, (2012, p. 30).

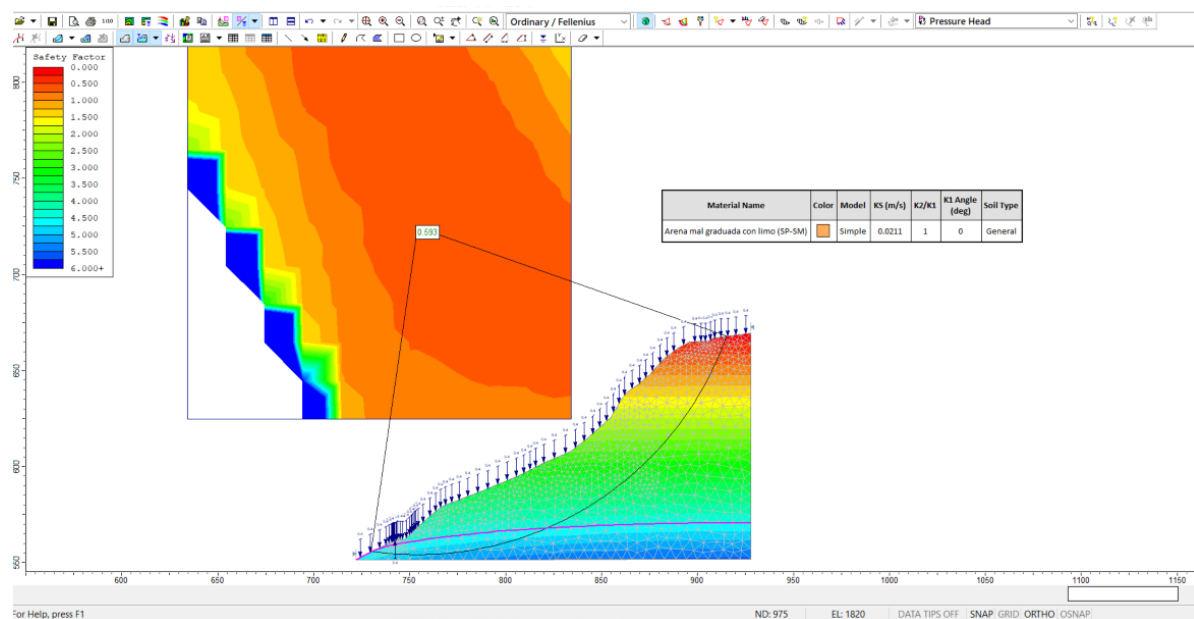
Análisis con infiltración

Por otro lado, tras haber concluido el análisis en condiciones estáticas y naturales, se procede a realizar un estudio detallado de los taludes. Para este análisis, se implementarán evaluaciones específicas como la determinación del coeficiente de permeabilidad, con el objetivo de comprender el comportamiento del talud bajo dichas condiciones. Este análisis se llevará a cabo utilizando el método de elementos finitos (MEF), ya que permite incorporar el efecto de la infiltración de agua durante lluvias prolongadas. El MEF es particularmente

eficaz para abordar problemas complejos que involucran geometrías irregulares y variaciones en las propiedades del terreno. Lo cual a continuación se presenta cada análisis según la sección ya evaluada.

Figura 34

Evaluación del Factor de seguridad mediante método de Fellenius, en condición estática y con infiltración del Sub tramo Km 00+230 al Km 00+265

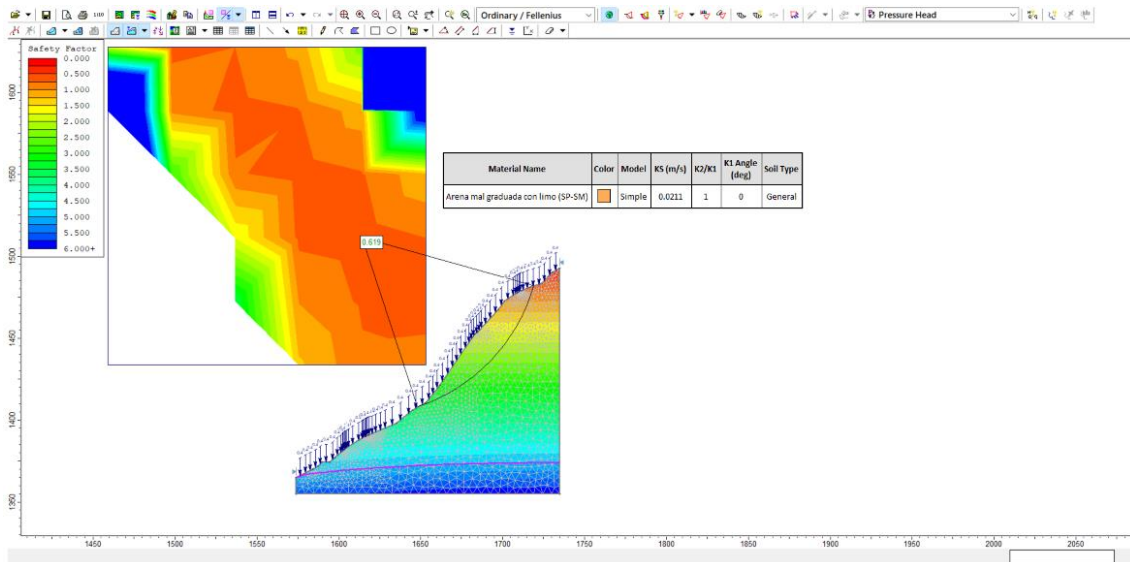


Nota. Elaboración propia, obtenido de software Slide V6.0

En la Figura 34, el tono naranja de la columna indica un factor de seguridad inferior a 1.50, con un valor de 0.593, lo cual no cumple con la norma CE.020. Este análisis se ha realizado considerando una permeabilidad de $k = 2.11 \times 10^{-2}$ m/s y un valor de infiltración de 0.40 m/día para un periodo de retorno de 100 años. El aumento de la permeabilidad permite que el agua se infiltre con mayor facilidad, incrementando el flujo dentro del suelo, lo que satura rápidamente la estructura del talud y reduce su capacidad de soporte. La infiltración a esta velocidad provoca una saturación considerable del suelo, lo que disminuye la fricción interna y reduce la cohesión efectiva, resultando en una disminución adicional de la resistencia al corte del suelo.

Figura 35

Evaluación del Factor de seguridad mediante método de Fellenius, en condición estática, con infiltración del Sub tramo Km 00+265 al km 00+350

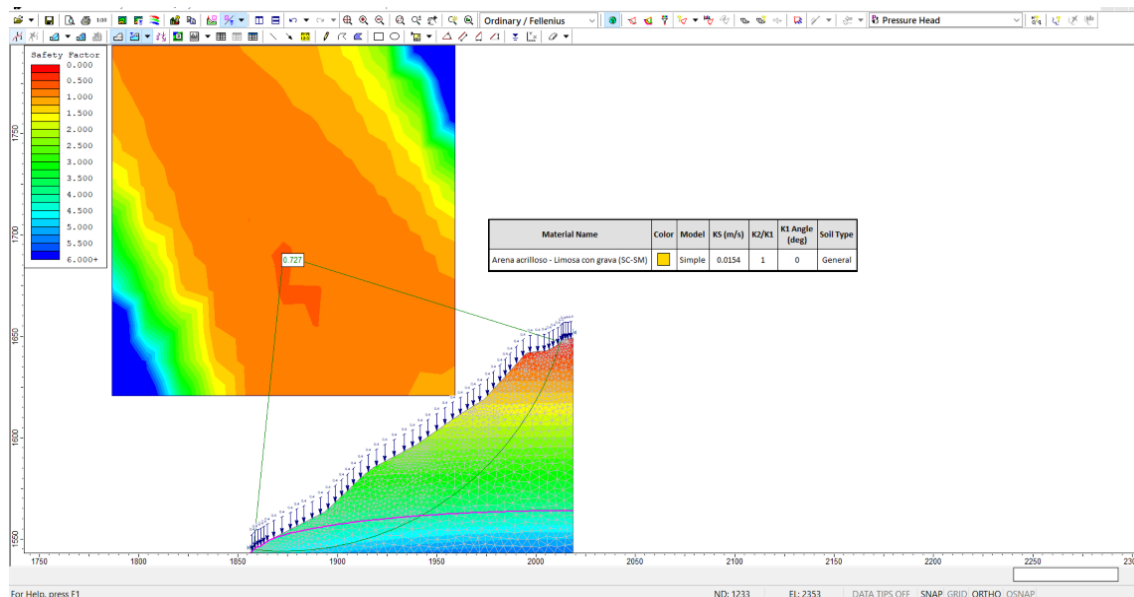


Nota. Elaboración propia, obtenido de software Slide V6.0

En la ilustración 35, el tono naranja de la columna indica un factor de seguridad inferior a 1.50, con un valor de 0.619, lo cual no cumple con la norma CE.020. Este análisis se ha realizado considerando una permeabilidad de $k = 2.11 \times 10^{-2}$ m/s y un valor de infiltración de 0.40 m/día para un periodo de retorno de 100 años. El aumento de la permeabilidad permite que el agua se infiltre con mayor facilidad, incrementando el flujo dentro del suelo, lo que satura rápidamente la estructura del talud y reduce su capacidad de soporte comprometiendo la estabilidad de talud. El valor de infiltración a esta velocidad provoca una saturación considerable alto al suelo, lo que disminuye la fricción interna y reduce la cohesión efectiva, lo que hace que el suelo sea más susceptible al deslizamiento.

Figura 36

Evaluación del Factor de seguridad mediante método de Fellenius, en condición estática, con infiltración del Sub tramo Km 00+350 al km 00+560



Nota. Elaboración propia, obtenido de software Slide V6.0.

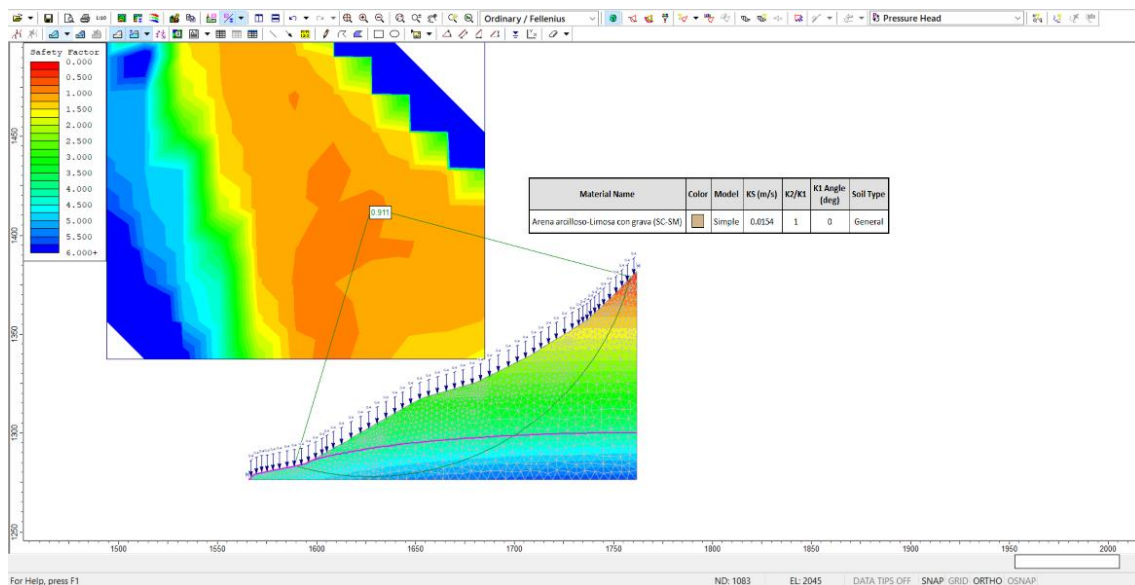
En la Ilustración 36, la tonalidad naranja de la columna representa un factor de seguridad (FS) inferior a 1.50, con un valor de 0.727, lo que no cumple con la norma CE.020. Este análisis se ha llevado a cabo considerando una permeabilidad de $K = 1.54 \times 10^{-2}$ m/s y un valor de infiltración de 0.40 m/día para un periodo de retorno de 100 años. El aumento en la permeabilidad implica que el agua puede infiltrarse más rápidamente en el suelo, acelerando la saturación y generando mayores presiones de poro, lo que disminuye la resistencia al corte del material. La alta infiltración indica que el agua penetra a una velocidad considerable, facilitando una saturación rápida del talud.

Este proceso de saturación reduce drásticamente la fricción interna del suelo, mientras que la pérdida de cohesión efectiva agrava aún más la disminución de la resistencia estructural. El análisis concluye que el talud presenta un alto riesgo de falla, ya que la

combinación de estos factores reduce significativamente su capacidad para resistir deslizamientos, generando una inestabilidad crítica.

Figura 37

Evaluación del Factor de seguridad mediante método de Fellenius, en condición estática, con infiltración del Sub tramo Km 00+560 al km 00+610



Nota. Elaboración propia, obtenido de software Slide V6.0.

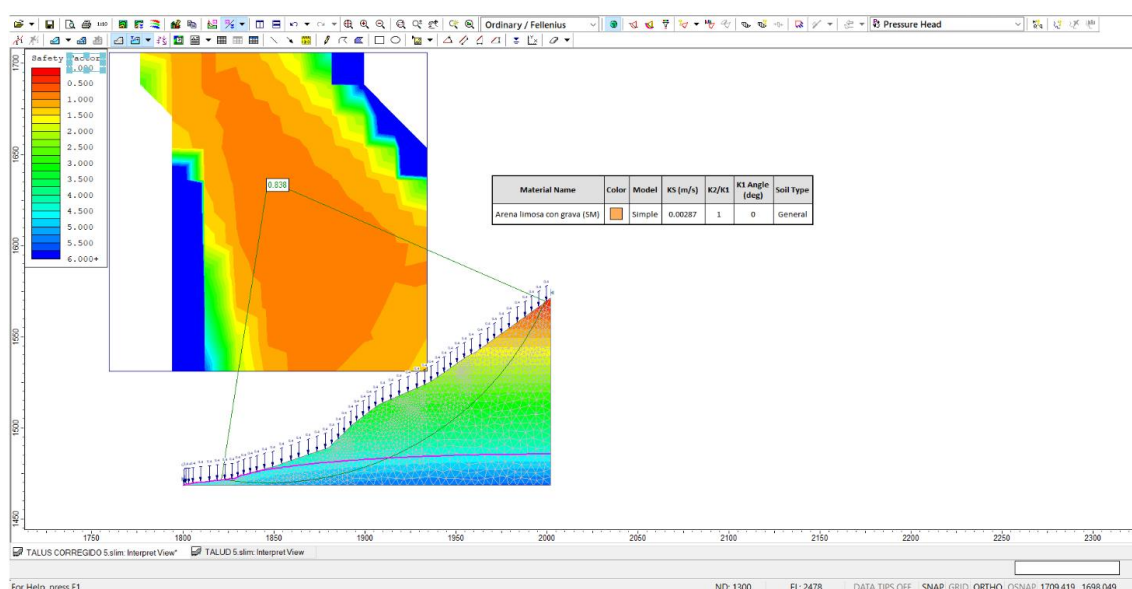
En la ilustración 37, la tonalidad naranja de la columna representa un factor de seguridad (FS) inferior a 1.50, con un valor de 0.911, lo que no cumple con la norma CE.020. Este análisis se ha llevado a cabo considerando una permeabilidad de $K = 1.54 \times 10^{-2}$ m/s y un valor de infiltración de 0.40 m/día para un periodo de retorno de 100 años. El aumento en la permeabilidad implica que el agua puede infiltrarse más rápidamente en el suelo, acelerando la saturación y generando mayores presiones de poro, lo que disminuye la resistencia al corte del material. La alta infiltración indica que el agua penetra a una velocidad considerable, facilitando una saturación rápida del talud.

Este proceso de saturación reduce drásticamente la fricción interna del suelo, mientras que la pérdida de cohesión efectiva agrava aún más la disminución de la resistencia

estructural. El análisis concluye que el talud presenta un alto riesgo de falla, ya que la combinación de estos factores reduce significativamente su capacidad para resistir deslizamientos, generando una inestabilidad crítica. También se viene realizando la evaluación de la sección crítica que se encuentra en el tramo determinado.

Figura 38

Evaluación del Factor de seguridad mediante método de Fellenius, en condición estática, con infiltración del Sub tramo Km 00+610 al km 00+670



Nota. Elaboración propia, obtenido de software Slide V6.0.

En la ilustración 38, la tonalidad naranja de la columna representa un factor de seguridad (FS) inferior a 1.50, con un valor de 0.838, lo que no cumple con la norma CE.020. Este análisis se ha llevado a cabo considerando una permeabilidad de $K=2.87 \times 10^{-3}$ m/s y un valor de infiltración de 0.40 m/día para un periodo de retorno de 100 años. El aumento en la permeabilidad implica que el agua puede infiltrarse más rápidamente en el suelo, acelerando la saturación y generando mayores presiones de poro, lo que disminuye la resistencia al corte del material. La alta infiltración indica que el agua penetra a una velocidad considerable, facilitando una saturación rápida del talud.

Tabla 56

Resultados del Software Slide, en condiciones estáticas, añadiendo la infiltración.

Tramo	Método	Factor de seguridad
PG 00+230 al PG 00+265	Fellenius	0.593
PG 00+265 al PG 00+350	Fellenius	0.619
PG 00+350 al PG 00+560	Fellenius	0.727
PG 00+560 al PG 00+610	Fellenius	0.911
PG 00+610 al PG 00+670	Fellenius	0.838

Nota. Elaboración propia.

Se observa los resultados del análisis que muestran un cambio significativo en los valores con respecto al factor de seguridad, el cual el vienen siendo inferiores a lo que exige la normal, lo que esto indica un alto riesgo de deslizamiento bajo condiciones de lluvia prolongada y alta infiltración. La saturación rápida del suelo y la pérdida de cohesión reducen significativamente la estabilidad de talud. La presión de poros elevada, indicada consistentemente por el color naranja en todas las figuras, resalta la necesidad de medidas de mitigación urgentes para prevenir deslizamientos. Estos hallazgos subrayan la importancia de realizar intervenciones estructurales y de drenaje adecuadas para garantizar la estabilidad de los taludes en cumplimiento con la normativa vigente.

5.2 Prueba de hipótesis

Contrastación de la Hipótesis específica 1

H₀: La infiltración no tiene un efecto significativo en la estabilidad de los taludes en la vía vecinal Emp AP-647 en el tramo Km 00+230 - km 00+670 de Aymas Alto Abancay, Apurímac 2023

H₁: La infiltración tiene un efecto significativo en la estabilidad de los taludes en la vía vecinal Emp AP-647 en el tramo Km 00+230 - km 00+670 de Aymas Alto Abancay, Apurímac 2023.

Análisis de contrastación de datos

Tabla 57

Análisis de la contrastación de datos por el método de regresión lineal

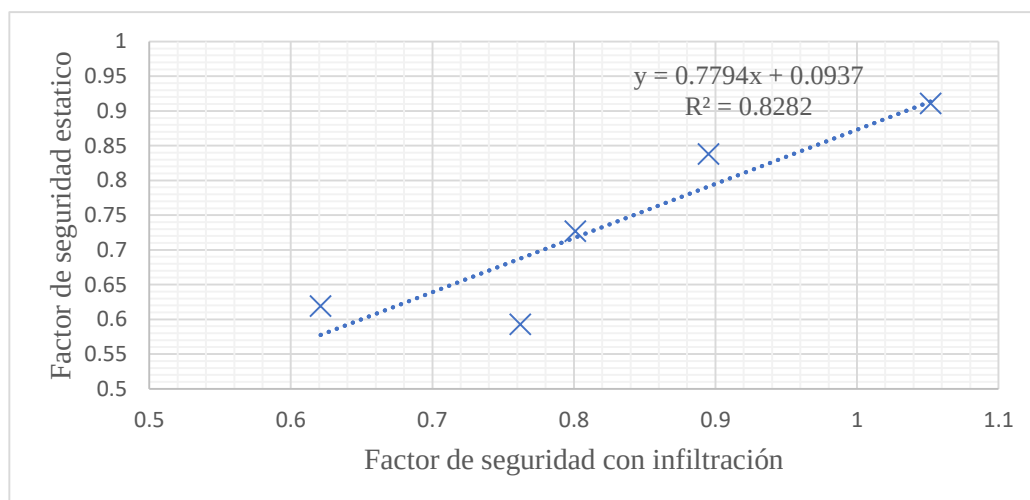
Talud	Factor de Seguridad estático	Factor de Seguridad con Infiltración	Predicción del Modelo (Ajustado)	Residuales	R-squared
1	0.762	0.593	0.687565	-0.094565	0.828178
2	0.621	0.619	0.577676	0.041324	0.828178
3	0.801	0.727	0.71796	0.00904	0.828178
4	1.052	0.911	0.913578	-0.002578	0.828178
5	0.895	0.838	0.79122	0.04678	0.828178

Nota. Elaboración propia

De la siguiente tabla 57, se realizó un análisis de regresión lineal para modelar la relación entre el factor de seguridad en condiciones estáticas y el factor de seguridad con infiltración, brindando una ecuación de la regresión $y = 0.7794x + 0.0937$, siendo un valor R^2 0.8282, brindando un buen ajuste ya que la hipótesis alterna H1 teniendo que la infiltración tiene un efecto significativo en la estabilidad de taludes de la zona de Aymas alto.

Figura 39

Comparación del factor de seguridad en condiciones estáticas y con infiltración



Nota. Representación de la ecuación de la regresión lineal, para la determinación del coeficiente de determinación R^2 0.82.

Contrastación de la Hipótesis específica 2

H₀: La intensidad de las precipitaciones pluviales no tiene un efecto significativo en la estabilidad de los taludes.

H₁: La intensidad de las precipitaciones pluviales tiene un efecto significativo en la estabilidad de los taludes.

Análisis de contrastación de datos

Tabla 58

Análisis de la contrastación de datos por el método de regresión lineal

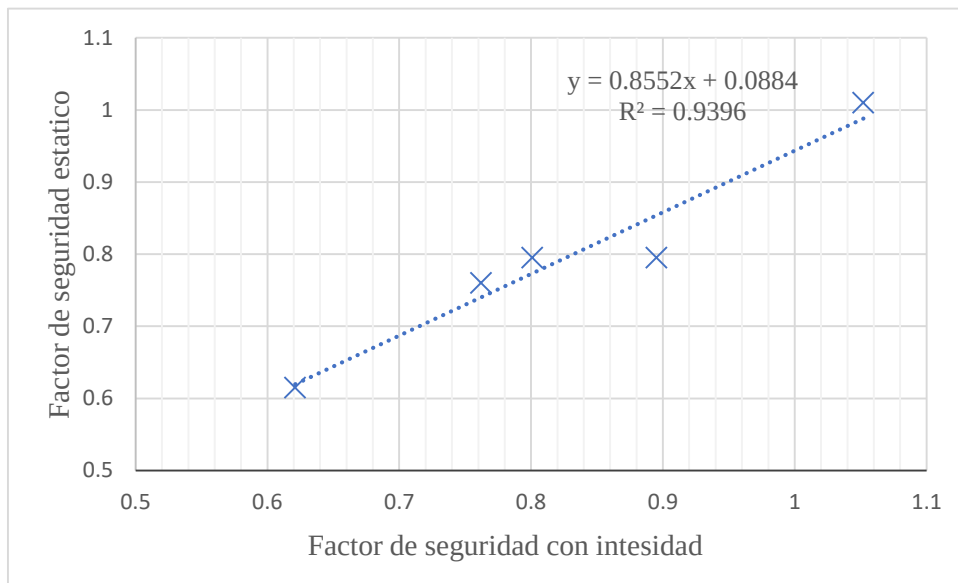
Talud	Factor de Seguridad estático	Factor de Seguridad con Intensidad	Predicción del Modelo (Ajustado)	Residuales	R-squared
1	0.762	0.76	0.740095	0.019905	0.939608
2	0.621	0.615	0.619511	-0.004511	0.939608
3	0.801	0.795	0.773449	0.021551	0.939608
4	1.052	1.01	0.988107	0.021893	0.939608
5	0.895	0.795	0.853839	-0.058839	0.939608

Nota. Elaboración propia

De la tabla 58 mostrada, se realizó un análisis detallado de regresión lineal para modelar la relación entre el factor de seguridad en condiciones estáticas y el factor de seguridad con infiltración, brindando una ecuación de la regresión $y = 0.8552x + 0.0884$, siendo un valor R^2 0.9396, brindando un buen ajuste ya que la hipótesis alterna H₁ teniendo que, al incremento de la intensidad de las precipitaciones pluviales, disminuye la estabilidad de taludes.

Figura 40

Comparación del factor de seguridad en condiciones estáticas y con infiltración



Nota. Representación de la ecuación de la regresión lineal, para la determinación del coeficiente de determinación R^2 0.94

5.3 Discusión de resultados

En este estudio, se realizó el modelamiento de estabilidad de taludes en condiciones estáticas utilizando el software SLIDE V6.0 para evaluar cinco secciones distintas del tramo km 00+230 al km 00+670. Los resultados demuestran una situación de inestabilidad en los taludes evaluados, con factores de seguridad (FS) consistentemente inferiores a 1.5, el mínimo requerido según la normativa CE.020 de suelos y taludes. Se observó que la precipitación máxima de 24 horas evaluada para un periodo de retorno de 100 años, junto con la tasa de infiltración de 16.55 mm/hr, influyó significativamente en la reducción de los FS, revelando zonas críticas que son vulnerables a deslizamientos.

Comparando con estudios previos, Camacho & Granados (2023) encontraron que la lluvia es el principal factor desencadenante de la inestabilidad de los taludes, lo cual coincide con nuestros resultados, donde la infiltración resultó en una disminución de los FS en cada sección evaluada. Similarmente, Nasiri & Mohammadzade (2022) utilizaron el software

Slide para evaluar la estabilidad de taludes y encontraron factores de seguridad variables, destacando la precisión del software en diferentes condiciones geotécnicas e hidrológicas, lo cual también se refleja en el presente estudio.

Ramírez (2022) demostró que la variabilidad en la saturación del suelo afecta significativamente la estabilidad de los taludes en suelos residuales tropicales, lo cual es congruente con nuestros hallazgos, ya que la infiltración mostró una reducción del FS en todas las secciones. Onofa & Villalba (2021) evaluaron la estabilidad y erosión de taludes con diferentes ángulos de inclinación, observando una mayor susceptibilidad a la erosión en taludes más inclinados. Aunque no se varió la inclinación en este estudio, los taludes mostraron inestabilidad bajo condiciones de infiltración, similar a sus conclusiones.

Malagón & Vanegas (2020) concluyeron que altas intensidades de precipitación pueden desencadenar deslizamientos, un hallazgo que refuerza nuestros resultados donde la precipitación intensa redujo significativamente los FS. Aro (2020) evaluó la influencia de la infiltración de agua en la estabilidad de taludes y encontró que el aumento de la saturación del suelo desestabiliza los taludes, lo cual se alinea con nuestros resultados que muestran una disminución del FS con la infiltración.

Alagón (2018) reportó un FS de 0.645 en su estudio de deslizamientos influenciados por la infiltración, similar a los valores críticos observados en nuestro estudio. Mujica & Reymundo (2022) encontraron que la infiltración y el ángulo de inclinación afectan significativamente el FS de los taludes, coincidiendo con la significativa influencia de la infiltración observada en nuestro estudio.

Bautista & Izquierdo (2020) identificaron suelos con baja plasticidad y alta susceptibilidad a la licuefacción como propensos a deslizamientos, reflejando una similitud en los factores geotécnicos que influyen en la estabilidad del talud observados en nuestro estudio. Medina (2020) observó que factores como la altura del talud y el terreno accidentado

afectan negativamente el FS, una observación que resuena con la inestabilidad observada en nuestros taludes bajo condiciones de infiltración.

Aguilar & Maldonado (2023) utilizaron un modelo de mapeo para identificar zonas vulnerables a deslizamientos por saturación de suelos, encontrando una alta susceptibilidad, similar a la identificación de zonas críticas en el presente estudio. El estudio de IGP (2018) en el sector Fonavi identificó deslizamientos rotacionales debido a la alta porosidad y saturación de materiales aluviales, reflejando los efectos adversos de la saturación en la estabilidad del talud observados en nuestro estudio.

Los alcances de este estudio incluyen una evaluación detallada de la estabilidad de los taludes en condiciones estáticas y bajo la influencia de la infiltración, proporcionando una visión clara de las zonas vulnerables a deslizamientos en el tramo evaluado. La utilización del software SLIDE V6.0 demostró ser una herramienta efectiva para el modelamiento de la estabilidad de taludes, confirmando su precisión y aplicabilidad en diferentes condiciones geotécnicas. Este estudio aporta al conocimiento existente al resaltar la importancia de considerar la infiltración y las precipitaciones extremas en la evaluación de la estabilidad de los taludes, lo cual es crucial para la planificación y diseño de medidas de mitigación.

Sin embargo, este estudio presenta algunas limitaciones. La evaluación se centró exclusivamente en condiciones estáticas y no consideró posibles efectos dinámicos como sismos, los cuales pueden influir significativamente en la estabilidad de los taludes. Además, la caracterización geotécnica y las condiciones hidrológicas fueron limitadas a los parámetros medidos durante el estudio, lo cual puede no reflejar variaciones temporales o espaciales más amplias. Futuras investigaciones podrían ampliar estos análisis incluyendo factores dinámicos y una mayor variabilidad en las condiciones geotécnicas e hidrológicas para obtener una comprensión más completa de la estabilidad de los taludes.

VI Conclusiones

1. Conclusión general

Se ha determinado que el flujo de infiltración influye directamente en la inestabilidad de los taludes, provocando deslizamientos. Esto se corrobora con los datos de un periodo de retorno de 100 años, que presentan un valor de 16,55 mm/hr o 0,3972 m/día para la capacidad de infiltración. Este flujo de infiltración genera una disminución en la estabilidad del talud, con factores de seguridad que varían entre 0.593 y 0.911. La diferencia observada entre las condiciones naturales y aquellas afectadas por la infiltración indica un peligro inminente.

2. Conclusión específica 1

Se determina que el factor de infiltración, se siguieron ciertos parámetros y se utilizaron datos específicos de la zona de estudio. Se obtuvo un coeficiente de escorrentía basado en el manual de hidrología y drenaje del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC), resultando en un valor de 16.55 mm/hr. Además, los valores de capacidad de infiltración o permeabilidad del suelo oscilaron entre 2.53×10^{-2} y 4.62×10^{-3} , indicando que los suelos presentan una infiltración considerablemente alta, caracterizándolos como suelos de alta permeabilidad.

3. Conclusión específica 2

Se concluye que la construcción de las curvas Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF) se llevó a cabo utilizando los datos de la estación más cercana, la Granja de San Antonio, la cual cuenta con 33 registros anuales. Para un período de retorno de 100 años y una duración de recepción de 1 hora, se calcula una precipitación de diseño de 66,61 mm. A partir de este valor, se calculó la intensidad máxima de precipitación, que es de 30,09 mm/hr.

VII Recomendaciones

- Del tramo evaluado, se recomienda realizar una estabilización mediante reforestación con especies de raíces profundas. Esta medida ayudará a reducir la infiltración de agua en el suelo, mejorando la estabilidad de los taludes en el tramo Km 00+230 - km 00+670 de la vía Emp. AP-647 (Dv. Atumpata). La vegetación contribuirá a mantener la cohesión del suelo y a reducir la erosión.
- Se recomienda a la población evitar la construcción de viviendas en las zonas bajas comprendidas entre el Km 00+230 - km 00+670. Los estudios indican que los taludes en esta área presentan un alto riesgo de deslizamientos, riesgo que se incrementa significativamente durante las temporadas de precipitaciones intensas. Construir en estas áreas podría poner en peligro la vida y la propiedad de los residentes.
- Se recomienda establecer un sistema de monitoreo continuo de los taludes para detectar cambios en la estabilidad. Esto puede incluir el uso de tecnologías de vigilancia geotécnica, estaciones meteorológicas para el monitoreo de precipitaciones y sensores de humedad del suelo. La información recopilada permitirá tomar decisiones informadas y realizar intervenciones preventivas oportunas.
- Es importante llevar a cabo programas de capacitación y concienciación para la comunidad sobre los riesgos de deslizamientos y la importancia de las medidas preventivas. Estos programas deben incluir información sobre cómo identificar señales de inestabilidad en los taludes y las acciones a seguir en caso de emergencia.

VIII Referencias

- Aguilar, G., & Maldonado, Á. (2023). *Identification of hazard areas due to landslides on slopes due to soil saturation in the Mariño river catchment , Abancay - Apurímac*. <https://doi.org/https://doi.org/10.54139/revinguc.v30i1.347>
- Alagón, D. (2018). *Análisis del flujo de filtraciones para la estabilidad física del deslizamiento - cerro Tumbay Orcco - Lucre - Cusco -2018* [Tesis para optar el título de Ingeniero Civil, Universidad César Vallejo]. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/25728>
- Aparicio, F. (1989). Fundamentos de Hidrología de Superficie. In *Journal of Chemical Information and Modeling* (Vol. 53, Issue 9).
- Arias, C., Yangali, J., Lozada, O., Acuña, L., & Arellano, C. (2020). *La investigación Científica una aproximación para los estudios de posgrado* (Universida, Issue september 2016).
- Arias, F. (2012). El Proyecto de Investigación Introducción a la metodología científica. In C. A. EPISTEME (Ed.), *El proyecto de investigación* (6ta Eedici, Vol. 6).
- Aro, R. (2020). Efecto de la infiltración del agua en los deslizamientos de las laderas de Quilahuani Provincia de Candarave – Tacna [Tesis para optar el título de ingeniero Geólogo, Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann]. In *Repositorio REI*. <https://repositorio.unjbg.edu.pe/handle/20.500.12510/2796>
- ASMTD420. (2018). Standard Guide to Site Characterization for Engineering Design and. *Practice, 04*(Reapproved), 1–7. <https://doi.org/10.1520/D0420>
- ASTM D422. (2007). ASTM D-422 Standard Test Method for Particle Size Analysis. *ASTM Internacional*, 63, 1–15.
- ASTM D4318. (2017). *Standards test Methods for liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils. 08*(Reapproved 1989), 3–4. <https://doi.org/10.1520/industry>

- Bautista, A., & Izquierdo, E. (2020). *Análisis de los factores detonantes para controlar la inestabilidad de talud en el Distrito Tumbadén - Cajamarca, 2020* [Tesis para optar el título de ingeniero Geólogo, Universidad Privada del Norte].
<https://hdl.handle.net/11537/24207>
- Braja M., D. (2019). Principles of Foundation Engineering. In *Theory and Practice of Curriculum Studies* (9 na Edici, Issue 2006466025).
- Budhu, M. (2010). *Soil Mechanics and Foundations* (Third Edit).
- Camacho, L., & Granados, C. (2023). El agua como agente principal de la inestabilidad de taludes. *Annali Di Ca' Foscari. Serie Orientale*, 1.
<https://doi.org/10.30687/annor/2385-3042/2023/01>
- CE.020. (2012). *Norma CE.020 Suelos y Taludes*.
<https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/2366640/50 E.020 CARGAS.pdf>
- Coras-Merino, P. M., Arteaga-Ramírez, R., & Vázquez-Peña, M. (2005). Análisis de frecuencias de lluvias máximas con fines de drenaje superficial, local, Tabasco, México. *Tierra Latinoamericana*, 23(1), 113–120.
- Dai, F. C., Lee, C. F., & Wang, S. J. (2003). Characterization of rainfall-induced landslides. *International Journal of Remote Sensing*, 24(23), 4817–4834.
<https://doi.org/10.1080/014311601131000082424>
- De Chiara, G., Ferlisi, S., & Cascini, L. (2015). Rainfall-induced slope instabilities in pyroclastic soils: The case study of Mount Albino (Campania region, southern Italy). *Volcanic Rocks and Soils, September*, 165–166. <https://doi.org/10.1201/b18897-37>
- Donnini, M., Santangelo, M., Gariano, S. L., Bucci, F., Peruccacci, S., Alvioli, M., Althuwaynee, O., Ardizzone, F., Bianchi, C., Bornaetxea, T., Brunetti, M. T., Cardinali, M., Esposito, G., Grita, S., Marchesini, I., Melillo, M., Salvati, P., Yazdani, M., & Fiorucci, F. (2023). Characteristics of the landslides triggered by the extraordinary

- rainfall event occurred in Central Italy on September 15, 2022 Federica. *Landslides*, 20(10), 2199–2211. <https://doi.org/10.1007/s10346-023-02109-4>
- Evans, J., Ruffing, D., & Elton, D. (2022). *Fundamentals of Ground Improvement Engineering* (Frist edit).
- Forsythe, W. (1985). *Manual de Laboratorio Física de suelos* (Segunda Ed). <http://repositorio.iica.int/bitstream/handle/11324/7841/BVE19040149e.pdf;jsessionid=BF7E05A616A8B1B84CBE8D4488A0138B?sequence=1>
- Frankie. (2013, March). *Permeabilidad de los suelos: concepto y determinación («in situ» y en laboratorio) - Estudios Geotécnicos*. https://estudiosgeotecnicos.info/index.php/permeabilidad-de-los-suelos/#google_vignette
- Gonzáles, L., Ferrer, M., Ortuño, L., & Oteo, C. (2004). *Ingeniería Geológica*. <https://www.libreriaingeniero.com/2020/09/ingenieria-geologica-luis-i-gonzalez-de-vallejo.html>
- González, C. (2020). *Estudios de Infiltración y determinación de la constante de Permeabilidad en los Suelos* [Tesis para optar el Ingeniero de Constructor, Universidad de Talca]. https://www.researchgate.net/publication/343004923_Estudios_de_infiltracion_y_determinacion_de_la_constante_de_permeabilidad_en_los_suelos_de_la_Facultad_de_Ingenieria_Universidad_de_Talca
- González, L., Ferrer, M., Ortuño, L., & Oteo, C. (2002). *Ingeniería Geológica*. In *Editorial Pearson Education, Madrid*.
- Guan, X., Sun, W., Kong, X., Zhang, F., Huang, J., & He, Y. (2023). Response of fatal landslides to precipitation over the Chinese Loess Plateau under global warming. *Frontiers in Earth Science*, 11(June), 1–14. <https://doi.org/10.3389/feart.2023.1146724>

- Gutierrez, I., Marianela, S., & Ticona, P. (2023). Structural characteristics and topographic preferences of *Polylepis rugulosa* stands according to slope exposure in the most arid region of the southwestern Peruvian Andes. *Bosque*, 44(2), 363–376. <https://doi.org/10.4067/S0717-92002023000200363>
- Haque, U., da Silva, P., Devoli, G., Pilz, J., Zhao, B., Khaloua, A., Wilopo, W., Andersen, P., Lu, P., Lee, J., Yamamoto, T., Keellings, D., Jian-Hong, W., & Glass, G. E. (2019). The human cost of global warming: Deadly landslides and their triggers (1995–2014). *Science of the Total Environment*, 682, 673–684. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.03.415>
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2014). Metodología de la Investigación. In *Jurnal Penelitian Pendidikan Guru Sekolah Dasar* (6ta Edición, Vol. 6, Issue August). McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V.
- IGP. (2018). *Evaluación Geológica, Geodinámica y Geotécnica del Sector Fonavi - Abancay*. 2018(511), 1–51.
- Instituto Geológico Minero y Metalúrgico de Geología Ambiental y Riesgo Geológico. (2021). *Evaluación de Peligros Geológicos por deslizamientos en la comunidad campesina de Pampamarca (Sector de Marjuni)* (Informe Té, pp. 1–31).
- Instituto Nacional de Defensa Civil, & Centro de Operaciones de Emergencia Nacional. (2021). Deslizamiento en el Distrito de Abancay-Apurímac. In *Indeci*. <https://portal.indeci.gob.pe/wp-content/uploads/2021/12/REPORTE-COMPLEMENTARIO-Nº-186-9ENE2021-DESLIZAMIENTO-EN-EL-DISTRITO-DE-ABANCAY-APURÍMAC-2.pdf>
- Instituto Nacional de Defensa Civil, & Sub Dirección de Aplicaciones Estadísticas. (2023). *Compendio Estadístico del INDECI*. <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/5591372/4965310-compendio-final->

af-2023-indeci.pdf

Lambe, W., & Whitman, R. (2004). *Mecánica de Suelos* (Limusa).

Linsley, R., Kohler, M., & Paulus, J. (1958). Hidrología para ingenieros. In *McGraw-Hill* (segunda Ed, Issue 2).

Malagón, J., & Vanegas, J. (2020). Análisis de la incidencia de las lluvias antecedentes en la estabilidad del talud en el sector altos de la estancia en Bogotá D.C. [Tesis para optar el título de Ingeniero Civil, Universidad Santo Tomás]. In *Satukan Tekad Menuju Indonesia Sehat*. <http://hdl.handle.net/11634/28245>

Matteis, Á. F. (2003). *Geología y Geotecnia Tema : Estabilidad de taludes* [Universidad Nacional de Rosario]. https://www.academia.edu/7518364/Geología_y_Geotecnia_Tema_Estabilidad_de_taludes

Medina, L. (2020). *Estabilización de taludes de gran altura analizados mediante métodos de equilibrio límite, carretera Taquebamba - San Mateo, Aymaraes, Apurímac 2020* [Tesis para optar el título de ingeniero Ciivil, Universidad César Vallejo]. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/57421>

MINVU. (1996). *Técnicacs Alternativas para Soluciones de Aguas Lluvias en Sectores Urbanos*. (C. chilena de la Construcción (ed.)). <https://snia.mop.gob.cl/repositoriodga/handle/20.500.13000/3721>

MTC. (2012). *Manual de Hidrología, Hidráulica y Drebage*.

MTC, M. . (2016). Manual de Ensayo de Materiales. In *Manual de Ensayo de Materiales* (Mayo del 2). [https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/documentos/manuales/Manual Ensayo de Materiales.pdf](https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/documentos/manuales/Manual%20Ensayo%20de%20Materiales.pdf)

Mujica, J., & Reymundo, J. (2022). *Análisis de estabilidad de taludes desde el Púente*

- Posanca hasta el Poblado Licahuasi de la Carretera LM 111 en el Distrito de Arahuary* (Issue 8.5.2017) [Tesis para optar el título de ingeniero Civil, Universidad Tecnológica del Perú]. <https://hdl.handle.net/20.500.12867/6737>
- Murthy, V. N. S. . (2003). Geotechnical Engineering- Principles and Practices of Soil Mechanics and Foundation Engineering. In *Taylor & Francis* (Vol. 6, Issue October). Taylor & Francis. https://books.google.com/books/about/Geotechnical_Engineering.html?hl=es&id=Lhetuhms4t4C
- Nasiri, M., & Mohammadzade, M. (2022). Cut slope stability assessment along forest roads using the limit equilibrium approaches and Slide software. *Journal of Forest Science*, 68(5), 182–189. <https://doi.org/10.17221/21/2022-JFS>
- Onofa, S., & Villalba, R. (2021). *Influencia de la precipitación y escorrentia en taludes modelados a escala con ángulos de inclinación de 15°, 30° y 45°, Recubiertos con geomantos de Fibra de Coco y Sintetico, para estabilización y control de erosión* [Tesis para optar el título de Ingeniero Civil, Pontificia Universidad Católica del Ecuador]. <https://repositorio.puce.edu.ec/items/1356cb4d-2120-42ef-8aea-78f71ba57b3f>
- Ortiz, S. C. (2020). *Estimación de parámetros de resistencia en suelos arenosos empleando el ensayo DPL y su aplicación en los estudios de zonificación sísmica Geotécnica - Caso Catacaos*. https://sigrid.cenepred.gob.pe/sigridv3/storage/biblioteca//13872_estimacion-de-parametros-de-resistencia-en-los-suelos-arenosos-empleando-el-ensayo-dpl-y-su-aplicacion-en-los-estudios-de-zonificacion-sismica-geotecn.pdf
- Rajchl, M. (2023). *Las lluvias no ocasionan los desastres*. Michal Rajchl. <https://www.noticiasser.pe/las-lluvias-no-ocasionan-los-desastres>

- Ramírez, C. (2022). *Análisis de Estabilidad de explanaciones viales en suelos residuales anisotrópicos tropicales en condiciones de parcial saturación* (Issue 8.5.2017) [Tesis para optar el título de Ingeniero Civil, Universidad Católica de Colombia]. <https://hdl.handle.net/10983/27788>
- RNE. (1997). Norma E.050 Suelos y Cimentaciones. *Norma*, 55.
- Suarez, J. (1998). Deslizamientos y Estabilidad de Taludes en zonas tropicales. In I. de Suelos (Ed.), *Publicaciones UIS* (Vol. 1). <https://desastres.medicina.usac.edu.gt/documentos/docgt/pdf/spa/doc0101/doc0101.pdf>
- Tamayo, M. (2004). El Proceso de la Investigación Científica. In *Tabasco, Mexico* (Cuarta edi). https://books.google.com.cu/books/about/El_proceso_de_la_investigación_científ.htm?hl=es&lr=&id=BhymmEqkkJwC&oi=fnd&pg=PA13&dq=niveles+y+tipos+de+investigación+científica&ots=TrdH9o25oH&sig=L
- Terzaghi, K., & Peck, R. (1963). Mecánica de Suelos en la Ingeniería Práctica. In E. ANTENO (Ed.), *Mecánica de Suelos en la Ingeniería Práctica* (Segunda Ed).
- Úbeda, J., & Delgado, Y. (2018). La infiltración del agua en los suelos y componentes artificiales y materia orgánica que se utilizan en ellos para la agricultura. *Rev. Iberoam. Bioecon. Cambio Clim.*, 4(7), 889–896. <https://doi.org/10.5377/ribcc.v4i7.6299>
- Valiente, R., Salvador, M., & Díaz, A. (2015). Estabilidad de Taludes: Conceptos Básicos, Parámetros de Diseño y Métodos de Cálculo. *Ricardo Valiente Sanz; Salvador Sobrecases Martí; Aníbal Díaz Orrego*, 1, 1–5. <https://revistas.pucp.edu.pe/index.php/civilizate/article/download/16157/16579>
- Vargas, G. (2000). Criterios para la clasificación y descripción de Movimientos en Masa.

Criterios Para La Clasificación y Descripción de Movimientos En Masa, 22, 39–67.

<https://revistas.uis.edu.co/index.php/revistaboletindegologia/article/view/3965>

Villón, M. (2002). *Hidrología* (MaxSoft (ed.)).

Zhang, L., Zhang, J., Zhang, L., & Tang, W. (2011). Stability analysis of rainfallinduced slope failure: A review. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers: Geotechnical Engineering*, 164(5), 299–316. <https://doi.org/10.1680/geng.2011.164.5.299>

Zhang, S., Li, C., Peng, J., Zhou, Y., Wang, S., Chen, Y., & Tang, Y. (2023). Fatal landslides in China from 1940 to 2020: occurrences and vulnerabilities. *Landslides*, 20(6), 1243–1264. <https://doi.org/10.1007/S10346-023-02034-6/METRICS>

Los anexos, panel fotográfico y otros documentos están resguardados en la oficina de repositorio digital institucional en la Biblioteca Central de la Universidad Tecnológica de los Andes