



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS
CARRERA DE INGENIERIA HIDRAULICA

TÍTULO DEL PROYECTO DE TITULACIÓN

ANALISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES CON VARIOS METODOS EN LA
QUEBRADA "VALLE ALTO" DE LA CIUDAD DE PORTOVIEJO, ECUADOR.

PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO HIDRAULICO

AUTOR:

JEANN ALEXANDER MINA MERCHAN

TUTOR:

ING. RUDYS RAFAEL CUSME INTRIAGO

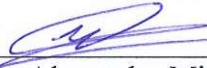
LATACUNGA, OCTUBRE 2025, MARZO 2026

Latacunga, 10 de Marzo del 2026

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Yo Jeann Alexander Mina Merchan con cedula de ciudadanía N°. 1719881664 declaro ser autor del proyecto de titulación “Análisis de estabilidad de taludes con varios métodos en la Quebrada Valle Alto de la ciudad de Portoviejo, Ecuador”, siendo el Ing.Rudys Cusme Intriago Msc. tutor del presente trabajo de titulación; y eximo expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

Además, certifico que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo de titulación, son de mi exclusiva responsabilidad.


Jeann Alexander Mina Merchan

CC: 1719881664

CONTRATO DE CESIÓN NO EXCLUSIVA DE DERECHOS DE AUTOR

Comparecen a la celebración del presente instrumento de cesión no exclusiva de obra, que celebran de una parte **JEANN ALEXANDER MINA MERCHAN**, identificado con cédula de ciudadanía No. 1719881664 de estado civil casado, a quien en lo sucesivo se denominará **EL CEDENTE**; y, de otra parte, la Doctora Idalia Eleonora Pacheco Tigselema, en calidad de Rectora, y por tanto representante legal de la Universidad Técnica de Cotopaxi, con domicilio en la Av. Simón Rodríguez, Barrio El Ejido, Sector San Felipe, a quien en lo sucesivo se le denominará **LA CESIONARIA** en los términos contenidos en las cláusulas siguientes:

ANTECEDENTES: CLÁUSULA PRIMERA. – EL CEDENTE es una persona natural estudiante de la carrera de Ingeniería Hidráulica, titular de los derechos patrimoniales y morales sobre el trabajo de grado “**ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES CON VARIOS METODOS EN LA QUEBRADA "VALLE ALTO" DE LA CIUDAD DE PORTOVIEJO, ECUADOR.**”, la cual se encuentra elaborada según los requerimientos académicos propios de la Facultad; y, las características que a continuación se detallan:

Historial Académico

Inicio de la carrera: Mayo 2020 – Septiembre 2020

Finalización de la carrera: Octubre 2025 – Marzo 2026

Aprobación en Consejo Directivo: 11 de Marzo del 2026

Tutor: Ing. Rudys Rafael Cusme Intriago, MSc

Tema: “**ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES CON VARIOS METODOS EN LA QUEBRADA "VALLE ALTO" DE LA CIUDAD DE PORTOVIEJO, ECUADOR.**”

CLÁUSULA SEGUNDA. - LA CESIONARIA es una persona jurídica de derecho público creada por ley, cuya actividad principal está encaminada a la educación superior formando profesionales de tercer y cuarto nivel normada por la legislación ecuatoriana la misma que establece como requisito obligatorio para publicación de trabajos de investigación de grado en su repositorio institucional, hacerlo en formato digital de la presente investigación.

CLÁUSULA TERCERA. - Por el presente contrato, **EL CEDENTE** autoriza a **LA CESIONARIA** a explotar el trabajo de grado en forma exclusiva dentro del territorio de la República del Ecuador.

CLÁUSULA CUARTA. - OBJETO DEL CONTRATO: Por el presente contrato **EL CEDENTE**, transfiere definitivamente a **LA CESIONARIA** y en forma exclusiva los siguientes derechos patrimoniales; pudiendo a partir de la firma del contrato, realizar, autorizar o prohibir:

f) La reproducción parcial del trabajo de grado por medio de su fijación en el soporte informático conocido como repositorio institucional que se ajuste a ese fin.

g) La publicación del trabajo de grado.

h) La traducción, adaptación, arreglo u otra transformación del trabajo de grado con fines académicos y de consulta.

i) La importación al territorio nacional de copias del trabajo de grado hechas sin autorización del titular del derecho por cualquier medio incluyendo mediante transmisión.

j) Cualquier otra forma de utilización del trabajo de grado que no está contemplada en la ley como excepción al derecho patrimonial.

CLÁUSULA QUINTA. - El presente contrato se lo realiza a título gratuito por lo que LA CESIONARIA no se halla obligada a reconocer pago alguno en igual sentido **EL CEDENTE** declara que no existe obligación pendiente a su favor.

CLÁUSULA SEXTA. - El presente contrato tendrá una duración indefinida, contados a partir de la firma del presente instrumento por ambas partes.

CLÁUSULA SÉPTIMA. - CLÁUSULA DE EXCLUSIVIDAD. - Por medio del presente contrato, se cede en favor de **LA CESIONARIA** el derecho a explotar la obra en forma exclusiva, dentro del marco establecido en la cláusula cuarta, lo que implica que ninguna otra persona incluyendo **EL CEDENTE** podrá utilizarla.


CLÁUSULA OCTAVA. - LICENCIA A FAVOR DE TERCEROS. - **LA CESIONARIA** podrá licenciar la investigación a terceras personas siempre que cuente con el consentimiento de **EL CEDENTE** en forma escrita.

CLÁUSULA NOVENA. - El incumplimiento de la obligación asumida por las partes en la cláusula cuarta, constituirá causal de resolución del presente contrato. En consecuencia, la resolución se producirá de pleno derecho cuando una de las partes comunique, por carta notarial, a la otra que quiere valerse de esta cláusula.

CLÁUSULA DÉCIMA. - En todo lo no previsto por las partes en el presente contrato, ambas se someten a lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, Código Civil y demás del sistema jurídico que resulten aplicables.

CLÁUSULA UNDÉCIMA. - Las controversias que pudieran suscitarse en torno al presente contrato, serán sometidas a mediación, mediante el Centro de Mediación del Consejo de la Judicatura en la ciudad de Latacunga. La resolución adoptada será definitiva e inapelable, así como de obligatorio cumplimiento y ejecución para las partes y, en su caso, para la sociedad. El costo de tasas judiciales por tal concepto será cubierto por parte del estudiante que lo solicitare.

En señal de conformidad las partes suscriben este documento en dos ejemplares de igual valor y tenor en la ciudad de Latacunga, a los 12 días del mes de marzo del 2026.


Jeann Alexander Mina Merchan
EL CEDENTE

Dra. Idalia Pacheco Tigselema, Ph.D.
LA CESIONARIA

Latacunga 12 de marzo del 2026

AVAL DEL TUTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

En calidad de Tutor del Proyecto de Investigación sobre el título:

“ANALISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES CON VARIOS METODOS EN LA QUEBRADA "VALLE ALTO" DE LA CIUDAD DE PORTOVIEJO, ECUADOR.”, de Jeann Alexander Mina Merchán , de la carrera de Ingeniería Hidráulica, considero que dicho Informe Investigativo es merecedor del aval de aprobación al cumplir las normas técnicas, traducción y formatos previstos, así como también ha incorporado las observaciones y recomendaciones propuestas en la pre-defensa.



Ing. Rudys Rafael Cusme Intriago, MSc

C.C.: 1313770891

TUTOR

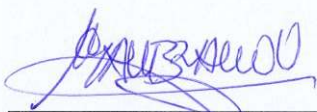
Latacunga, 13 de Marzo del 2026

AVAL DE APROBACIÓN DE LECTORES


Cumpliendo con el Reglamento de Titulación de la Universidad Técnica de Cotopaxi, en calidad de Lectores de Tribunal de Proyecto de Investigación con el Título “Análisis de estabilidad de taludes con varios métodos en la Quebrada Valle Alto de la ciudad de Portoviejo, Ecuador”, propuesto por el estudiante Jeann Alexander Mina Merchan de la Carrera de Hidráulica, me permito indicar que el estudiante ha concluido todas las observaciones y realizado las correcciones señaladas por el Tribunal de Lectores, por lo cual presentamos el Aval de aprobación del Proyecto de Titulación correspondiente a la modalidad **Proyecto de investigación** en virtud de lo cual el postulante puede presentarse a la Defensa de su Proyecto de Titulación.

Particular que pongo en su conocimiento para los fines legales pertinentes.

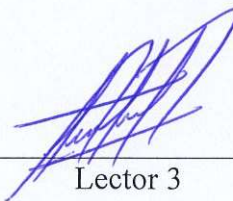
Atentamente,



Lector 1 (Presidente)
Ing. Zambrano Valverde
Mariella Fernanda MSc.
CC: 0603324401



Lector 2
Ing. Giler Ormaza
Andy Miguel MSc.
CC:1312820325



Lector 3
Ing. Toaza Iza
Jimmy Xvier Mg.
CC:1717621062

AGRADECIMIENTO

Expreso mi más sincero agradecimiento a todas las personas que contribuyeron de una u otra manera en la realización de este proyecto.

En especial, agradezco a mi padre por su apoyo constante, sus consejos y su motivación a lo largo de mi formación académica, siendo un pilar fundamental para alcanzar esta meta.

También agradezco a mis amigos Jaime, Shania, Edison, David, Jhony, Óscar y Javier, quienes me brindaron su apoyo, motivación y compañía durante este proceso, ayudándome a superar los retos hasta la culminación de este trabajo.

De igual manera, extiendo mi agradecimiento a todos los demás amigos y personas que formaron parte de este proceso, quienes con su apoyo, consejos y ánimo contribuyeron de alguna manera a la finalización de este proyecto académico.

Muchas gracias, de todo corazón, a todos ustedes. Jeann Mina. M

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de tesis principalmente a mi padre, por su apoyo incondicional, sus consejos y por ser un pilar fundamental durante toda mi formación. Gracias por motivarme y acompañarme en cada paso hasta la culminación de este importante proyecto.

Asimismo, dedico este logro a mis amigos, quienes estuvieron presentes a lo largo de este trayecto, brindándome su apoyo, ánimo y compañía en los momentos más desafiantes hasta lograr la finalización de este proyecto académico.

Mina Merchan Jeann Alexander

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS

TITULO: “ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES CON VARIOS METODOS EN LA QUEBRADA "VALLE ALTO" DE LA CIUDAD DE PORTOVIEJO, ECUADOR.”

Autor: Jeann Alexander Mina Merchan

Resumen

La presente investigación aborda el análisis de estabilidad de taludes en la quebrada “Valle Alto”, ubicada en el cantón Portoviejo, provincia de Manabí, Ecuador, zona caracterizada por una alta susceptibilidad a procesos de remoción en masa debido a sus condiciones geotécnicas y precipitaciones. Mediante la aplicación de métodos de equilibrio límite, específicamente los métodos de Fellenius, Bishop simplificado y Janbu, se busca determinar el factor de seguridad y proponer alternativas técnicas de mitigación. Para ello se realizaron ensayos de laboratorio tipo triaxial consolidado no drenado (CU) que permitieron obtener los parámetros geotécnicos del suelo.

La geometría del terreno fue obtenida mediante el procesamiento de información topográfica en QGIS y modelada en Civil 3D generándose perfiles representativos del talud. Posteriormente se efectuó el análisis de estabilidad utilizando el software Slide, complementado con cálculos manuales para validar los resultados obtenidos.

Para determinar la condición en la que se encuentra el talud se generaron escenarios de fuerzas resistentes y fuerzas deslizantes con lo cual se evalúa el factor de seguridad, determinando así el talud está en condiciones permanentes $FS > 1,50$, o en Condición inestable $FS < 1,00$ o $1,30 \leq FS < 1,50$ Estabilidad marginal.

Finalmente, los resultados permiten concluir que la aplicación de métodos de equilibrio límite constituye una herramienta eficaz para la evaluación de taludes, proporcionando una base técnica confiable para la toma de decisiones y el diseño de medidas de estabilización orientadas a la reducción del riesgo en la zona de estudio.

Palabras clave: Talud, Factor de seguridad, Estabilidad, Equilibrio Limite.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS

THEME: “ANALYSIS OF SLOPE STABILITY USING VARIOUS METHODS IN THE VALLE ALTO RAVINE IN THE CITY OF PORTOVIEJO, ECUADOR”,

Author: Jeann Alexander Mina Merchan

ABSTRACT

This research addresses the slope stability analysis of the "Valle Alto" ravine, located in the Portoviejo canton, Manabí province, Ecuador, an area characterized by high susceptibility to mass wasting processes due to its geotechnical conditions and rainfall. Through the application of limit equilibrium methods, specifically the Fellenius, simplified Bishop, and Janbu methods, the aim is to determine the safety factor and propose technical mitigation alternatives. To this end, consolidated undrained triaxial (CU) laboratory tests were performed to obtain the soil's geotechnical parameters.

The terrain geometry was obtained by processing topographic information in QGIS and modeling it in Civil 3D, generating representative slope profiles. Subsequently, the stability analysis was performed using Slide software, supplemented with calculation manuals to validate the results obtained. To determine the condition of the slope, scenarios of resisting and sliding forces were generated, allowing for the evaluation of the safety factor. This determined whether the slope was in permanent condition ($FS > 1.50$), or in unstable condition ($FS < 1.00$ or $FS < 1.50$), indicating marginal stability ($1.30 \leq FS < 1.50$).

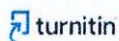
Finally, the results allow us to conclude that the application of limit equilibrium methods is an effective tool for slope evaluation, providing a reliable technical basis for decision-making and the design of stabilization measures aimed at reducing risk in the study area.

KEYWORDS: Slope, Safety factor, Stability, Limit equilibrium.

Latacunga, 11 de marzo del 2026

CERTIFICACIÓN DE INFORME DE SIMILITUD

En mi calidad de Tutor del Proyecto de Investigación con el tema: "Análisis de estabilidad de taludes con varios métodos en la quebrada "Valle Alto" de la ciudad de Portoviejo, Ecuador.", de Jeann Alexander Mina Merchan, de la carrera de Hidráulica, remito la captura de pantalla del reporte del sistema de reconocimiento de texto Turnitin, con un porcentaje de coincidencias del 8 %; y, expreso una vez más, mi conformidad en cuanto a la dirección del trabajo de titulación.



Página 2 de 55 - Descripción general de integridad

Identificador de la entrega: trnoid::1:3506110331

8% Similitud general

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

Filtrado desde el informe

- Bibliografía
- Texto citado
- Texto mencionado
- Coincidencias menores (menos de 13 palabras)

Exclusiones

- N.º de coincidencias excluidas

Fuentes principales

- 7% Fuentes de Internet
- 1% Publicaciones
- 7% Trabajos entregados (trabajos del estudiante)



Página 2 de 53 - Descripción general de la escritura con IA

Identificador de la entrega: trnoid::1:3506110331

*% detectado como IA

La detección de IA incluye la posibilidad de que haya falsos positivos. Aunque cierto texto en esta entrega se generó probablemente con IA, los puntajes inferiores al umbral del 20 % no aparecen porque tienen una mayor probabilidad de falsos positivos.

Precaución: Se necesita revisión.

Es esencial comprender los límites de la detección de IA antes de tomar decisiones acerca del trabajo del estudiante. Te alentamos a obtener más información acerca de las funciones de detección de IA de Turnitin antes de usar la herramienta.

Ing. Rudys Rafael Cusme Intriago Msc.

C.C. 1313770891

TUTOR

INDICE

1.	INFORMACION GENERAL	1
1.1.	TEMA DEL PROYECTO	1
1.2.	MODALIDAD DE TITULACIÓN	1
1.3.	TRABAJO DE PROYECTO DE TITULACIÓN VINCULADO AL PROYECTO ..	1
1.4.	EQUIPO DE TRABAJO DEL TRABAJO DE TITULACIÓN:	1
1.5.	ÁREA DE CONOCIMIENTO	2
1.6.	LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:	2
1.7.	SUBLÍNEAS DE INVESTIGACIÓN DE LA CARRERA:	2
2.	INTRODUCCIÓN.....	3
2.1.	SITUACIÓN PROBLEMÁTICA.....	4
2.2.	FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	4
2.3.	OBJETO Y CAMPO DE ACCIÓN.....	4
2.3.1.	Objeto de investigación	4
2.3.2.	Campo de acción	5
2.4.	BENEFICIARIOS	5
2.4.1.	Directo	5
2.4.2.	Indirecto.....	5
2.5.	JUSTIFICACIÓN	5
2.6.	HIPÓTESIS	5
2.7.	OBJETIVOS	6
2.7.1.	General.....	6
2.7.2.	Específicos.....	6
2.8.	SISTEMA DE TAREAS	6
3.	FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	8
3.1.	LOS DESLIZAMIENTOS	8
3.2.	TALUD.....	9

3.3.	PARTES DE UN TALUD	9
3.4.	PRESIÓN DE POROS.....	10
3.5.	QUEBRADA	11
3.6.	SLIDE 6.0	12
3.7.	TSLOPE.....	13
3.8.	QGIS	14
3.9.	MÉTODO DE EQUILIBRIO LÍMITE.....	15
3.9.1.	Método de Bishop simplificado.....	15
3.9.2.	Método de Janbú.....	16
3.9.3.	Método de Fellenius	17
4.	MÉTODOS Y PROCEDIMIENTOS	19
4.1.	ESQUEMA METODOLÓGICO.....	19
4.2.	UBICACIÓN GEOGRÁFICA Y COORDENADAS DEL ÁREA DE ESTUDIOS	20
4.2.1.	Ubicación geográfica.....	20
4.2.2.	Coordenadas del área de estudio	20
4.3.	ENSAYOS DE LABORATORIO Y CLASIFICACIÓN DE SUELOS	21
4.3.1.	Obtención de muestras.....	21
4.3.2.	Ensayo de laboratorio del suelo.....	22
4.4.	LEVANTAMIENTO Y MODELACIÓN DE LA GEOMETRÍA DEL TALUD.....	23
4.4.1.	Levantamiento topográfico del área de estudio.....	23
4.5.	SELECCIÓN DEL PERFIL REPRESENTATIVO DE LOS TALUDES DE ESTUDIO	23
4.5.1.	Modelación en civil 3D	24
4.5.2.	Integración de la geometría en el análisis de estabilidad.....	25
4.6.	PROCEDIMIENTO DE CÓMO CÁLCULAR EL FACTOR DE SEGURIDAD EN SLIDE.....	26
4.7.	PROCEDIMIENTO DE COMO CALCULAR EL FACTOR DE SEGURIDAD EN TSLOPE	27

4.8. EJECUCIÓN DEL ANÁLISIS DE ESTABILIDAD MEDIANTE LOS MÉTODOS DE FELLENIUS, BISHOP SIMPLIFICADO Y JANBU.	28
4.8.1. Método de Fellenius	29
4.8.2. Método de Bishop simplificado.....	29
4.8.3. Método de Janbu.....	30
5. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS.....	31
5.1. ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LOS CÁLCULOS MANUAL Y AUTOMATIZADO DE ESTABILIDAD DE TALUDES MEDIANTE MÉTODOS DE EQUILIBRIO LÍMITE.....	31
5.1.1. Método de Bishop.....	32
5.1.2. Método de Fellenius	38
5.1.3. Método de Janbu.....	44
5.2. ANALISIS DE RESULTADOS DE LOS CALCULOS DE ESTABILIDAD DE TALUDES CON EL SOFTWARE TSLOPE	52
5.2.1. Análisis del software Tslope	52
5.3. DISCUSIÓN	57
5.4. CONCLUSIONES	57
5.5. RECOMENDACIONES.....	58
6. REFERENCIAS	59
7. ANEXOS.....	64

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Modalidad de Titulación.....	1
Tabla 2. Campos de la Ciencia y tecnología UNESCO [1].....	2
Tabla 3. Campo de acción [1].....	5
Tabla 4. Sistema de tareas del plan de titulación.....	6
Tabla 5. Valores de corrección de Janbu	16
Tabla 6. Datos geotécnicos de taludes.....	31
Tabla 7. Visualización de FS de Slide; M. Bishop perfil 1	32

Tabla 8. Resultados del cálculo manual por M. Bishop perfil 1	33
Tabla 9. Visualización de FS de Slide M. Bishop perfil 2	34
Tabla 10. Resultados del cálculo manual del M. Bishop perfil 2.....	34
Tabla 11. Visualización de FS de Slide, M. Bishop perfil 3	35
Tabla 12. Resultados del Cálculo manual M. Bishop perfil 3.....	35
Tabla 13. Visualización de FS de Slide M. Bishop perfil 4	36
Tabla 14. Resultados del cálculo manual M. Bishop perfil 4.....	36
Tabla 15. Visualización de FS de Slide M. Bishop perfil 5	37
Tabla 16. Resultados del cálculo manual M.Bishop perfil 5.....	37
Tabla 17. FS de Fellenius de Slide perfil 1.....	39
Tabla 18. Resultados del cálculo manual M. Fellenius perfil 1	39
Tabla 19. Visualización de FS de Slide, M. Fellenius perfil 2.....	40
Tabla 20. Resultados del cálculo manual M. Fellenius perfil 2	40
Tabla 21. Visualización de FS de Slide, M. Fellenius perfil 3.....	41
Tabla 22. Resultados del cálculo manual M. Fellenius perfil 3	41
Tabla 23. Visualización de FS de Slide, M. Fellenius perfil 4.....	42
Tabla 24. Resultados del cálculo manual M. Fellenius perfil 4	43
Tabla 25. Visualización del FS de Slide, M. Fellenius perfil 5.....	44
Tabla 26. Resultados del cálculo manual M. Fellenius perfil 55	44
Tabla 27. Visualización de FS de Slide, M. Janbu perfil 1	45
Tabla 28. Resultados del cálculo manual M. Janbu perfil 1.....	45
Tabla 29. Visualización de FS de Slide, M. Janbu perfil 2	46
Tabla 30. Resultados del cálculo anual M. Janbu perfil 2.....	46
Tabla 31. Visualización de FS de Slide, M. Janbu perfil 3	47
Tabla 32. Resultados del cálculo manual M. Janbu perfil 3.....	47
Tabla 33. Visualización de FS de Slide, M. Janbu perfil 4	48
Tabla 34. Resultados del cálculo manual M. Janbu perfil 4.....	48
Tabla 35. Visualización de FS de Slide, M. Janbu perfil 5	49
Tabla 36. Resultados del cálculo manual M. Janbu perfil 5.....	49
Tabla 37. Valores de FS de Slide de los distintos métodos usados.....	50
Tabla 38. Valores del cálculo manual de FS de los distintos métodos usados.....	50
Tabla 39 Valor de factor de seguridad de Tslope perfil 1 M.Fellenius.....	52
Tabla 40 Valor de factor de seguridad de Tslope perfil 2 M.Fellenius.....	53

Tabla 41 Valor de factor de seguridad de Tslope perfil 3 M.Fellenius	53
Tabla 42 Valor de factor de seguridad de Tslope perfil 4 M.Fellenius	54
Tabla 43 Valor de factor de seguridad de Tslope perfil 5 M.Fellenius	55
Tabla 44 Tabla comparativa de resultados de Slide y Tslope	56

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Efectos directos e indirectos de los deslizamientos de tierra [15].	8
Figura 2. Talud artificial [17].	9
Figura 3. Partes generales de un talud o ladera [18].	10
Figura 4. La tensión de agua en los poros intenta unir [19].	10
Figura 5. Quebradas del Distrito Metropolitano de Quito (DMQ) [22].	11
Figura 6. Resultados de la búsqueda de cuadrícula [23].	13
Figura 7. Qgis de Escritorio [26].	14
Figura 8. Fuerzas actuantes en la dovela [30].	16
Figura 9 Esquema metodológico	19
Figura 10 Mapa de Delimitación de Qgis con curvas de nivel y perfiles representativos	¡Error! Marcador no definido.
Figura 11. Exportación de puntos [23].	26
Figura 12. Configuración de parámetros del suelo [23].	27
Figura 13 Importación de datos a Tslope	28
Figura 14 Cálculo del factor de seguridad del talud	28
Figura 15. Modelado de talud.	29
Figura 16. Cálculo de FS en Slide, M. Bishop perfil 1	32
Figura 17. Cálculo de FS en Slide, M. Bishop perfil 2	33
Figura 18. Cálculo de FS en Slide, M. Bishop perfil 3	35
Figura 19. Cálculo de FS en Slide, M. Bishop perfil 4	36
Figura 20. Cálculo de FS en Slide, M. Bishop perfil 5	37
Figura 21. Cálculo de FS Fellenius perfil 1	39
Figura 22. Cálculo de FS en Slide, M. Fellenius perfil 2	40
Figura 23. Cálculo FS en Slide, M. Fellenius perfil 3	41
Figura 24. Cálculo de FS en Slide, M. Fellenius perfil 4	42
Figura 25. Cálculo FS en Slide, M. Fellenius perfil 5	43
Figura 26. Cálculo de FS en Slide, M. Janbu perfil 1	45

Figura 27. Cálculo de FS en Slide, M. Janbu perfil 2	46
Figura 28. Cálculo de FS en Slide, M. Janbu perfil 3	47
Figura 29. Cálculo de FS en Slide, M. Janbu perfil 4	48
Figura 30. Cálculo de FS en Slide, M. Janbu perfil 5	49
Figura 31 Modelado del perfil longitudinal del perfil 1 en Tslope	52
Figura 32 Modelado de perfil 2 en Tslope	53
Figura 33 Modelado del perfil 3 en Tslope	53
Figura 34 Modelado de perfil 4 en Tslope	54
Figura 35 Modelado del perfil 5 en Tslope	55

INDICE DE ANEXOS

Anexo A.1. Análisis de suelo.
Anexo B.1. Perfil longitudinal 1
Anexo B.2. Perfil longitudinal 2
Anexo B.3. Perfil longitudinal 3
Anexo B.4. Perfil longitudinal 4
Anexo B.5. Perfil longitudinal 5
Anexo C.1. Cálculo manual M. Bishop Perfil 1.
Anexo C.2. Cálculo manual M. Bishop Perfil 2.
Anexo C.3. Cálculo manual M. Bishop Perfil 3.
Anexo C.4. Cálculo manual M. Bishop Perfil 4.
Anexo C.5. Cálculo manual M. Bishop Perfil 5.
Anexo D.1. Cálculo manual M. Fellenius Perfil 1.
Anexo D.2. Cálculo manual M. Fellenius Perfil 2.
Anexo D.3. Cálculo manual M. Fellenius Perfil 3.
Anexo D.4. Cálculo manual M. Fellenius Perfil 4.
Anexo D.5. Cálculo manual M. Fellenius Perfil 5.
Anexo E.1. Cálculo manual M. Janbu Perfil 1.

Anexo E.2. Cálculo manual M. Janbu Perfil 2.

Anexo E.3. Cálculo manual M. Janbu Perfil 3.

Anexo E.4. Cálculo manual M. Janbu Perfil 4.

Anexo E.5. Cálculo manual M. Janbu Perfil 5.

Anexo F.1. Vista en planta de los perfiles longitudinales de la zona de estudio.

1. INFORMACION GENERAL

1.1.TEMA DEL PROYECTO

Análisis de estabilidad de taludes con varios métodos en la quebrada "Valle alto" en Portoviejo, Ecuador.

1.2.MODALIDAD DE TITULACIÓN

Tabla 1. Modalidad de Titulación

MODALIDAD DE TITULACIÓN	HOMOLOGACIONES PARA INFORME FINAL DE TITULACIÓN	SELECCIÓN
Propuesta tecnológica	Informe de propuesta tecnológica	
	Patente, Propuesta tecnológica Modelo de utilidad, Certificado de propiedad intelectual.	
	Artículo científico	
Proyecto de investigación	Informe de Proyecto investigación	X
	Artículo científico	
	Patente, Modelo de utilidad, Certificado de propiedad intelectual.	
Examen de indicadores de RDA		

Elaborado por: La Universidad

1.3.TRABAJO DE PROYECTO DE TITULACIÓN VINCULADO AL PROYECTO

- AguaQuest: potenciando la investigación en recursos hídricos aplicados a la solución de problemas reales del medio.

1.4.EQUIPO DE TRABAJO DEL TRABAJO DE TITULACIÓN:

Mina Merchan Jeann Alexander y Ing. Cusme Intriago Rudys Rafael MSc.

1.5.ÁREA DE CONOCIMIENTO

Tabla 2. Campos de la Ciencia y tecnología UNESCO [1]

07 ingeniería, Industria y Construcción	073 arquitectura y Construcción	0731 arquitectura y Urbanismo
		<hr/> 0732 construcción e Ingeniería Civil

1.6.LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Meteorología, Hidrogeología, mecánica de fluidos, sistemas y obras hidráulicas.

1.7.SUBLÍNEAS DE INVESTIGACIÓN DE LA CARRERA:

Gestión y manejo sostenible y/o sustentable del recurso hídrico.

2. INTRODUCCIÓN

El suelo es una parte fundamental en cualquier obra civil que se lleve a cabo, es necesario considerar los estudios característicos físico-mecánicas de los materiales que conforman el talud. En la región costera del Ecuador los deslizamientos de suelo se presentan con mayor frecuencia debido a la combinación de precipitaciones intensas, características geológicas del terreno y procesos de saturación del suelo [2]. Para ello se estudiará la geotecnia de la zona de estudio en la provincia de Portoviejo, se realizará el ensayo de laboratorio de compresión triaxial no drenada consolidada para suelos cohesivos (CU) [3].

A través del ensayo obtendremos datos como: cohesión, ángulo de fricción, etapa de saturación, contenido de humedad, presión de poros y círculo de Mohr, los cuales son indispensables para evaluar el comportamiento del suelo bajo diferentes condiciones de carga y humedad. Para evitar los deslizamientos de taludes que ocurren debido a diferentes factores como la precipitación intensa, la ausencia de cobertura vegetal y la intervención antrópica, es fundamental comprender los mecanismos que incrementan la inestabilidad del suelo y adoptar medidas de prevención adecuadas basadas en estudios geotécnicos y ambientales [4].

Para ello se propone el análisis de estabilidad de taludes con varios métodos en la quebrada “Valle Alto”, para la aseguración de la estabilidad del terreno, permitir el aprovechamiento del suelo en futuros proyectos, disminución del riesgo para la población y contribuir al desarrollo seguro y sostenible de la zona.

Se plantea el análisis de la estabilidad de taludes mediante el cálculo del Factor de Seguridad (FS), aplicando los distintos métodos tanto el método general de las dovelas como el método de Bishop Simplificado, el método de Fellenius y el método de Janbu, considerado uno de los métodos aproximados más utilizados en ingeniería geotécnica [5]. Estos métodos permiten determinar la seguridad de una pendiente frente al deslizamiento, tomando en cuenta las propiedades físicas y mecánicas del suelo [6].

Además, investigaciones contemporáneas han incorporado enfoques comparativos entre distintos métodos de análisis para evaluar taludes en condiciones estáticas y dinámicas, evidenciando que los resultados pueden variar de manera significativa según la metodología empleada y las condiciones del terreno estudiado [7].

Se utilizaron distintos métodos complejos y detallados como se mencionó anteriormente, apoyándose en programas como, Slide para modelado de dovelas y factor de seguridad, Qgis para determinar curvas de nivel para la creación de perfiles y Civil 3D para para la elaboración

precisa de las geometrías y distribución de dovelas, lo cual facilitara la interpretación gráfica y técnica del modelo del talud [8].

Posteriormente se programará en Excel, de tal manera que sea de utilidad en la práctica profesional, ya que el programa está diseñado para únicamente pedir datos básicos relacionados al talud, como las características relacionadas al suelo, y de esta manera calcular el factor de seguridad (FS) [9].

2.1.SITUACIÓN PROBLEMÁTICA

La presencia de factores condicionantes como la pendiente, tipo de suelo, geología, topografía y desencadenantes (como las lluvias intensas o actividades humanas) en el área de estudio, constituyen elementos suficientes para que ocurran procesos de remoción en masa, especialmente en épocas de alta pluviosidad.

Teniendo en cuenta la existencia de los factores condicionantes y desencadenantes en el área de estudio, es suficiente para que la zona se vea afectada por este determinado proceso de remoción en masa. Además, con el incremento de asentamientos humanos en esta comunidad, los lugares susceptibles están siendo ocupados por nuevas infraestructuras desconociendo las consecuencias que ello implica.

En los últimos años, un estudio en las zonas costeras del Ecuador ha evidenciado una creciente vulnerabilidad frente a fenómenos naturales de origen geológico, hidrodinámico y antrópico. Este fenómeno se acentúa en áreas como la franja costanera de la urbanización Balsamaragua, ubicada en la parroquia Crucita, cantón Portoviejo, provincia de Manabí, donde la presencia de infraestructura urbana en expansión y el crecimiento desordenado de asentamientos humanos han incrementado los niveles de exposición y riesgo frente a posibles eventos adversos [11].

2.2.FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Cómo han influido los cambios en el uso de la tierra para las amenazas de derrumbes en la quebrada “Valle Alto”.

2.3.OBJETO Y CAMPO DE ACCIÓN

2.3.1. Objeto de investigación

Análisis de estabilidad de taludes con distintos métodos para la quebrada “Valle Alto”.

2.3.2. Campo de acción

Tabla 3. Campo de acción [1]

3305.15 Ingeniería Hidráulica	0732 construcción e ingeniería civil
--------------------------------------	---

2.4.BENEFICIARIOS

2.4.1. Directo

La población de Valle Alto, habitantes de la urbanización de Valle Alto en Portoviejo

2.4.2. Indirecto

Investigadores académicos, barrios cercanos a Valle Alto.

2.5.JUSTIFICACIÓN

Este proyecto tiene como objetivo analizar la problemática de inestabilidad del terreno en la zona de la quebrada Valle Alto. En esta área, se han identificado fallas estructurales en el talud y un riesgo de deslizamientos, lo que pone en peligro tanto a la comunidad como a las infraestructuras existentes.

Frente a la situación, la evaluación de estabilidad de taludes mediante métodos de equilibrio límite constituye una herramienta clave para reconocer áreas con potencial de inestabilidad y determinar el factor de seguridad bajo distintas condiciones de análisis. [11]

El uso de herramientas computacionales, apoyado en información topográfica, resultados de ensayos de laboratorio y parámetros geotécnicos, permite obtener resultados consistentes que facilitan una valoración objetiva del comportamiento de los taludes en la zona de estudio. [12]

La presente investigación se sustenta en su relevancia técnica y aplicada, dado que los resultados alcanzados servirán como fundamento para la formulación de alternativas de estabilización orientadas a la disminución del riesgo de deslizamientos.

2.6.HIPÓTESIS

La aplicación de métodos de equilibrio límite permitirá evaluar de manera adecuada la estabilidad de los taludes de la quebrada Valle Alto, identificando condiciones de inestabilidad en base diferentes métodos de análisis y softwares.

2.7.OBJETIVOS

2.7.1. General

- Analizar la estabilidad de taludes mediante métodos diversos en la quebrada Valle Alto, en el cantón Portoviejo, a fin de aplicar sus resultados en la comparación con diferentes softwares.

2.7.2. Específicos

- Caracterizar las condiciones geométricas y geotécnicas de los taludes de la quebrada ‘Valle Alto’, mediante el análisis del estado del arte, información topográfica, ensayos de laboratorio y procesamiento SIG, como base para el análisis de estabilidad.
- Evaluar la estabilidad de los taludes mediante métodos de equilibrio límite, calculando el factor de seguridad.
- Comparar los resultados del análisis de estabilidad de taludes obtenidos mediante métodos de equilibrio límite utilizando los softwares Slide y TSLOPE, para el cálculo del factor de seguridad y evaluar la similitud de los resultados.

2.8.SISTEMA DE TAREAS

Tabla 4. Sistema de tareas del plan de titulación

Objetivos específicos	Actividades (Tareas)	Resultados esperados	Técnicas, Medios e Instrumentos
Caracterizar las condiciones geométricas y geotécnicas de los taludes de la quebrada ‘Valle Alto’, mediante el análisis del estado del arte, información topográfica, ensayos de laboratorio y procesamiento SIG, como	Modelado de la zona de estudio.	Plano de curvas de la zona de estudio para establecer perfiles.	Software SIG QGIS, Software Autodesk Civil 3D.

base para el análisis de estabilidad.”.	Elaboración del estudio de suelo.	Informe con datos de cohesión y ángulo de fricción.	Ensayo de laboratorio de compresión triaxial no drenada consolidada para suelos cohesivos (CU).
Evaluar la estabilidad de los taludes mediante métodos de equilibrio límite, calculando el factor de seguridad.	Modelado en Slide y Civil 3D de taludes	Obtención de taludes y obtención de factor de seguridad por cada perfil	Software Slide, Autodesk Civil 3D y Microsoft Excel.
Evaluar la estabilidad de los taludes mediante métodos de equilibrio límite, calculando el factor de seguridad.	Aplicación los métodos de análisis más en el software de acuerdo con las condiciones y datos obtenidos.	Obtención del factor de seguridad por los distintos métodos.	Artículos Académicos
Comparar los resultados del análisis de estabilidad de taludes obtenidos mediante métodos de equilibrio límite utilizando los softwares Slide y Tslope, para el cálculo del factor de seguridad y evaluar la similitud de los resultados.	Cálculo manual en hojas electrónicas de los factores de seguridad por los diferentes métodos.	Obtención de valores de factor de seguridad manualmente.	Microsoft Excel
Comparar los resultados del análisis de estabilidad de taludes obtenidos mediante métodos de equilibrio límite utilizando los softwares Slide y Tslope, para el cálculo del factor de seguridad y evaluar la similitud de los resultados.	Cálculo del factor de seguridad en Slide y Tslope	Modelado de taludes en el software Tslope y obtención del factor de seguridad de los distintos taludes.	software Tslope
Comparar los resultados del análisis de estabilidad de taludes obtenidos mediante métodos de equilibrio límite utilizando los softwares Slide y Tslope, para el cálculo del factor de seguridad y evaluar la similitud de los resultados.	Análisis comparativo de resultados	Cuadros comparativos.	Microsoft Excel

3. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

El análisis de estabilidad de taludes tiene como finalidad evaluar la seguridad de una pendiente frente a posibles deslizamientos. A partir de este estudio se pueden identificar condiciones de riesgo y plantear medidas de estabilización que permitan prevenir movimientos de masa.

Cuando se han producido movimientos que tienden a la falla, los análisis a posteriori (back-analysis) cobran importancia, puesto que se conoce el mecanismo, modelo y geometría de la inestabilidad. Es un análisis muy útil para la caracterización geomecánica de los materiales involucrados, para el estudio de los factores influyentes en la rotura y para conocer el comportamiento mecánico de los materiales del talud; los resultados obtenidos pueden ser extrapolados a otros taludes de similares características. Estos análisis consisten en determinar, a partir de los datos de terreno necesarios (geometría, tipos de materiales, modelo de rotura y presiones hidrostáticas, entre otros), los parámetros resistentes del terreno, generalmente pares de valores c y q , que cumplan con la condición de equilibrio estricto del talud ($FS = 1$) a lo largo de la superficie de rotura, para las condiciones reales en que esta tuvo lugar [14].

3.1.LOS DESLIZAMIENTOS

Definición

Los deslizamientos de tierra corresponden a movimientos de masas de suelo o roca que se desplazan pendiente abajo debido a la acción de la gravedad. Estos fenómenos representan uno de los riesgos geológicos más importantes, ya que pueden provocar pérdidas humanas, daños en infraestructura y alteraciones en el relieve natural. [15].

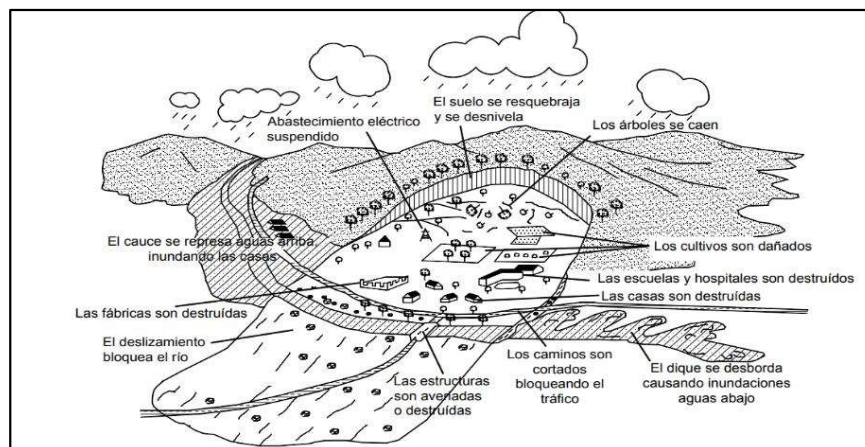


Figura 1. Efectos directos e indirectos de los deslizamientos de tierra [15].

Las zonas montañosas tropicales son muy susceptibles a sufrir problemas de deslizamientos de tierra, debido a que generalmente se reúnen cuatro de los elementos más importantes para su ocurrencia tales como el relieve, la sismicidad, la meteorización y las lluvias intensas [16].

3.2.TALUD

Definición

Un talud es una superficie inclinada del terreno que presenta una diferencia de nivel entre dos puntos. Puede originarse de forma natural, como en laderas montañosas, o generarse artificialmente durante la ejecución de obras civiles.

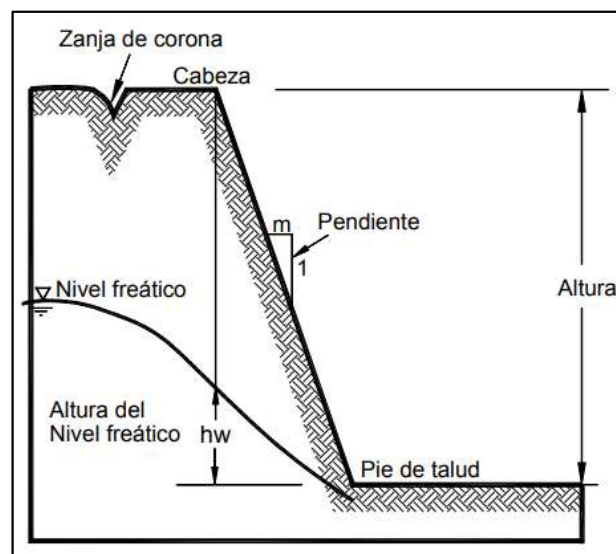


Figura 2. Talud artificial [17].

Las laderas o taludes que han permanecido estables por muchos años, pueden fallar debido a cambios topográficos, sísmicos, a los flujos de agua subterránea, a los cambios en la resistencia del suelo, la meteorización o a factores de tipo antrópico o natural que modifiquen su estado natural de estabilidad. Un talud estable puede convertirse en un “deslizamiento” [17].

3.3.PARTES DE UN TALUD

Definición

Un talud está compuesto por diferentes zonas geomorfológicas. En la parte superior se encuentra la cresta o cabeza del talud, seguida por el cuerpo o zona intermedia donde se desarrolla la pendiente principal, y finalmente el pie o base del talud donde se acumulan los materiales desplazados [18].

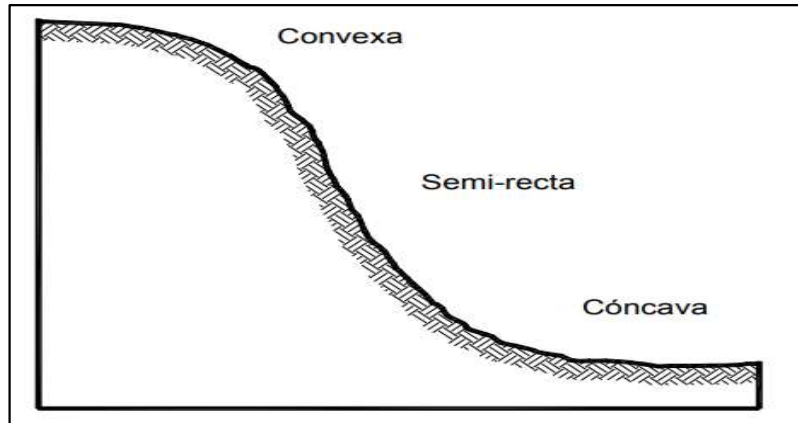


Figura 3. Partes generales de un talud o ladera [18].

3.4.PRESIÓN DE POROS

Definición

La presión de poros corresponde a la presión ejercida por el agua presente en los espacios vacíos del suelo. Este fenómeno influye directamente en la resistencia del material, ya que al aumentar la presión del agua disminuye el esfuerzo efectivo entre las partículas del suelo. La presión de poros disminuye los esfuerzos normales efectivos entre las partículas, trata de separarlas y disminuye la resistencia a la fricción (Figura 4). Al colocar una carga se puede producir un cambio en la presión de poros que se denomina como $\Delta\mu$ (exceso de presión de poros) o deficiencia de presión de poros inducidos por las condiciones de carga [19].

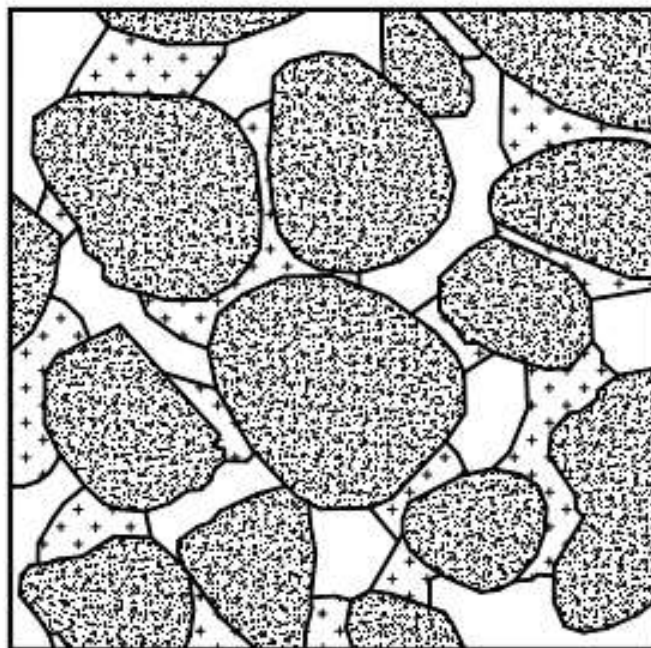


Figura 4. La tensión de agua en los poros intenta unir [19].

3.5.QUEBRADA

Definición

Las quebradas son elementos hídricos irregulares que se caracterizan por una morfología de pendiente acentuada. El no tomar en consideración esta cualidad topográfica del territorio al momento de urbanizar los bordes de quebradas provoca tramas urbanas discontinuas que se traducen finalmente en fragmentación física. Como consecuencia de ello, las quebradas se convierten en espacios degradados y poco valorados, perpetuándose malas prácticas como micro basurales, relleno, descarga de aguas residuales, asentamientos informales, delincuencia, entre otras [20].

En Geografía, se denomina quebrada a los angostos pasos que se abren entre cerros o montañas o a las hendiduras de éstas, muy comunes en regiones andinas de América del Sur, donde las quebradas, están conformadas por valles entre montañas, largas depresiones o fosas tectónicas, cuyo hundimiento se ha debido a fuerzas internas [21].

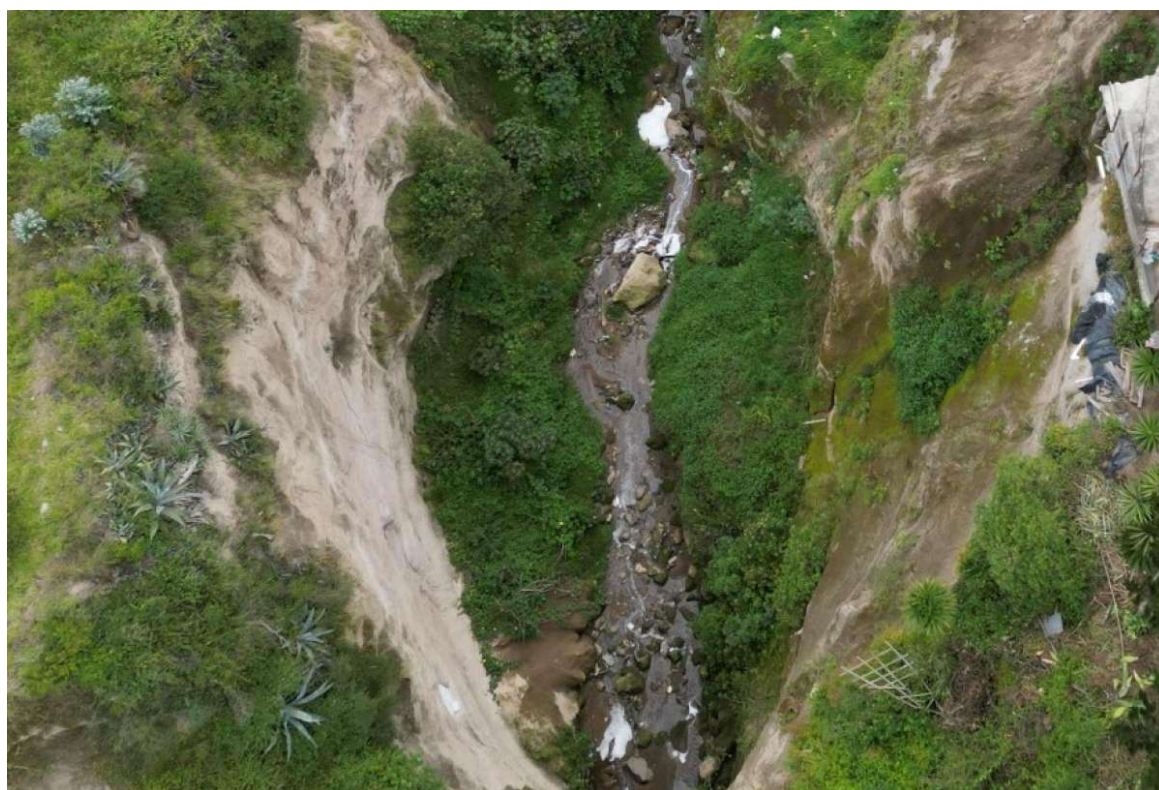


Figura 5. Quebradas del Distrito Metropolitano de Quito (DMQ) [22].

3.6.SLIDE 6.0

Definición

El software Slide 6.0 constituye una herramienta para el análisis bidimensional, fundamentada en los procedimientos de equilibrio límite, utilizada para examinar la estabilidad de taludes y establecer el factor de seguridad crítico. Este programa facilita la evaluación de diversos materiales geotécnicos, abarcando tanto suelos como macizos rocosos, y es aplicable al estudio de taludes naturales, terraplenes, diques de contención y muros de sostenimiento. Asimismo, optimiza la elaboración de la geometría del modelo, al integrar herramientas de dibujo por computadora (CAD), lo que permite una representación clara y precisa de las características del proyecto. [21]

Características del modelo

- Taludes de un solo material, homogéneo.
- Ninguna presión de agua (seco)
- Búsqueda de superficie de desplazamiento circular (Búsqueda de cuadrícula)

Superficies de Falla (“Slip Surfaces”)

El programa Slide puede analizar tantas superficies circulares como no circulares. Se puede analizar una superficie en particular o se puede realizar la búsqueda de una superficie crítica con la finalidad de encontrar la superficie de falla con el menor factor de seguridad.

Métodos de Análisis (“Analysis Methods”)

Los Métodos de Análisis que vienen programados por defecto en el programa son los métodos de análisis de equilibrio límite de Bishop y de Janbu. Sin embargo, puede seleccionar cualquiera de los métodos de análisis disponibles o todos si así lo desea y todos los seleccionados serán calculados o ejecutados.

Por defecto cuando se abra por primera vez un archivo analizado en el programa de Interpretación del Slide usted siempre verá:

La superficie de falla Mínima Global para el método de análisis Ordinary / Fellenius (si es que se seleccionó el método de análisis de Ordinary / Fellenius) Si se realizó una Búsqueda por Cuadrilla podrá apreciar superficies de contorno del factor de seguridad en la cuadrícula de centros de falla. Las superficies de contorno están basadas en el cálculo del mínimo factor de

seguridad para cada centro de falla de la cuadrícula [18]. La superficie de falla Mínima Global y la cuadrícula con superficies de contorno se pueden apreciar en la Figura 6.

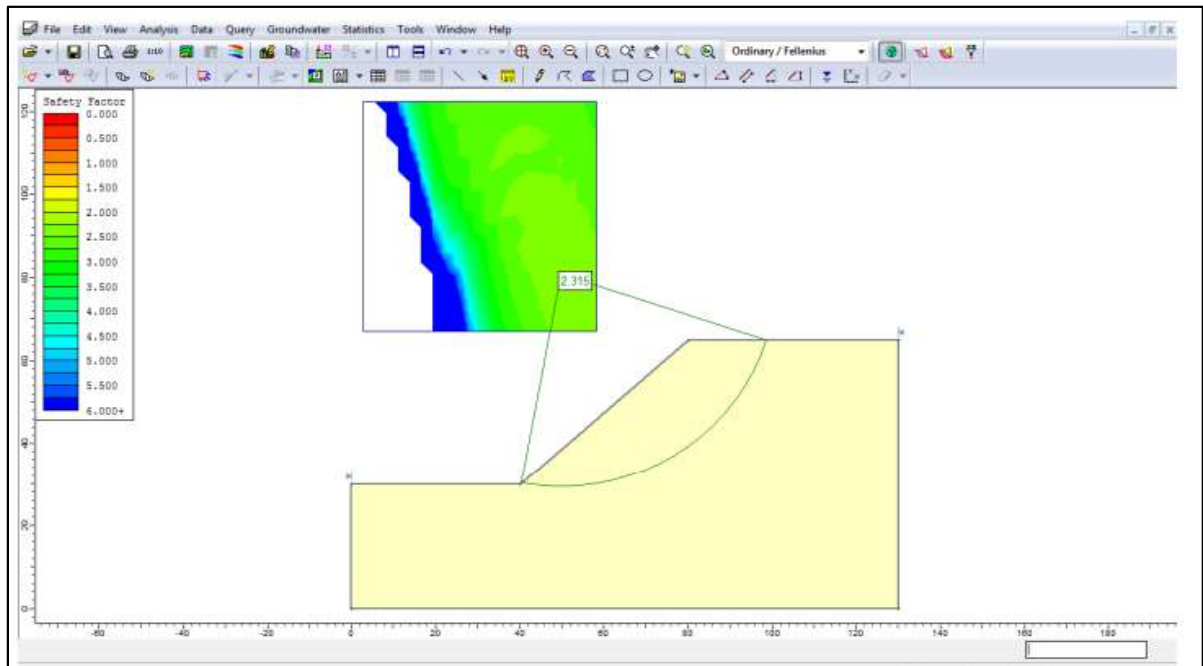


Figura 6. Resultados de la búsqueda de cuadrícula [23].

3.7.TSLOPE

Definición

El software TSLOPE es una herramienta geotécnica para el análisis de la estabilidad de taludes. Permite modelar la configuración del terreno y las propiedades del suelo o la roca para investigar el comportamiento del talud ante posibles deslizamientos. Mediante métodos de estado límite, el software determina el factor de seguridad identificando las posibles superficies de deslizamiento, facilitando así la evaluación de la estabilidad bajo diversas condiciones geotécnicas y geométricas.

Características

Análisis de estabilidad en 2D y 3D

El software permite analizar la estabilidad de taludes en dos dimensiones (2D) y en tres dimensiones (3D) dentro del mismo modelo, lo que posibilita una evaluación más realista del comportamiento del talud.

Modelación Geométrica Compleja

Este programa permite la creación de modelos tridimensionales complejos a partir de superficies topográficas, datos geológicos o secciones 2D, facilitando la representación de escudos reales con diferentes capas de suelo o roca.

Búsqueda Automática de superficies de falla

El software puede detectar automáticamente la zona crítica de deslizamiento, es decir, el punto donde el deslizamiento tiene la menor zona de seguridad.

3.8.QGIS

Definición

QGIS es un Sistema de Información Geográfica profesional de fácil uso, gratis y de código abierto, que posibilita la creación, visualización, análisis, edición y publicación de información geoespacial [24].

Al igual que los demás Sistemas de Información Geográfica existentes, QGIS, los proyectos contienen un mapa de fondo, normalmente en formato de mosaico rasterizado o vectorial, ya sea fuera de línea o como servicio en línea. Otros datos suelen incluirse como datos vectoriales almacenados en formatos locales como GeoPackage o en bases de datos como PostgreSQL/PostGIS. Recientemente, QGIS ha obtenido soporte 3D, incluidas nubes de puntos, y se utiliza para mostrar y manipular datos recogidos de lidar y otras fuentes de datos 3D [25].

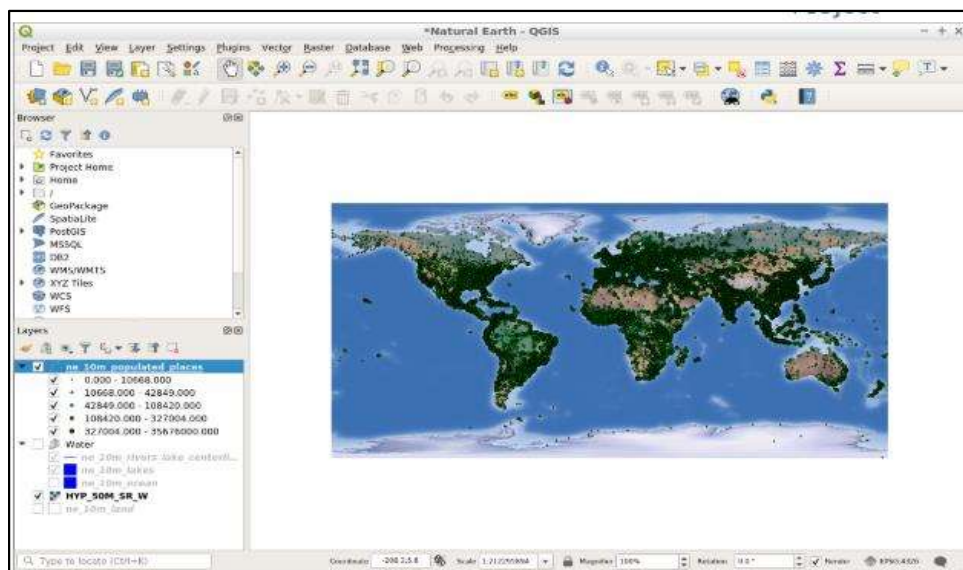


Figura 7. Qgis de Escritorio [26].

3.9.MÉTODO DE EQUILIBRIO LÍMITE

Los primeros métodos de equilibrio límite trataban la masa potencial de falla como un cuerpo libre y aplicaban únicamente las ecuaciones de equilibrio global. Este enfoque se utilizó en métodos como el Talud Infinito, el Método de Cuña y el Método Ordinario de Fellenius. Con el avance de la disciplina, se adoptó una representación más detallada del problema, dividiendo la masa inestable en dovelas y aplicando a cada una las ecuaciones de equilibrio de fuerzas y momentos. Aunque normalmente se emplean dovelas verticales, algunos estudios han utilizado dovelas horizontales o inclinadas.

En los métodos de equilibrio límite pueden considerarse tres ecuaciones: fuerzas horizontales, fuerzas verticales y momentos. Debido a que el número de incógnitas supera al de ecuaciones, el problema es estáticamente indeterminado y se suelen introducir simplificaciones en las fuerzas inter dovelas. Los métodos rigurosos, como los de Spencer y Morgenstern–Price, satisfacen las tres ecuaciones de equilibrio y proporcionan factores de seguridad consistentes entre sí. Para fallas circulares, el método Simplificado de Bishop, que utiliza solo dos ecuaciones, produce resultados cercanos a los métodos rigurosos, con diferencias relativamente pequeñas [27].

El método de Janbu, tanto en su versión simplificada como en la general, es también ampliamente empleado, especialmente para superficies no circulares y geometrías complejas. En la práctica, cuando no se conoce la forma de la superficie de falla, se recomienda utilizar métodos rigurosos por su estabilidad numérica y coherencia en los resultados. Finalmente, revisiones como las de Duncan y Krahn destacan las limitaciones del MEL y proponen complementarlo con análisis de elementos finitos para mejorar la estimación de esfuerzos y condiciones internas del suelo [28].

3.9.1. Método de Bishop simplificado

El método de Bishop es un método de cálculo basado en el principio de equilibrio límite (Methods Bishop). Es una de los métodos más utilizados actualmente para el cálculo de factores de seguridad de los taludes, aunque el método solo satisface el equilibrio de momentos, se considera que los resultados son muy precisos en comparación con el método ordinario [29].

Fórmula de Bishop para cálculo de factor de seguridad:

$$FS = \frac{1}{\sum W \sin \alpha} \sum \left\{ [c' b + (W - u_w b) \tan \phi'] \frac{\sin \alpha}{1 + (\tan \alpha \tan \phi')/F} \right\}$$

Donde:

- W = peso de la dovela (KN)
- b = ancho de la dovela (m)
- α = ángulo de inclinación de la base de la dovela
- c' = cohesión efectiva del suelo (KPa)
- ϕ' = ángulo de fricción interna efectiva del suelo
- u = presión de poros promedio

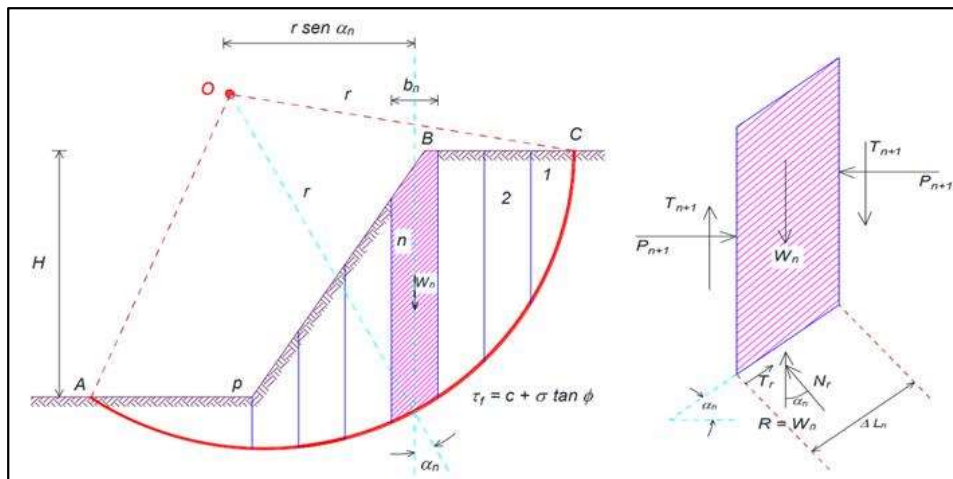


Figura 8. Fuerzas actuantes en la dovela [30].

3.9.2. Método de Janbú

Este método de análisis a diferencia del método de Bishop, donde hay equilibrio de momentos y fuerzas, solo cumple el equilibrio de fuerzas (horizontales) que actúan en una sección de talud en estudio. De este modo el equilibrio de fuerzas horizontales nos proporciona un factor de seguridad de equilibrio de fuerzas sin considerar las fuerzas entre elementos [31].

El método de Janbu simplificado se basa en la suposición de que las fuerzas entre dovelas son horizontales y no tienen en cuenta las fuerzas cortantes [29].

Tabla 5. Valores de corrección de Janbu

Condición del talud	Valor sugerido de f_0
Talud homogéneo, arcilloso o sin presión de poros significativa	1.00

Suelo granular con presión significativa	0.9 – 0.95
Condiciones muy drenadas o sin cohesión	1.0 – 1.05
Alta saturación o presión de poros alta (más inseguro)	0.85 – 0.90

Fórmula de Janbu para calcular factor de seguridad:

$$F.S = \frac{f_o \sum [C' b + (W - ub) \tan \phi]}{\sum W \tan \alpha} * \frac{1}{\cos \alpha m\alpha}$$

Donde:

- F_o = factor de corrección de Janbu
- c' = cohesión efectiva del suelo (KPa)
- b = ancho de la dovela
- W = peso de la dovela (KN)
- u = presión de poros promedio
- α = ángulo de inclinación de la base de la dovela
- $m\alpha$ = factor correctivo de Janbu

La metodología de Janbu se representa de manera similar al de dovelas (Bishop) para superficies de falla curvas, no circulares [27].

3.9.3. Método de Fellenius

El método de Fellenius, desarrollado por el ingeniero sueco Carl Fellenius, es una técnica utilizada en el análisis de estabilidad de taludes y laderas. Este método solo satisface equilibrio de momentos y no satisface equilibrio de fuerzas. Los análisis por este método son sencillos y se pueden realizar de forma manual o en computadora. Debe tenerse en cuenta que este método es menos preciso que otros procedimientos y la precisión disminuye a medida que la presión de poros se hace mayor [18].

El método de Fellenius considera superficies de falla de forma circular, que consta en segmentar verticalmente el área total, determina las fuerza que actúan y las fuerzas resultantes en cada segmento, y mediante la suma de los momentos respecto con relación al centroide

Se tiene como el factor de seguridad, es mayor que 1, se considera que el talud es estable. Por el contrario, si es menor que 1, significa que el talud es potencialmente inestable y podría experimentar un deslizamiento [32].

Fórmula de Fellenius para calcular factor de seguridad:

$$F.S. = \frac{\sum_{i=1}^n C * L + (W * \cos \alpha - u * L) * \tan \phi}{\sum_{i=1}^n W * \sin \alpha}$$

Donde:

- α = ángulo de inclinación de la base de la dovela con respecto a la horizontal.
- W= peso total de cada dovela.
- u= presión de poros
- L =longitud de arco de circulo en la base de la dovela
- C= cohesión.
- Φ = ángulo de fricción.

4. MÉTODOS Y PROCEDIMIENTOS

4.1. ESQUEMA METODOLÓGICO

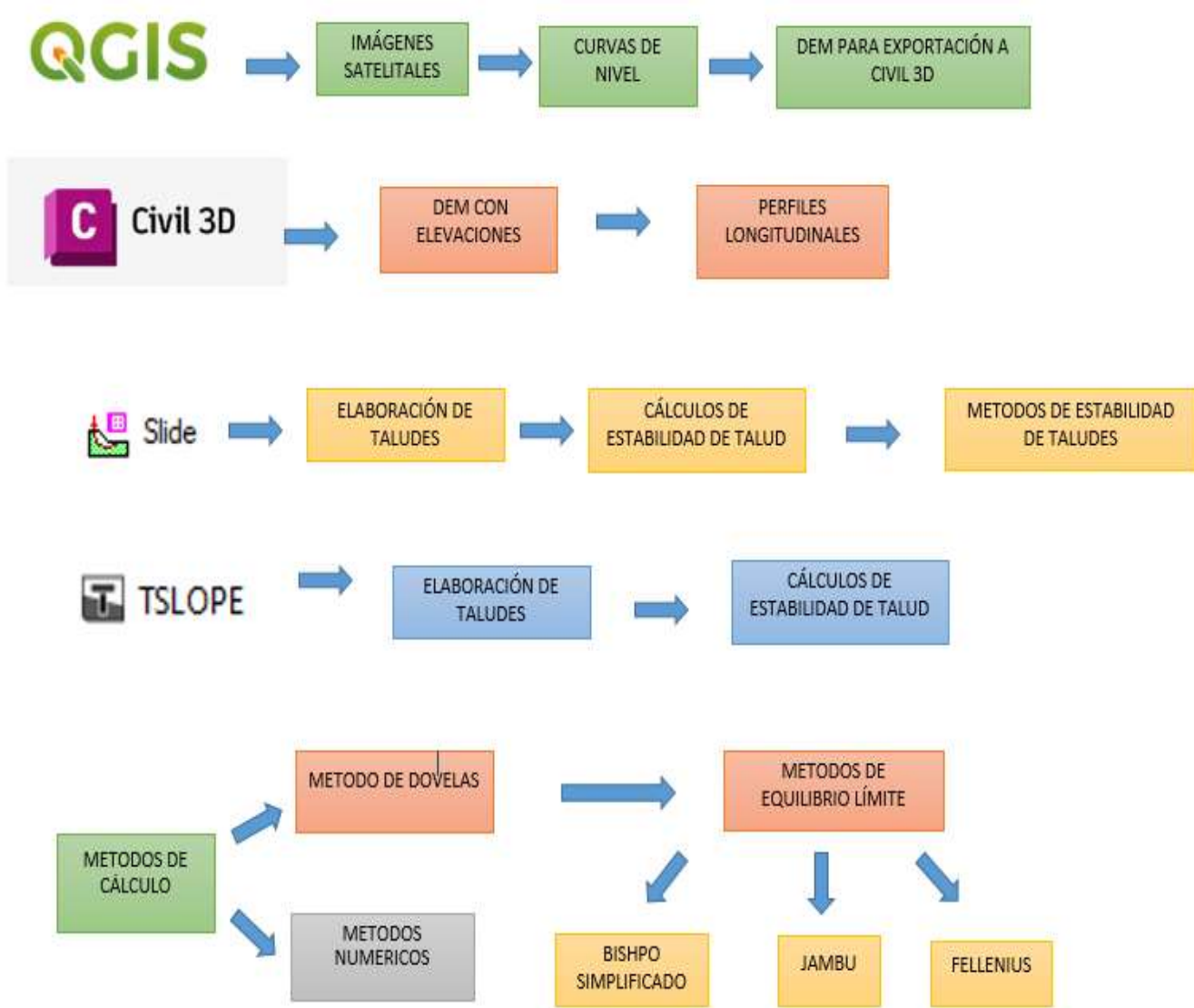


Figura 9 Esquema metodológico

4.2. UBICACIÓN GEOGRÁFICA Y COORDENADAS DEL ÁREA DE ESTUDIOS

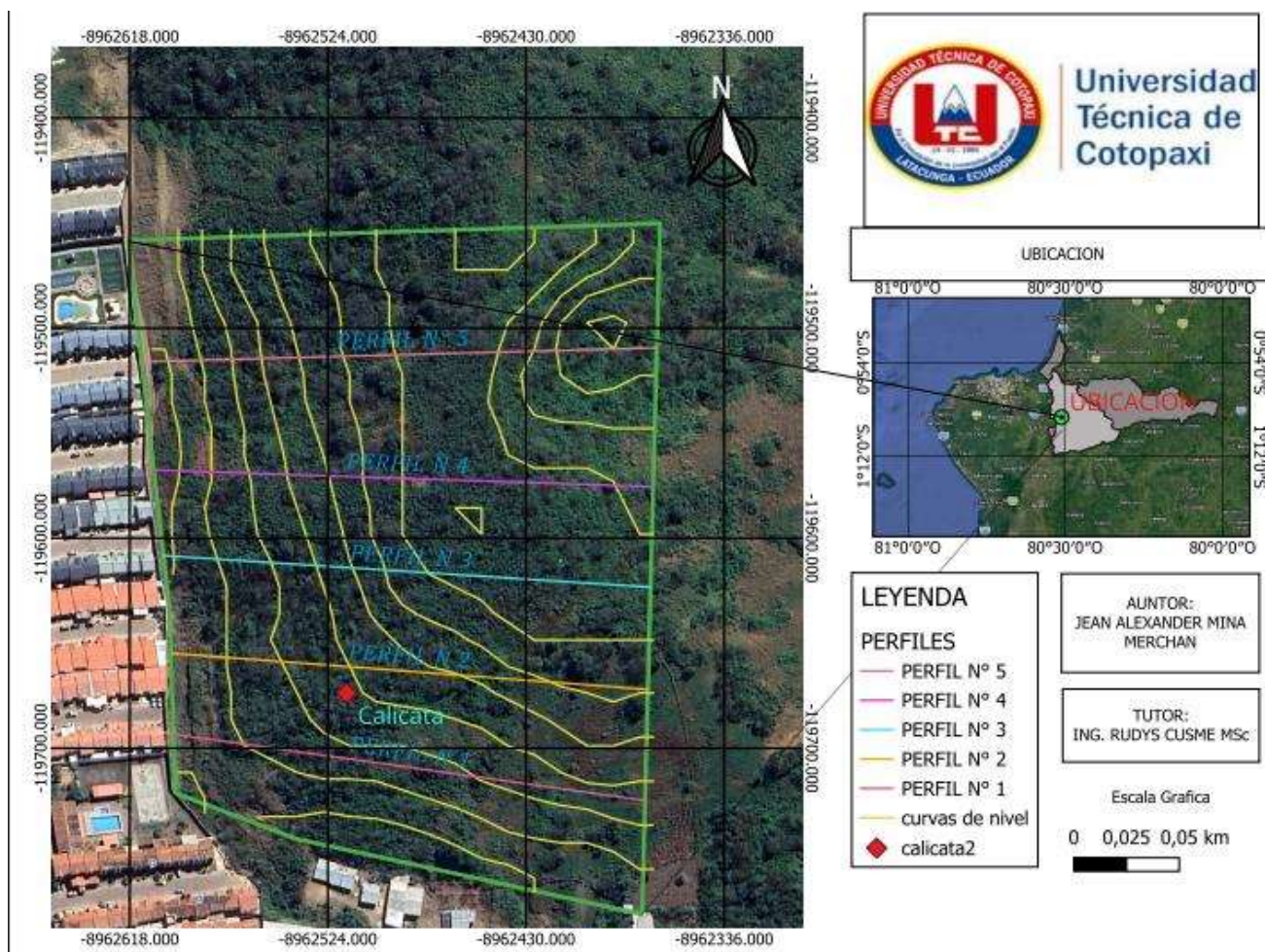


Figura 10 Mapa de Delimitación de Qgis con curvas de nivel y perfiles representativos

4.2.1. Ubicación geográfica

Se ubica en el Cantón Portoviejo, provincia de Manabí, en la región costera del Ecuador. La quebrada “Valle Alto”, se encuentra dentro de una zona de influencia urbana periurbana, caracterizada por un crecimiento progresivo de asentamientos humanos.

4.2.2. Coordenadas del área de estudio

La delimitación espacial del sector Valle Alto, se realizó mediante coordenadas planas obtenidas en el sistema de referencia geodésico WGS84, proyectadas en el sistema Universal Transversa de Mercator (UTM), Zona 17 Sur, con un área aproximadamente de 245 m², el cual es de uso oficial para trabajos de ingeniería y estudios geospaciales en el territorio nacional.

El tramo seleccionado de la quebrada se encuentra comprendido aproximadamente dentro de los siguientes rangos de coordenadas UTM: WGS 84 (-1.0750656,-80.5116530).

Estas coordenadas definen un polígono de estudio que abarca las laderas laterales y el cauce principal de la quebrada, permitiendo una adecuada representación de las condiciones topográficas y geomorfológicas relevantes para el análisis de estabilidad de taludes.

La determinación de las coordenadas se efectuó a partir del procesamiento de información cartográfica y datos geospaciales en un Sistema de Información Geográfica (SIG), garantizando la correcta georreferenciación del área y la compatibilidad con los modelos digitales del terreno utilizados posteriormente en el análisis. La precisión del sistema de coordenadas adoptado permite integrar de manera confiable la información topográfica con los modelos geométricos y geotécnicos desarrollados en el estudio que se muestra a continuación en la figura.

4.3. ENSAYOS DE LABORATORIO Y CLASIFICACIÓN DE SUELOS

4.3.1. Obtención de muestras

Inicialmente se realizaron calicatas en la zona de estudio, ubicadas en el sector “Quebrada Valle Alto” del talud. Cada calicata presentó dimensiones de 1,50 m × 1,50 m y una profundidad de 1,50 m, lo que permitió la observación directa de la estratigrafía del suelo y la obtención de muestras representativas del material presente en el talud.

De cada calicata se extrajo una muestra relativamente inalterada de suelo, siguiendo los procedimientos establecidos en la normativa técnica aplicable para ensayos geotécnicos. La muestra fue conformada con geometría cúbica de 30 cm × 30 cm × 30 cm, con el propósito de preservar la estructura natural del suelo y garantizar la confiabilidad de los ensayos posteriores, la obtención, manipulación y conservación de las muestras se realizó conforme a lo establecido en las normas ASTM D4767-95 y AASHTO T297-94.

Una vez extraídas, las muestras fueron cuidadosamente colocadas en cajas de madera, recubiertas internamente con tela de polipropileno y lámina plástica, con el fin de evitar pérdidas de humedad, contaminación externa y alteraciones mecánicas durante su almacenamiento y transporte. Las muestras se mantuvieron en estas condiciones por un período comprendido entre 2 y 5 días, de acuerdo con las recomendaciones de la normativa técnica, hasta su entrega en el Laboratorio de Mecánica de Suelos de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador (PUCE), sede Quito.

En dicho laboratorio se procedió a la ejecución del ensayo triaxial consolidado no drenado (CU), conforme a las normas ASTM D4767-95 y AASHTO T297-94, permitiendo la

determinación de los parámetros de resistencia y deformación del suelo necesarios para el análisis de estabilidad de taludes desarrollado en la presente investigación.

Los resultados de laboratorio se visualizan en el A.1.

4.3.2. Ensayo de laboratorio del suelo

Los ensayos de laboratorio realizados en el presente estudio tuvieron como finalidad la caracterización física y mecánica de los suelos que conforman los taludes de la quebrada “Valle Alto”, información indispensable para la evaluación de la estabilidad del terreno mediante métodos de equilibrio límite. Las muestras de suelo fueron obtenidas durante las salidas de campo en sectores representativos del área de estudio, priorizando zonas cercanas a infraestructura existente y áreas donde se evidencian posibles procesos de inestabilidad, tales como grietas, erosión superficial y deformaciones del talud.

Los ensayos se ejecutaron conforme a las normas ASTM D4767-95 y AASHTO T297-94, las cuales establecen el procedimiento estándar para la determinación de las propiedades de resistencia y deformación de los suelos mediante el ensayo triaxial consolidado no drenado (CU), incluyendo la medición de presiones de poros. La aplicación de estas normas permitió evaluar de manera representativa el comportamiento mecánico del suelo bajo condiciones de carga y saturación similares a las que se presentan en campo durante eventos de precipitación intensa.

A partir de los resultados obtenidos se construyeron los círculos de Mohr y la envolvente de resistencia al corte, determinándose los parámetros geotécnicos de cohesión (c) y ángulo de fricción interna (ϕ). Dichos parámetros evidencian un comportamiento cohesivo–friccionante del suelo, característico de materiales finos con alta sensibilidad a la variación del contenido de humedad. Bajo condiciones de saturación, esta característica provoca una reducción considerable de la resistencia al corte, incrementando la susceptibilidad del talud a procesos de remoción en masa [3].

Los parámetros obtenidos del ensayo triaxial CU fueron empleados como datos de entrada en el análisis de estabilidad de taludes mediante los métodos de Fellenius, Bishop simplificado y Janbu, permitiendo la determinación de factores de seguridad que representan de manera realista el comportamiento del talud bajo condiciones críticas, aportando una base técnica confiable para la evaluación de la estabilidad del terreno en el área de estudio.

4.4.LEVANTAMIENTO Y MODELACIÓN DE LA GEOMETRÍA DEL TALUD

El levantamiento y la modelación de la geometría del talud constituyen la etapa inicial del análisis de estabilidad, ya que permiten representar de manera precisa las condiciones topográficas reales del terreno. Esta información es fundamental para definir los parámetros geométricos que influyen directamente en el comportamiento del talud frente a posibles procesos de deslizamiento. Se desarrollo con el objetivo de presentar de manera precisa a las condiciones reales del terreno en la quebrada Valle Alto, permitiendo la correcta aplicación de los métodos de análisis de estabilidad de taludes [33].

4.4.1. Levantamiento topográfico del área de estudio

El levantamiento topográfico del área de estudio se realizó a partir del análisis de información cartográfica digital correspondiente a la quebrada Valle Alto, localizada en el cantón Portoviejo, provincia de Manabí. Para este propósito, se utilizaron modelos digitales de elevación disponibles para la zona, los cuales permitieron representar de manera detallada la configuración del relieve y las variaciones altimétricas del terreno. La información obtenida fue procesada mediante el software QGIS, herramienta que facilitó la delimitación precisa del área de estudio y la elaboración de un modelo digital del terreno acorde a las condiciones reales del sitio. Este modelo permitió analizar la distribución espacial de las elevaciones y comprender el comportamiento geomorfológico del área evaluada [34].

A partir del modelo digital del terreno se generaron curvas de nivel con intervalos definidos, las cuales fueron empleadas para examinar la morfología del talud. El análisis de estas curvas permitió identificar zonas con pendientes pronunciadas y sectores con cambios abruptos en la inclinación del terreno, considerados críticos desde el punto de vista de la estabilidad. En estos sectores presentan una mayor predisposición a procesos de remoción en masa, especialmente bajo condiciones de incremento de humedad y saturación del suelo [35].

4.5.SELECCIÓN DEL PERFIL REPRESENTATIVO DE LOS TALUDES DE ESTUDIO

A partir del análisis de las curvas de nivel generadas en el estudio topográfico del área de la quebrada Valle Alto, se definieron cinco perfiles longitudinales representativos del talud donde en el Anexo F.1 se visualiza la vista en planta de la representación de cada perfil obtenido. Estos perfiles fueron seleccionados con el fin de analizar el comportamiento del terreno bajo

diferentes condiciones geométricas, considerando las variaciones de pendiente existentes en el área de estudio [32].

Cada uno de los perfiles longitudinales fue obtenido y modelado mediante el software Civil 3D, donde se generaron perfiles individuales con distintas inclinaciones. Como resultado de este proceso se obtuvieron gráficas representativas de cada perfil, las cuales permitieron comparar su geometría. Del análisis gráfico se observó en los Anexos de los perfiles B.1, B.2 y B.3 que presentan una notable similitud en su comportamiento geométrico, debido a que sus pendientes son muy cercanas entre sí. En contraste, los perfiles B.4 y B.5 muestran una configuración diferente, caracterizada por pendientes considerablemente menores, lo que se refleja en gráficas con una morfología distinta. Para el análisis detallado de cada perfil, la información geométrica obtenida en Civil 3D fue exportada de manera individual a hojas de cálculo en Excel, donde se registraron las coordenadas X y Y correspondientes a cada perfil longitudinal. Estas coordenadas fueron representadas mediante gráficas, permitiendo una visualización clara de la geometría del talud en cada caso [36].

Posteriormente, las tablas de coordenadas generadas en Excel fueron exportadas al software Slide, donde se realizó la modelación del talud para cada perfil seleccionado. En este entorno, se procedió a configurar las propiedades geotécnicas del suelo, utilizando los parámetros obtenidos a partir de los ensayos triaxiales de laboratorio, tales como cohesión, ángulo de fricción interna y peso unitario [37].

Una vez definida la geometría y los parámetros del suelo, se ejecutó el cálculo automatizado del factor de seguridad para cada perfil longitudinal, aplicando los métodos de análisis de estabilidad seleccionados en la investigación. Concluido este proceso, los resultados obtenidos en Slide fueron exportados nuevamente a Excel, con el objetivo de realizar la comprobación manual de los factores de seguridad calculados mediante cada método, utilizando los datos generados por el software. Este procedimiento permitió validar los resultados obtenidos mediante el análisis computacional y asegurar la confiabilidad de los cálculos de estabilidad realizados para cada uno de los perfiles longitudinales analizados.

4.5.1. Modelación en civil 3D

La modelación geométrica del talud se desarrolló a partir de la información topográfica previamente procesada en el software QGIS. Inicialmente, las curvas de nivel del área de estudio fueron exportadas a Civil 3D, conservando su sistema de referencia geográfica con el

fin de garantizar la correcta ubicación espacial y coherencia entre las plataformas utilizadas [35].

Con base en el modelo digital de elevación (DEM) exportado desde QGIS, se procedió a generar una superficie del terreno en Civil 3D, la cual permitió representar de manera tridimensional las elevaciones existentes en el área de estudio. A partir de esta superficie, se construyó una rejilla de puntos que recoge las elevaciones del DEM, facilitando el análisis detallado de la topografía del terreno.

Posteriormente, la superficie generada fue segmentada en cinco secciones, mediante líneas de separación definidas estratégicamente sobre el DEM. Esta segmentación tuvo como objetivo obtener cinco representaciones independientes del terreno, cada una correspondiente a un perfil longitudinal del talud. Las líneas de separación fueron trazadas de acuerdo con la dirección del talud y las variaciones de pendiente observadas en la topografía.

A partir de estas líneas de separación, se generaron las gráficas de los cinco perfiles longitudinales del talud, las cuales representan la geometría del terreno en cada sector analizado. Estos perfiles constituyen la base geométrica para el análisis de estabilidad, permitiendo evaluar el comportamiento del talud bajo diferentes condiciones de pendiente y configuración del terreno [36].

4.5.2. Integración de la geometría en el análisis de estabilidad

Definida la geometría del talud mediante el procesamiento de la información topográfica en QGIS y su posterior modelación en Civil 3D, se procedió a integrar dicha geometría en el análisis de estabilidad de taludes, con el propósito de evaluar el comportamiento geotécnico del terreno bajo condiciones reales. Los cinco perfiles longitudinales generados en Civil 3D fueron exportados de manera individual a hojas de cálculo en formato Excel, donde se organizaron las coordenadas cartesianas (X, Y) que definen la geometría de cada perfil, las coordenadas constituyen la base geométrica para la modelación del talud en el análisis de estabilidad, permitiendo una representación precisa de la configuración del terreno [36].

Posteriormente, las tablas de coordenadas correspondientes a cada perfil fueron importadas al software Slide y Tslope donde se construyeron los modelos geométricos de los taludes analizados. En esta etapa se verificó la correcta definición de los límites del terreno y la continuidad geométrica de los perfiles longitudinales, asegurando la coherencia entre la geometría modelada y la topografía real del área de estudio. Posteriormente definida la

geometría, se asignaron a cada modelo las propiedades geotécnicas del suelo obtenidas a partir de los ensayos triaxiales consolidados no drenados (CU). Los parámetros incorporados incluyeron la cohesión efectiva, el ángulo de fricción interna y el peso unitario del suelo, los cuales fueron considerados constantes para todos los perfiles, con el fin de evaluar exclusivamente la influencia de la geometría en la estabilidad del talud.

Finalmente, con la geometría y los parámetros geotécnicos debidamente configurados, se ejecutó el análisis de estabilidad mediante métodos de equilibrio límite, obteniéndose los factores de seguridad correspondientes a cada perfil longitudinal. La integración adecuada de la geometría permitió garantizar la confiabilidad de los resultados y la comparación objetiva del comportamiento del talud bajo distintas configuraciones geométricas en la quebrada Valle Alto [23].

4.6. PROCEDIMIENTO DE CÓMO CÁLCULAR EL FACTOR DE SEGURIDAD EN SLIDE

El análisis de estabilidad del talud se realizó mediante el software Slide, basado en métodos de equilibrio límite, con el objetivo de determinar el factor de seguridad frente a una posible falla por deslizamiento. Se definió la geometría del talud de acuerdo con el perfil topográfico del área de estudio, incorporando la altura, inclinación y forma del terreno [23].

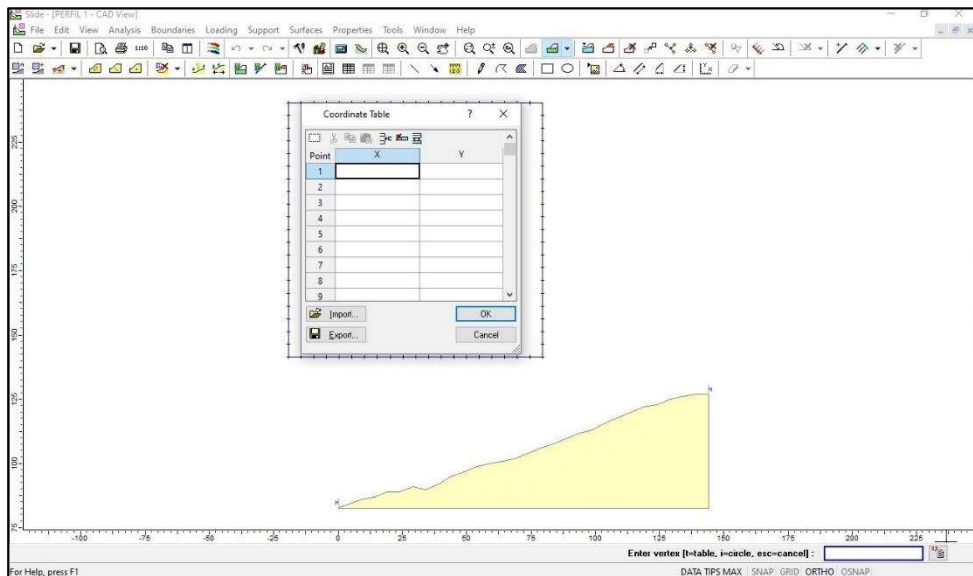


Figura 11. Exportación de puntos [23].

Posteriormente, se asignaron las propiedades geotécnicas de los materiales, tales como el peso unitario, la cohesión y el ángulo de fricción interna, obtenidas a partir de ensayos de laboratorio

y criterios normativos, garantizando así una representación adecuada de las condiciones reales del suelo.

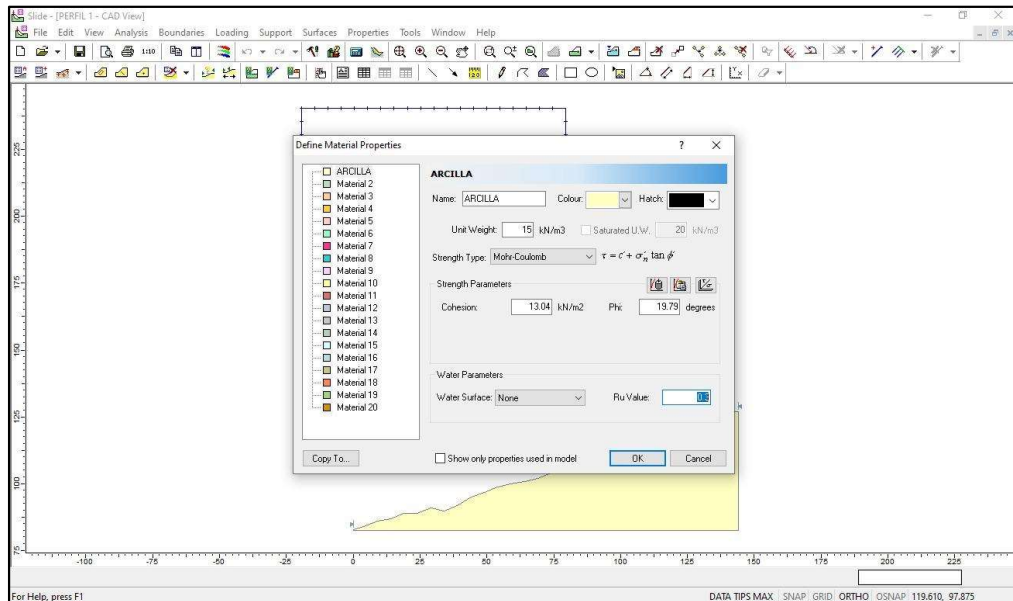


Figura 12. Configuración de parámetros del suelo [23].

Adicionalmente, se consideró el efecto del agua subterránea mediante la incorporación del coeficiente de presión de poros (R_u), el cual permite representar la influencia del nivel freático sobre las tensiones efectivas del suelo.

4.7. PROCEDIMIENTO DE COMO CALCULAR EL FACTOR DE SEGURIDAD EN TSLOPE

El análisis de estabilidad del talud se realizó mediante el software Tslope, basado en métodos de equilibrio límite, con el objetivo de determinar el factor de seguridad frente a una posible falla por deslizamiento. Se definió la geometría del talud de acuerdo con el perfil topográfico del área de estudio, mediante la importación de datos de coordenadas y forma del terreno.

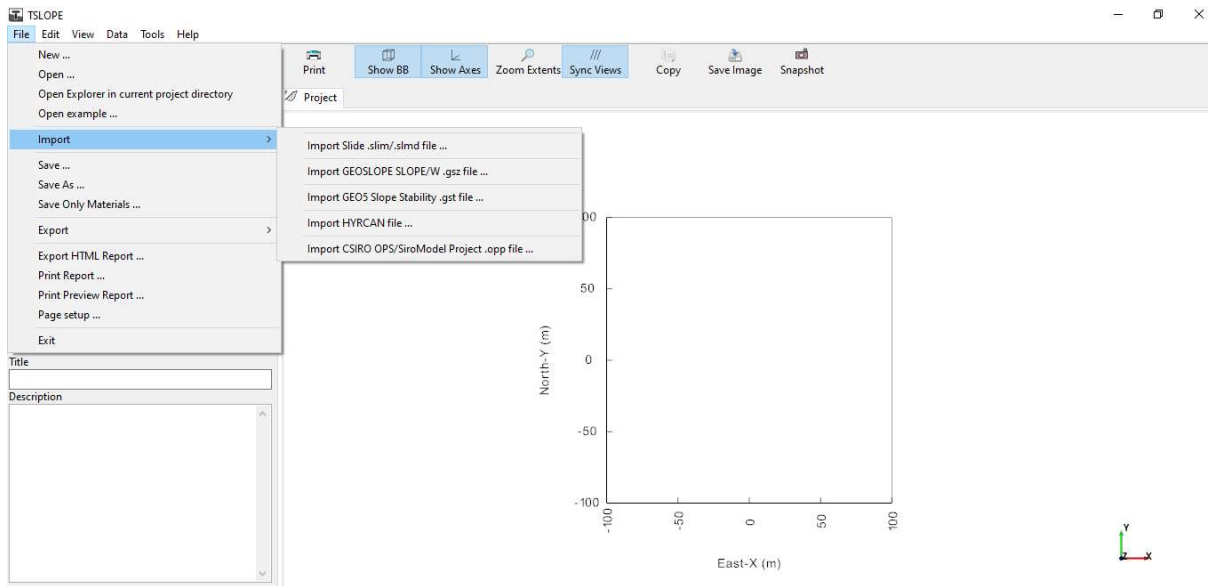


Figura 13 Importación de datos a Tslope

A continuación se incorporó los datos geotécnicos del suelo para posterior realizar el cálculo automatizado del software estableciendo los métodos de equilibrio límite y calcular el respectivo factor de seguridad.

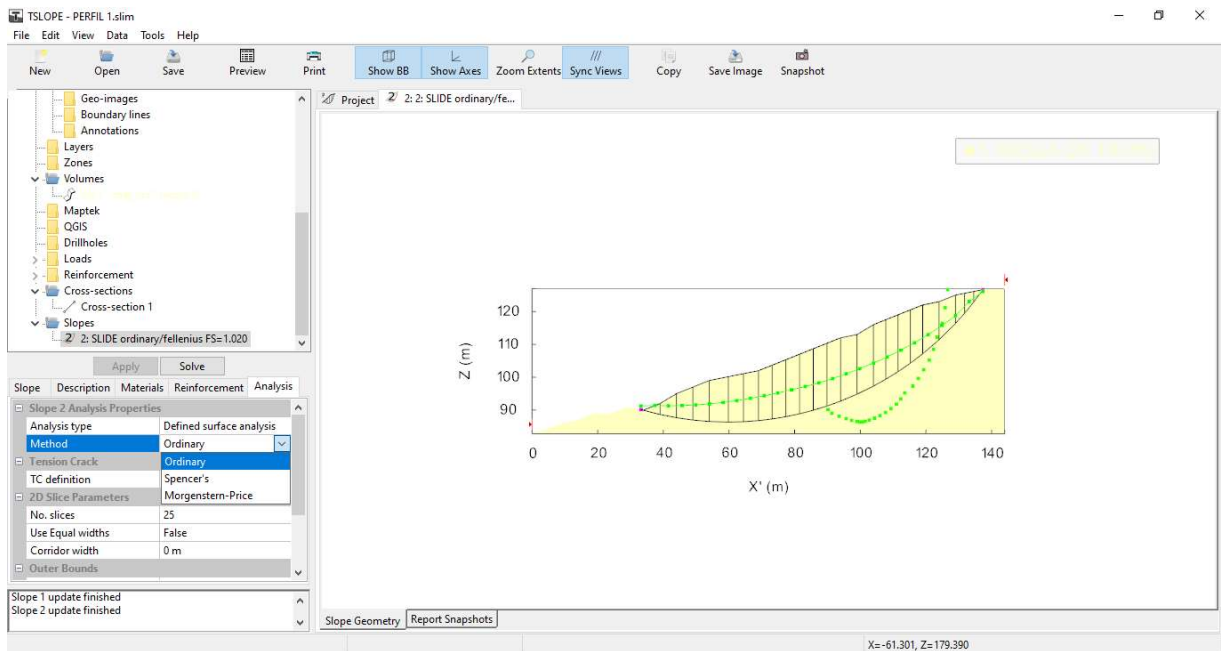


Figura 14 Cálculo del factor de seguridad del talud

4.8.EJECUCIÓN DEL ANÁLISIS DE ESTABILIDAD MEDIANTE LOS MÉTODOS DE FELLENIUS, BISHOP SIMPLIFICADO Y JANBU.

En la presente investigación se emplearon los métodos de equilibrio límite, por tratarse de metodologías ampliamente utilizadas en el análisis geotécnico de taludes y por su aplicabilidad

a superficies de falla circulares y no circulares. La ejecución del análisis se llevó a cabo utilizando el software Slide, integrando la geometría del talud obtenida en Civil 3D y los parámetros geotécnicos determinados a partir de los ensayos triaxiales de laboratorio [6].

4.8.1. Método de Fellenius

Para el procedimiento de cálculo de estabilidad del talud mediante el método de Fellenius, también conocido como método ordinario de las dovelas, se empleó una metodología similar a la aplicada en el método de Bishop, utilizando como base los datos geométricos y geotécnicos exportados desde el software Slide. Este método se fundamenta en el equilibrio de momentos respecto al centro de la superficie potencial de falla y constituye una herramienta de análisis ampliamente utilizada por su simplicidad y aplicabilidad en estudios preliminares de estabilidad [28].

4.8.2. Método de Bishop simplificado

Para la aplicación del método de Bishop simplificado, se emplearon los datos geométricos exportados desde el software Slide, los cuales permitieron definir la geometría del talud y la ubicación de las dovelas. No obstante, debido a que el programa automatiza el proceso de cálculo del factor de seguridad, no proporciona de forma explícita el valor del área correspondiente a cada dovela, ya que este parámetro no es requerido directamente en su formulación interna.

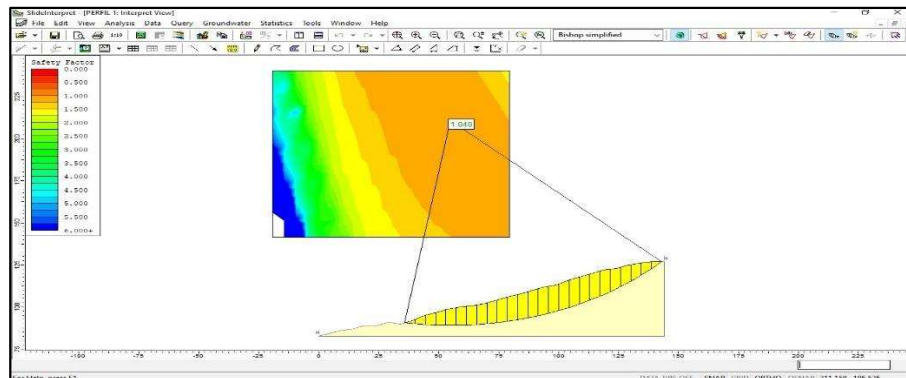


Figura 15. Modelado de talud.

Determinación del área

Las áreas obtenidas fueron utilizadas para realizar una comprobación manual de los resultados del análisis de estabilidad, mediante la aplicación de la formulación propuesta por Novak, contrastando los valores obtenidos de manera analítica con los resultados generados por el software.

Aplicación consideración del coeficiente de presión de poros (Ru) en el análisis de estabilidad

En el análisis de estabilidad de taludes mediante el método de Bishop simplificado, se incorporó el efecto del agua presente en el suelo a través del coeficiente de presión de poros Ru. Este coeficiente representa de manera adimensional la influencia de las presiones intersticiales sobre el equilibrio del talud, permitiendo evaluar cómo la presencia de agua reduce los esfuerzos efectivos y, en consecuencia, la resistencia al corte del suelo [37].

El valor de Ru puede ser estimado a partir de correlaciones propuestas en la literatura geotécnica, las cuales asocian este coeficiente con el tipo de suelo y las condiciones de humedad. No obstante, en el presente estudio, además de considerar los valores de referencia proporcionados por la bibliografía especializada [38].

Aplicación de RU

La incorporación del coeficiente Ru en la formulación del método de Bishop permitió ajustar las fuerzas normales efectivas actuantes en la base de cada dovela, influyendo directamente en el cálculo del factor de seguridad y proporcionando resultados coherentes con las condiciones críticas evaluadas en la quebrada “Valle Alto”.

Finalmente, se ejecutó el análisis obteniéndose el factor de seguridad mínimo asociado a la superficie de falla crítica. Este valor fue interpretado conforme a los criterios de estabilidad establecidos en la normativa geotécnica, donde factores de seguridad mayor a 1,5 indican condiciones estables, mientras que valores cercanos o menores a la unidad reflejan una condición de inestabilidad. Con base en estos resultados, se evaluó el comportamiento del talud y se determinó si cumple con los requisitos de seguridad o si requiere medidas de estabilización [9].

4.8.3. Método de Janbu

Para la aplicación del método de Janbu no fue necesario realizar cálculos adicionales de parámetros intermedios, dado que el software Slide proporcionó directamente todas las variables geométricas y geotécnicas requeridas. Estos datos fueron empleados para su sustitución directa en la expresión matemática del método, permitiendo la verificación del factor de seguridad mediante el procedimiento de cálculo manual. De esta manera, el análisis se basó en la información generada por el modelo numérico, garantizando coherencia entre el cálculo computacional y la formulación teórica del método de Janbu.

Análisis e interpretación del factor de seguridad mediante el método de Janbu. El método de Janbu simplificado es un procedimiento de equilibrio límite ampliamente utilizado para evaluar la estabilidad de taludes, especialmente cuando se presentan superficies de falla no circulares. Este método se fundamenta en el equilibrio global de fuerzas actuantes sobre una masa potencialmente inestable, dividiendo dicha masa en un conjunto de dovelas verticales [31].

A diferencia de otros métodos de análisis, el método de Janbu no satisface estrictamente el equilibrio de momentos, sino que introduce factores de corrección empíricos para compensar dicha simplificación. La resistencia al corte del suelo se define mediante el criterio de Mohr-Coulomb, considerando los parámetros de resistencia efectiva del suelo y el efecto de la presión de poros [27].

Evaluación del factor de seguridad

El valor del factor de seguridad obtenido ($FS = 0,97$) indica que las fuerzas resistentes son inferiores a las fuerzas deslizantes, lo cual implica que el sistema no alcanza el equilibrio límite.

- $FS \geq 1,50$: Talud estable en condiciones permanentes
- $1,30 \leq FS < 1,50$: Estabilidad marginal
- $FS < 1,00$: Condición inestable

Dado que el factor de seguridad obtenido es menor que la unidad, se concluye que el talud analizado si cumple con los requisitos mínimos de estabilidad establecidos por la normativa vigente, incluso bajo condiciones estáticas [31].

5. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

5.1. ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LOS CÁLCULOS MANUAL Y AUTOMATIZADO DE ESTABILIDAD DE TALUDES MEDIANTE MÉTODOS DE EQUILIBRIO LÍMITE.

- Datos geotécnicos del suelo

Tabla 6. Datos geotécnicos de taludes.

Parámetro	Símbolo	Valor	Unidad
Peso unitario del suelo	γ	15	kN/m ³
Cohesión efectiva	c'	13,04	kN/m ²
Ángulo de fricción efectiva	ϕ'	19,79	°

Nota: Estos parámetros se consideran constantes para todos los métodos y perfiles analizados.

Los parámetros geotécnicos empleados para el análisis de estabilidad fueron obtenidos del libro de Novak [38], y de los resultados del ensayo triaxial, los cuales se presentan en el Anexo A.1. Estos valores fueron utilizados como datos de entrada para el cálculo del factor de seguridad mediante los métodos de equilibrio límite de Bishop, Fellenius y Janbu.

Los resultados obtenidos, los valores muestran una tendencia consistente entre sí, lo que confirma la confiabilidad de los parámetros utilizados y la representatividad del comportamiento mecánico del suelo analizado.

5.1.1. Método de Bishop

En el presente apartado se analiza el **Perfil longitudinal 1**, empleando el **método de Bishop**, con el fin de determinar el factor de seguridad del talud.

- Obtención del primer perfil longitudinal
- Talud obtenido con dovelas realizados en Slide

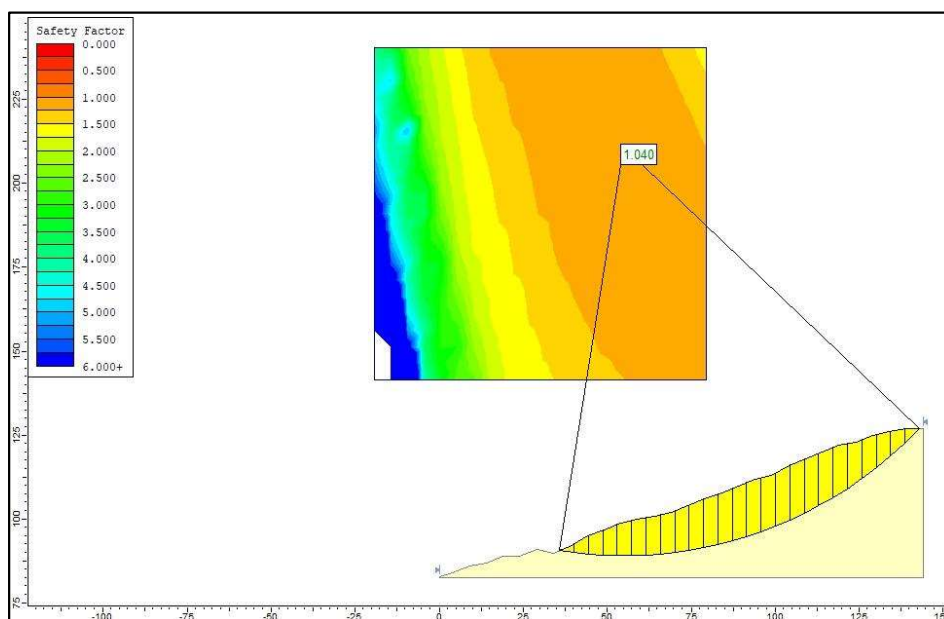


Figura 16. Cálculo de FS en Slide, M. Bishop perfil 1

Tabla 7. Visualización de FS de Slide; M. Bishop perfil 1

FS	1,04
-----------	-------------

*Visualización del FS en Slide, M. Bishop del perfil 1

Los datos observados en la Tabla 7 se visualizan el factor de seguridad del perfil 1 como lo muestra la Figura 16 el que resalta el modelado del talud en Slide.

Cálculo manual con los datos proporcionados por Slide

Para el cálculo del método de Bishop, siguiendo el procedimiento correspondiente a dicha formulación. A partir de los parámetros geotécnicos presentados en el Anexo A.1, se determinó el factor de seguridad del talud. Los resultados obtenidos fueron procesados en el Anexo C.1, y resumidos en la Tabla 8, donde se presenta la reducción de los cálculos realizados en Excel. El análisis de los resultados indica que el Perfil 1 presenta un factor de seguridad que corresponde a una condición de estabilidad aceptable, conforme a los criterios establecidos en la referencia.

Tabla 8. Resultados del cálculo manual por M. Bishop perfil 1

$\sum W \sin \alpha$	$\sum (W(1 - Ru) \tan \phi' + C'b) * \frac{1}{m * \alpha_{calculado}}$
5952.22	6121.36
FS	1,03

*Cálculo manual con los datos proporcionados por Slide

El valor obtenido presenta una diferencia mínima respecto al cálculo automatizado, validando el procedimiento manual.

- Segundo perfil longitudinal

Cálculo automatizado en Slide

En el presente apartado se analiza el **Perfil longitudinal 2**, empleando el **método de Bishop**, con el fin de determinar el factor de seguridad del talud.

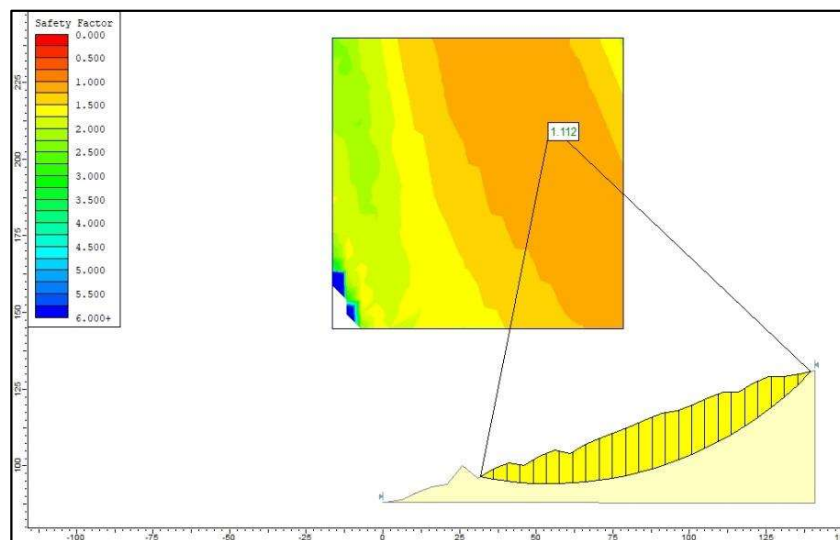


Figura 17. Cálculo de FS en Slide, M. Bishop perfil 2

Tabla 9. Visualización de FS de Slide M. Bishop perfil 2

FS	1,11201
-----------	----------------

*Visualización del FS en Slide, M. Bishop del perfil 2

Los datos observados en la Tabla 9 se visualizan el factor de seguridad de Slide del perfil 2 como lo muestra la Figura 17 el que resalta el modelado del talud en Slide.

Cálculo manual con los datos proporcionados por Slide

Tabla 10. Resultados del cálculo manual del M. Bishop perfil 2

$\sum W \sin \alpha$	$\sum (W(1 - Ru) \tan \phi' + C'b) * \frac{1}{m * \alpha_{calculado}}$
21512,90	21373,21
FS	1,0

*Cálculo manual con los datos proporcionados por Slide

El método fue descrito en el apartado de la tabla 10 correspondiente y, con base en dicho procedimiento, se determinó el factor de seguridad del talud. Los resultados obtenidos fueron procesados y detallados en el Anexo C.2, y posteriormente resumidos en la Tabla 10, donde se presenta la reducción de los cálculos realizados en Excel. El análisis de los resultados indica que el Perfil 2 presenta un factor de seguridad que corresponde a una condición de estabilidad aceptable, conforme a los criterios establecidos en la referencia.

- **Tercer perfil longitudinal**

Cálculo automático en Slide

En el presente apartado se analiza el **Perfil longitudinal 3**, empleando el **método de Bishop**, con el fin de determinar el factor de seguridad del talud.

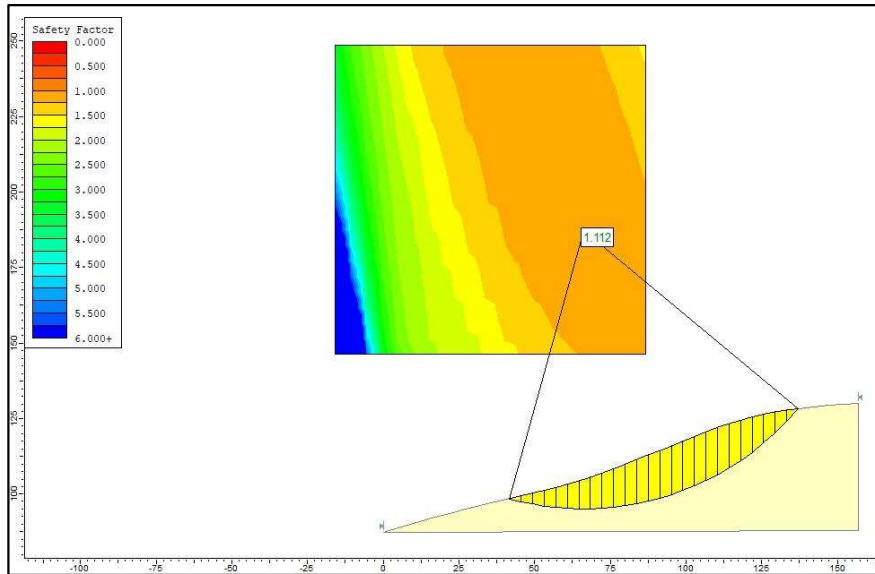


Figura 18. Cálculo de FS en Slide, M. Bishop perfil 3

Tabla 11. Visualización de FS de Slide, M. Bishop perfil 3

FS	1,11155
-----------	----------------

Los datos observados en la Tabla 11 se visualizan en el factor de seguridad de Slide del perfil 3 como lo muestra la Figura 18 el que resalta el modelado del talud en Slide.

Cálculo manual con los datos proporcionados por Slide

Tabla 12. Resultados del Cálculo manual M. Bishop perfil 3

$\sum W \sin \alpha$	$\sum (W(1 - Ru) \tan \phi' + C'b) * \frac{1}{m * \alpha_{calculado}}$
17341,88	16738,47
FS	1,0

*Cálculo manual con los datos proporcionados por Slide

El procedimiento aplicado se expone en el apartado correspondiente de la Tabla 12, a partir del cual se realizó el cálculo del factor de seguridad del talud. Los resultados obtenidos fueron desarrollados en el Anexo C.3 y posteriormente sintetizados en la Tabla 12, donde se muestra la reducción de los cálculos efectuados mediante Excel.

Del análisis de los resultados se concluye que el Perfil 3 presenta un factor de seguridad que cumple con una condición de estabilidad aceptable, de acuerdo con los criterios establecidos en la referencia.

- **Cuarto perfil longitudinal**

En el presente apartado se analiza el **Perfil longitudinal 4** mediante la aplicación del método de Bishop, con el objetivo de determinar el factor de seguridad del talud.

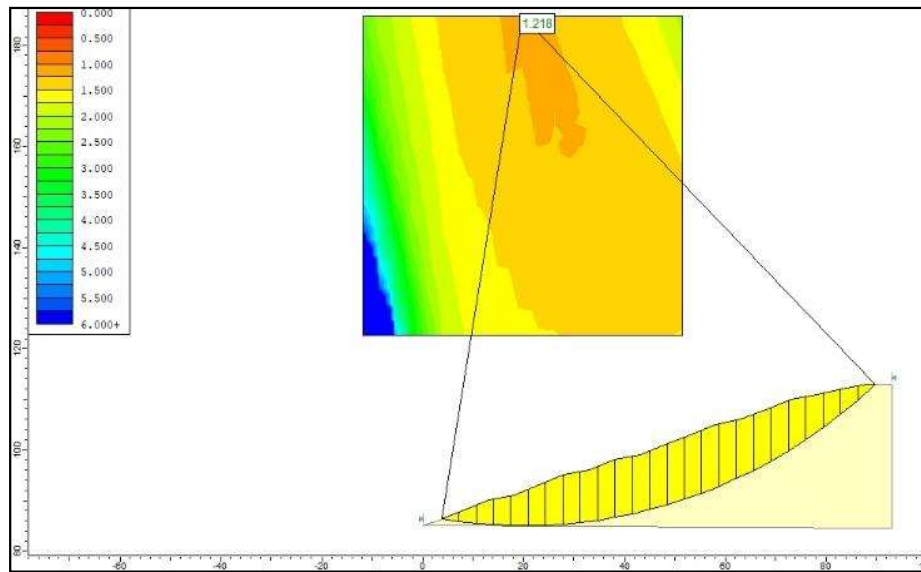


Figura 19. Cálculo de FS en Slide, M. Bishop perfil 4

Tabla 13. Visualización de FS de Slide M. Bishop perfil 4

FS	1,21775
-----------	----------------

Los datos observados en la Tabla 13 se visualizan el factor de seguridad de Slide del perfil 4 como lo muestra la Figura 19 el que resalta el modelado del talud en Slide.

Cálculo manual con los datos obtenidos de Slide

Tabla 14. Resultados del cálculo manual M. Bishop perfil 4

$\sum W \sin \alpha$	$\sum (W(1 - Ru) \tan \phi' + C' b) * \frac{1}{m * \alpha_{calculado}}$
10273,01	12067,71
FS	1,17

El procedimiento aplicado se presenta en el apartado correspondiente de la Tabla 14, a partir del cual se llevó a cabo el cálculo del factor de seguridad del talud para el Perfil 4. Los

resultados obtenidos fueron desarrollados en el Anexo C.4 y posteriormente resumidos en la Tabla 14, donde se muestra la reducción de los cálculos realizados mediante Excel. Del análisis de los resultados se concluye que el Perfil 4 presenta un factor de seguridad que cumple con una condición de estabilidad aceptable, de acuerdo con los criterios establecidos en la referencia.

- **Quinto perfil longitudinal**

En el presente apartado se analiza el **Perfil longitudinal 5**, empleando el método de Bishop, con el fin de determinar el factor de seguridad del talud.

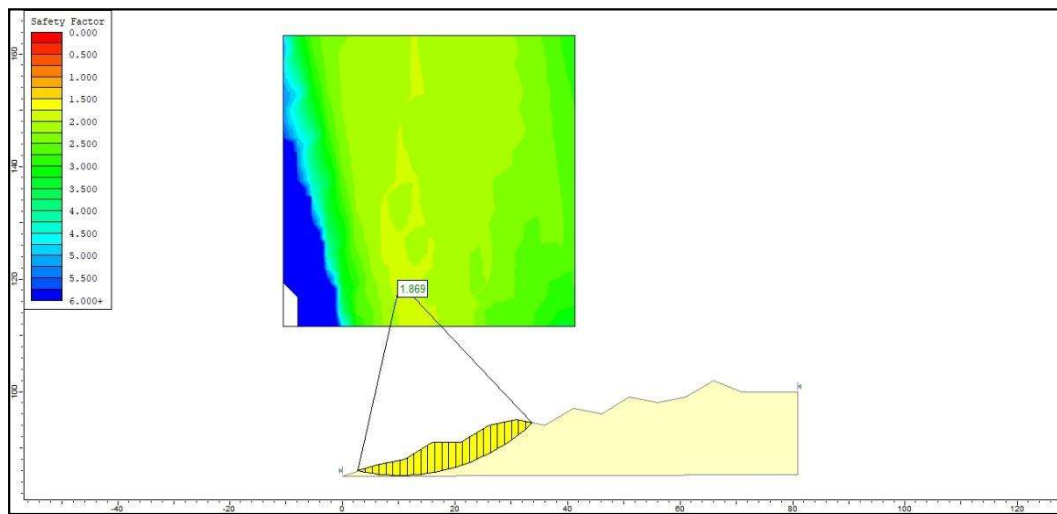


Figura 20. Cálculo de FS en Slide, M. Bishop perfil 5

Tabla 15. Visualización de FS de Slide M. Bishop perfil 5

FS	1,21775
-----------	----------------

Los datos observados en la Tabla 15, se visualiza el factor de seguridad de Slide del perfil 5 como lo muestra la Figura 20 el que resalta el modelado del talud en Slide.

Cálculo manual con los datos de Slide

Tabla 16. Resultados del cálculo manual M.Bishop perfil 5

$\sum W \sin \alpha$	$\sum (W(1 - Ru) \tan \phi' + C' b) * \frac{1}{m * \alpha_{calculado}}$
1262,27	2331,19
FS	1,85

El procedimiento aplicado se presenta en el apartado correspondiente de la Tabla 16, a partir del cual se llevó a cabo el cálculo del factor de seguridad del talud para el Perfil 5. Los resultados obtenidos fueron desarrollados en el Anexo C.5 y posteriormente resumidos en la Tabla 16, donde se muestra la reducción de los cálculos realizados mediante Excel. Del análisis de los resultados se concluye que el Perfil 5 presenta un factor de seguridad que cumple con una condición de estabilidad aceptable, de acuerdo con los criterios establecidos en la referencia.

5.1.2. Método de Fellenius

Para el desarrollo del método de Fellenius se consideraron los siguientes supuestos:

- El talud se discretizó en dovelas verticales de ancho constante.
- No se consideran fuerzas normales ni tangenciales entre dovelas.
- Se emplearon los parámetros geotécnicos efectivos del suelo.
- La superficie de falla se asumió circular.

Primer perfil longitudinal

Cálculo automatizado

El análisis del Perfil longitudinal 1 fue realizado mediante el software Slide que se muestra en la Figura 20, obteniéndose un **factor de seguridad FS = 1,02038**, como se observa en la Tabla 17 lo cual indica una condición de estabilidad límite del talud.

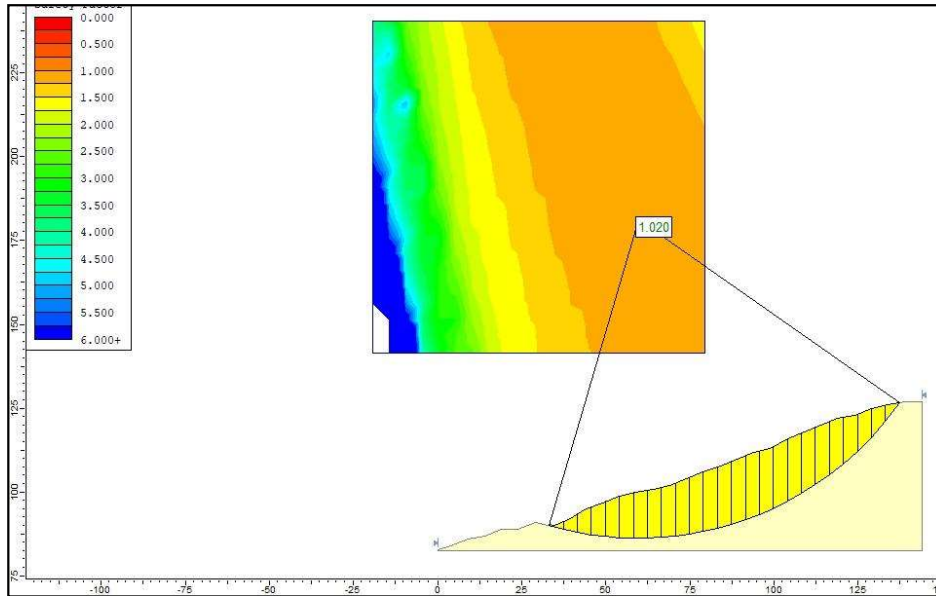


Figura 21. Cálculo de FS Fellenius perfil 1

Tabla 17. FS de Fellenius de Slide perfil 1

FS	1,02038
-----------	----------------

Cálculo manual con los datos proporcionados de Slide

Tabla 18. Resultados del cálculo manual M. Fellenius perfil 1

$\sum (c * L + (W * \cos \alpha - u * L * \tan \varphi))$	$\sum (W * \sin \alpha)$
6611,149	6208,423
FS	1,06

Para el Perfil 1, el método de Fellenius fue evaluado siguiendo el mismo procedimiento descrito anteriormente para el método de Bishop, manteniendo constantes los parámetros geotécnicos presentados en la Tabla 6 y variando únicamente la geometría del talud. El cálculo manual se realizó utilizando como referencia los resultados obtenidos mediante el software Slide, los cuales se presentan en la Figura 21, así como el factor de seguridad mostrado en la Tabla 17. Posteriormente, los cálculos fueron desarrollados en Excel, cuyos resultados se detallan en el Anexo D.1. Finalmente, en la Tabla 18 se presenta el resumen del factor de seguridad correspondiente al método de Fellenius para el Perfil 1, el cual evidencia una condición de estabilidad notable del talud.

- **Segundo perfil longitudinal**

En el presente apartado se analiza el **Perfil longitudinal 2** mediante la aplicación del método de Fellenius, con el objetivo de determinar el factor de seguridad del talud.

Cálculo automático

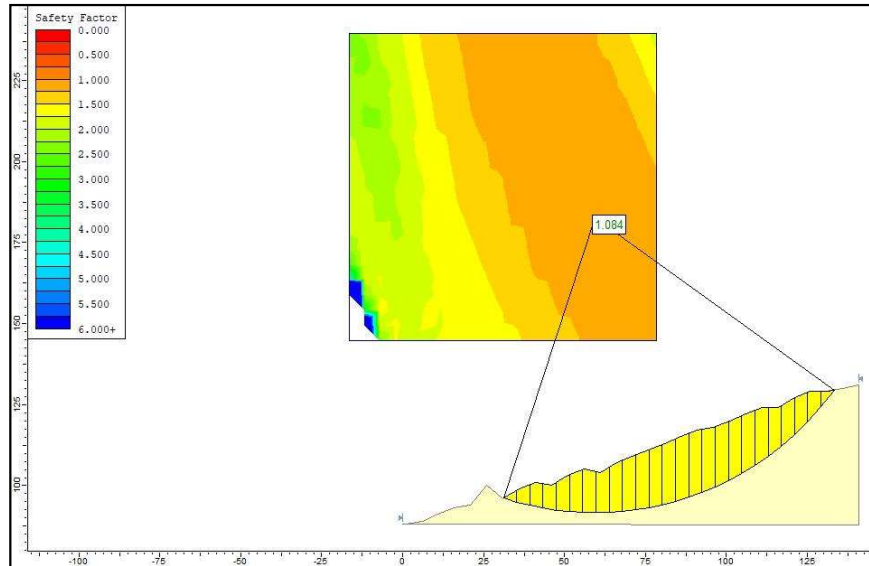


Figura 22. Cálculo de FS en Slide, M. Fellenius perfil 2

Tabla 19. Visualización de FS de Slide, M. Fellenius perfil 2

FS	1,08368
----	---------

El análisis del Perfil longitudinal 2 fue realizado mediante el software Slide que se muestra en la Figura 22, obteniéndose un **factor de seguridad FS = 1,08368**, como se observa en la Tabla 19 lo cual indica una condición de estabilidad límite del talud.

Cálculo manual con los datos proporcionados de Slide

Tabla 20. Resultados del cálculo manual M. Fellenius perfil 2

$\sum (c * L + (W * \cos \alpha - u * L * \tan \varphi))$	$\sum (W * \sin \alpha)$
6504,090824	5706,882481
FS	1,139692441

En el perfil 2, el método de Fellenius fue evaluado siguiendo el mismo procedimiento descrito anteriormente para el método de Bishop, manteniendo constantes los parámetros geotécnicos presentados en la Tabla 6 y variando únicamente la geometría del talud. El cálculo manual se realizó utilizando como referencia los resultados obtenidos mediante el software Slide, los cuales se presentan en la Figura 22, así como el factor de seguridad mostrado en la Tabla 19.

Posteriormente, los cálculos fueron desarrollados en Excel, cuyos resultados se detallan en el Anexo D.2. Finalmente, en la Tabla 20 se presenta el resumen del factor de seguridad correspondiente al método de Fellenius para el Perfil 2, el cual evidencia una condición de estabilidad notable del talud.

Tercer perfil longitudinal

En el presente apartado se analiza el **Perfil longitudinal 3** mediante la aplicación del método de Fellenius, con el objetivo de determinar el factor de seguridad del talud.

Cálculo automatizado en Slide

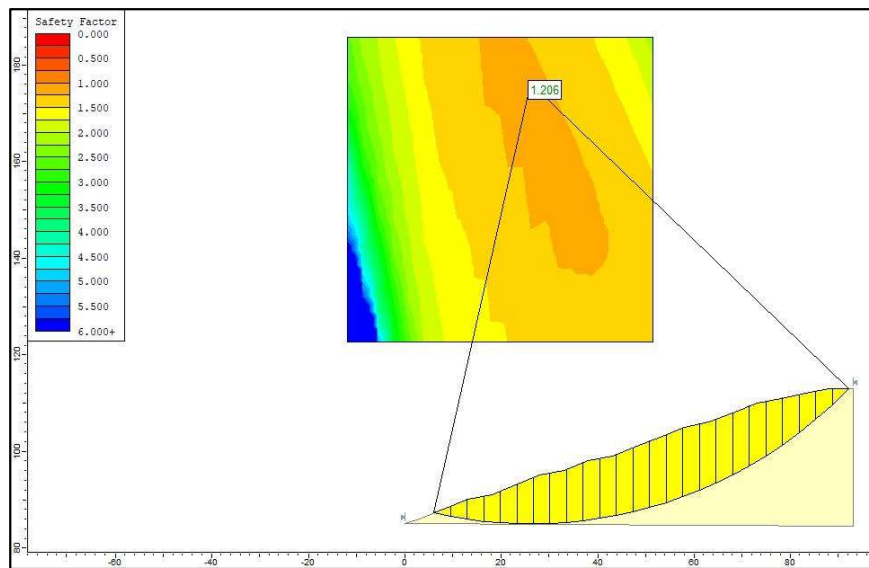


Figura 23. Cálculo FS en Slide, M. Fellenius perfil 3

Tabla 21. Visualización de FS de Slide, M. Fellenius perfil 3

FS	1,08048
-----------	----------------

El análisis del Perfil longitudinal 3 fue realizado mediante el software Slide que se muestra en la Figura 23, obteniéndose un **Factor de Seguridad (FS) = 1,080408**, como se observa en la Tabla 21, lo cual indica una condición de estabilidad límite del talud.

Cálculo manual con datos proporcionados por Slide

Tabla 22. Resultados del cálculo manual M. Fellenius perfil 3

$\sum (c * L + (W * \cos \alpha - u * L * \tan \phi))$	$\sum (W * \sin \alpha)$
5593,348622	4926,981273
FS	1,135248606

En el perfil 3, el método de Fellenius fue evaluado siguiendo el mismo procedimiento descrito anteriormente para el método de Bishop, manteniendo constantes los parámetros geotécnicos presentados en la Tabla 6 y variando únicamente la geometría del talud. El cálculo manual se realizó utilizando como referencia los resultados obtenidos mediante el software Slide, los cuales se presentan en la Figura 23, así como el factor de seguridad mostrado en la Tabla 21. Posteriormente, los cálculos fueron desarrollados en Excel, cuyos resultados se detallan en el Anexo D.3. Finalmente, en la Tabla 22 se presenta el resumen del factor de seguridad correspondiente al método de Fellenius para el Perfil 3, el cual evidencia una condición de estabilidad notable del talud.

Cuarto perfil longitudinal

En el presente apartado se analiza el **Perfil longitudinal 4** mediante la aplicación del método de Fellenius, con el objetivo de determinar el factor de seguridad del talud

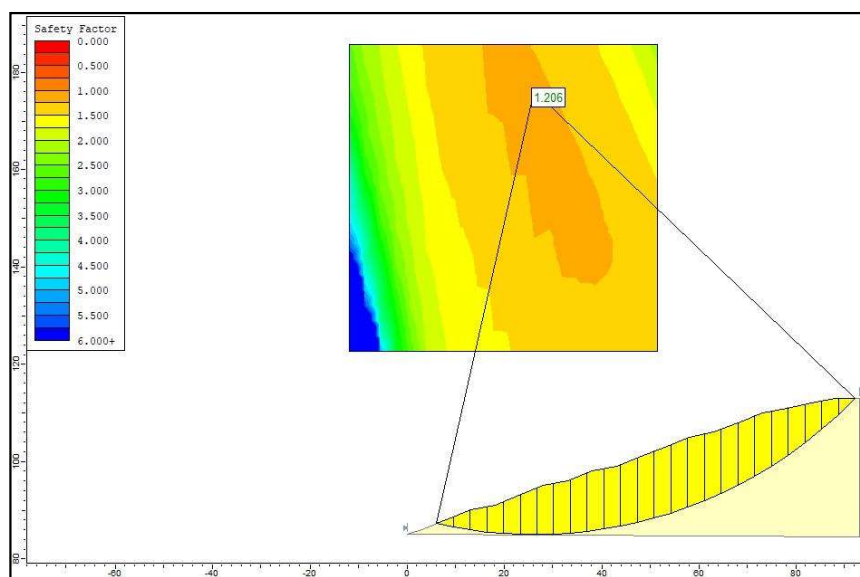


Figura 24. Cálculo de FS en Slide, M. Fellenius perfil 4

Tabla 23. Visualización de FS de Slide, M. Fellenius perfil 4

FS	1,20591
----	---------

El análisis del Perfil longitudinal 4 fue realizado mediante el software Slide que se muestra en la Figura 23, obteniéndose un **factor de seguridad FS = 1,20591**, como se observa en la Tabla 23, lo cual indica una condición de estabilidad límite del talud.

Cálculo manual con los datos de Slide

Tabla 24. Resultados del cálculo manual M. Fellenius perfil 4

$\sum (c * L + (W * \cos \alpha - u * L * \tan \phi))$	$\sum (W * \sin \alpha)$
4337,842227	3431,859696
FS	1,263991716

En el perfil 4, el método de Fellenius fue evaluado siguiendo el mismo procedimiento descrito anteriormente para el método de Bishop, manteniendo constantes los parámetros geotécnicos presentados en la Tabla 6 y variando únicamente la geometría del talud. El cálculo manual se realizó utilizando como referencia los resultados obtenidos mediante el software Slide, los cuales se presentan en la Figura 24, así como el factor de seguridad mostrado en la Tabla 23. Posteriormente, los cálculos fueron desarrollados en Excel, cuyos resultados se detallan en el Anexo D.4. Finalmente, en la Tabla 24 se presenta el resumen del factor de seguridad correspondiente al método de Fellenius para el Perfil 4, el cual evidencia una condición de estabilidad notable del talud.

Quinto perfil longitudinal

En el presente apartado se analiza el **Perfil longitudinal 5** mediante la aplicación del método de Fellenius, con el objetivo de determinar el factor de seguridad del talud

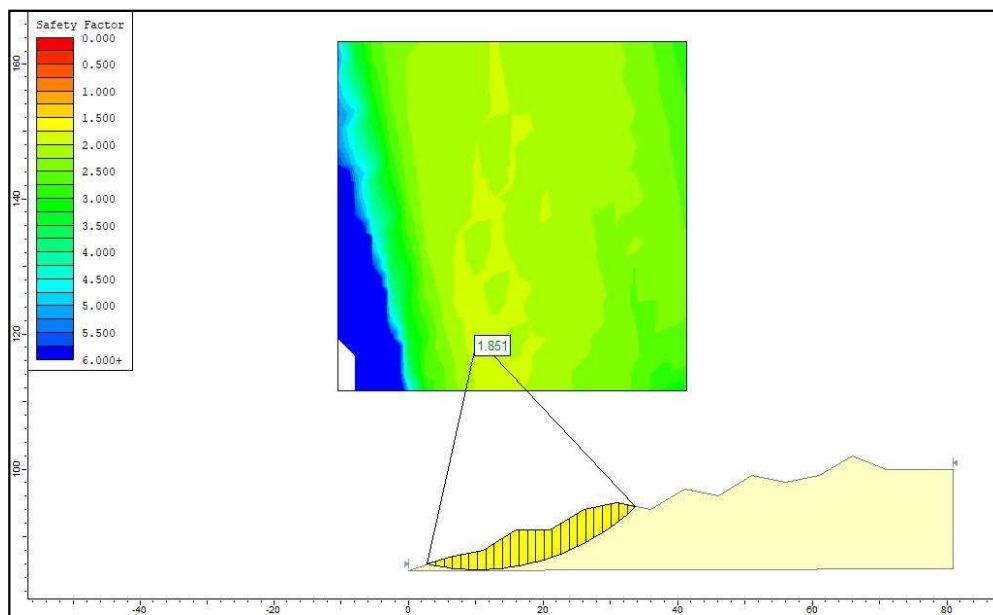


Figura 25. Cálculo FS en Slide, M. Fellenius perfil 5

Tabla 25. Visualización del FS de Slide, M. Fellenius perfil 5

FS	1,85082
----	---------

El análisis del Perfil longitudinal 4 fue realizado mediante el software Slide que se muestra en la Figura 25, obteniéndose un **factor de seguridad FS = 1,85092**, como se observa en la Tabla 25, lo cual indica una condición de estabilidad límite del talud.

Cálculo manual con los datos proporcionados por Slide

Tabla 26. Resultados del cálculo manual M. Fellenius perfil 55

$\sum (c * L + (W * \cos \alpha - u * L * \tan \phi))$	$\sum (W * \sin \alpha)$
840,7872492	440,2950915
FS	1,909599415

En el perfil 5, el método de Fellenius fue evaluado siguiendo el mismo procedimiento descrito anteriormente para el método de Bishop, manteniendo constantes los parámetros geotécnicos presentados en la Tabla 6 y variando únicamente la geometría del talud. El cálculo manual se realizó utilizando como referencia los resultados obtenidos mediante el software Slide, los cuales se presentan en la Figura 25, así como el factor de seguridad mostrado en la Tabla 25. Posteriormente, los cálculos fueron desarrollados en Excel, cuyos resultados se detallan en el Anexo D.5. Finalmente, en la Tabla 26 se presenta el resumen del factor de seguridad correspondiente al método de Fellenius para el Perfil 5, el cual evidencia una condición de estabilidad notable del talud.

5.1.3. Método de Janbu

En este estudio, el cálculo del factor de seguridad se realizó utilizando los parámetros geotécnicos previamente definidos, manteniéndolos constantes y variando la geometría del talud según el perfil analizado.

Parámetros adoptados

- Se consideró equilibrio de fuerzas horizontales y verticales.
- Se empleó el factor de corrección f_0 recomendado por Janbu.
- El ancho de las dovelas se mantuvo constante para cada perfil.
- Primer perfil longitudinal

Cálculo automatizado en Slide

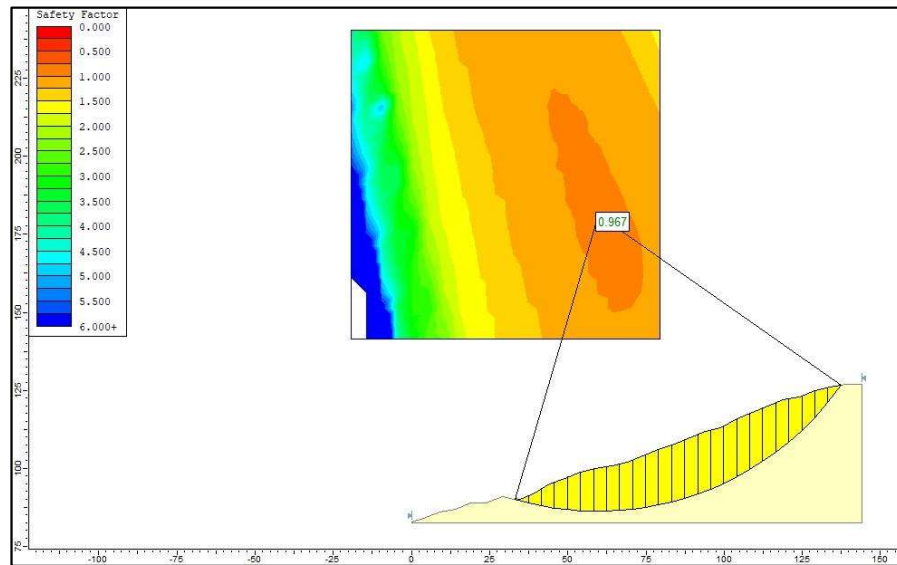


Figura 26. Cálculo de FS en Slide, M. Janbu perfil 1

Tabla 27. Visualización de FS de Slide, M. Janbu perfil 1

FS	0,966886
-----------	-----------------

El análisis automatizado del Perfil longitudinal 1 mediante el método de Janbu arrojó un factor de seguridad **FS = 0,966**, evidenciando una condición cercana a la inestabilidad del talud.

Cálculo manual con datos de Slide

Tabla 28. Resultados del cálculo manual M. Janbu perfil 1

$f_o \sum (C' b + (W - ub) \tan \varphi')$	$\sum (W * \tan \alpha)$
7210,46	7457,86
FS	0,966

El método de Janbu presenta un valor de FS, que se muestra en la tabla 27 la que obtuvimos inferior al obtenido mediante Bishop y Fellenius, mostrando un enfoque menos conservador para este perfil, se realizó los cálculos correspondientes en la hoja de Excel la que se muestra en el Anexo E.1 el cual se indica los cálculos realizados para el factor de seguridad en el apartado de la tabla 28 se tiene la simplificación de la hoja de Excel del perfil 1 el cual nos dio un factor de seguridad de 0,966 el que fue similar al de Slide que se observa en la Figura 28.

Segundo perfil longitudinal.

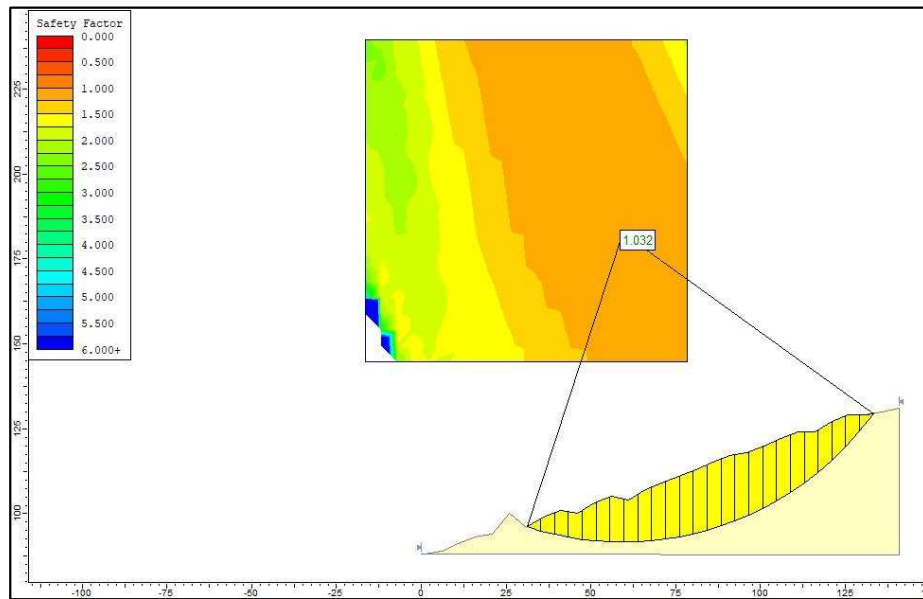


Figura 27. Cálculo de FS en Slide, M. Janbu perfil 2

Tabla 29. Visualización de FS de Slide, M. Janbu perfil 2

FS	1,03208
-----------	----------------

El análisis automatizado del Perfil longitudinal 2 mediante el método de Janbu arrojó un factor de seguridad **FS = 1,03208**, evidenciando la estabilidad del talud.

Cálculo manual con datos proporcionados por Slide

Tabla 30. Resultados del cálculo anual M. Janbu perfil 2

$f_o \sum (C' b + (W - ub) \tan \phi')$	$\sum (W * \tan \alpha)$
6994,195453	6830,20084
FS	1,02401022

El método de Janbu presenta un valor de FS, que se muestra en la tabla 29 la que obtuvimos inferior al obtenido mediante Bishop y Fellenius, mostrando un enfoque menos conservador para este perfil, se realizó los cálculos correspondientes en la hoja de Excel la que se muestra en el Anexo E.2, el cual se indica los cálculos realizados para el factor de seguridad en el apartado de la tabla 30 se tiene la simplificación de la hoja de Excel del perfil 2 el cual nos dio un factor de seguridad de 1,024 el que fue similar al de Slide que se observa en la Figura 27.

Tercer perfil longitudinal.

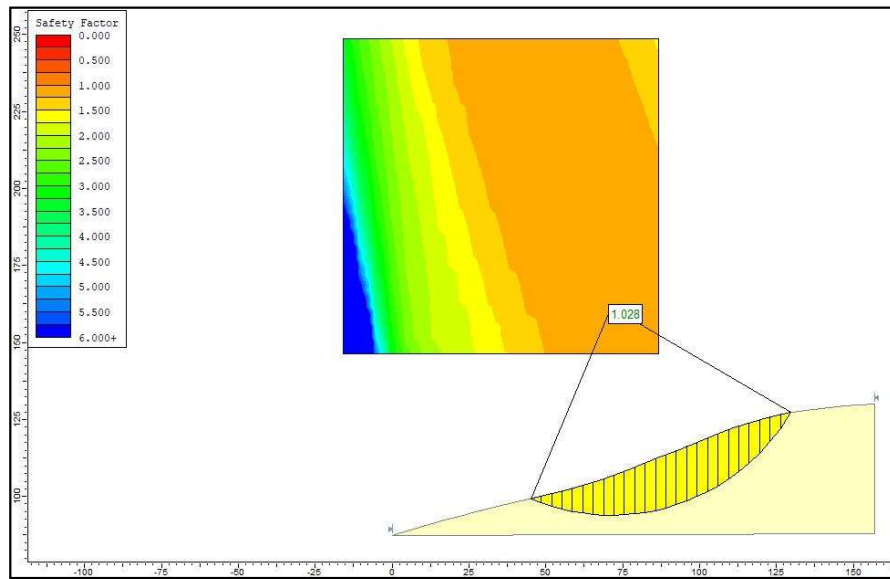


Figura 28. Cálculo de FS en Slide, M. Janbu perfil 3

Tabla 31. Visualización de FS de Slide, M. Janbu perfil 3

FS	1,02783
-----------	----------------

El análisis automatizado del Perfil longitudinal 3 mediante el método de Janbu arrojó un factor de seguridad **FS = 1,02783**, evidenciando la estabilidad del talud.

Cálculo manual con datos proporcionados con datos de Slide

Tabla 32. Resultados del cálculo manual M. Janbu perfil 3

$f_o \sum (C' b + (W - ub) \tan \varphi')$	$\sum (W * \tan \alpha)$
5327,217266	5393,77438
FS	1,00

El método de Janbu presenta un valor de FS, que se muestra en la tabla 31 la que obtuvimos inferior al obtenido mediante Bishop y Fellenius, mostrando un enfoque menos conservador para este perfil, se realizó los cálculos correspondientes en la hoja de Excel la que se muestra en el Anexo E.3, el cual se indica los cálculos realizados para el factor de seguridad en el apartado de la tabla 32 se tiene la simplificación de la hoja de Excel del perfil 3 el cual nos dio un factor de seguridad de 1,00 el que fue distinto al de Slide que se observa en la Figura 28.

Cuarto perfil longitudinal

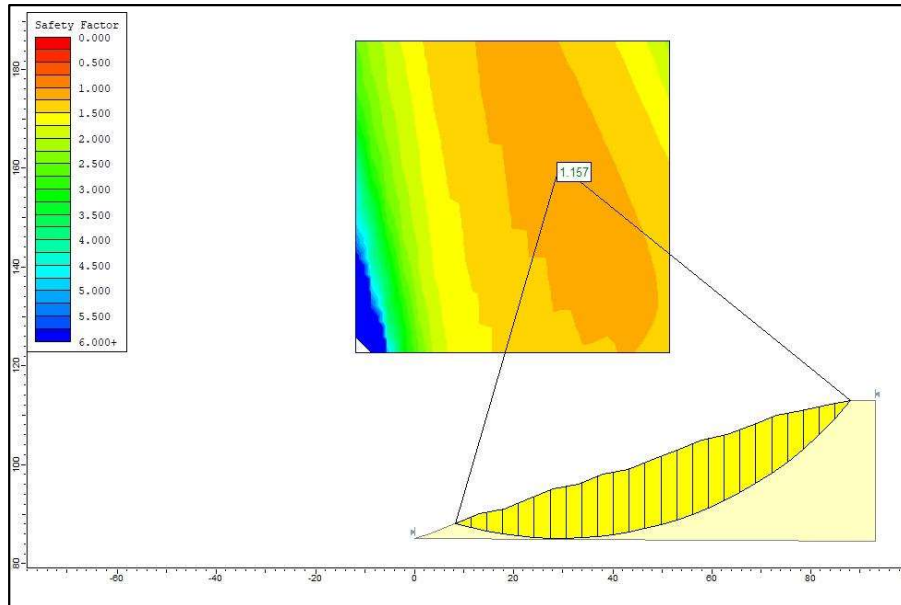


Figura 29. Cálculo de FS en Slide, M. Janbu perfil 4

Tabla 33. Visualización de FS de Slide, M. Janbu perfil 4

FS	1,15655
----	---------

El análisis automatizado del Perfil longitudinal 4 mediante el método de Janbu arrojó un factor de seguridad **FS = 1,15655**, evidenciando una condición cercana a la inestabilidad del talud.

Cálculo manual con datos proporcionados por Slide

Tabla 34. Resultados del cálculo manual M. Janbu perfil 4

$f_0 \sum (C' b + (W - ub) \tan \phi')$	$\sum (W * \tan \alpha)$
4256,847106	3715,62088
FS	1,15

El método de Janbu presenta un valor de FS, que se muestra en la tabla 33 la que obtuvimos inferior al obtenido mediante Bishop y Fellenius, mostrando un enfoque menos conservador para este perfil, se realizó los cálculos correspondientes en la hoja de Excel la que se muestra en el Anexo E.4, el cual se indica los cálculos realizados para el factor de seguridad en el apartado de la tabla 34 se tiene la simplificación de la hoja de Excel del perfil 4 el cual nos dio un factor de seguridad de 1,15 el que fue similar al de Slide que se observa en la Figura 29.

Quinto perfil longitudinal.

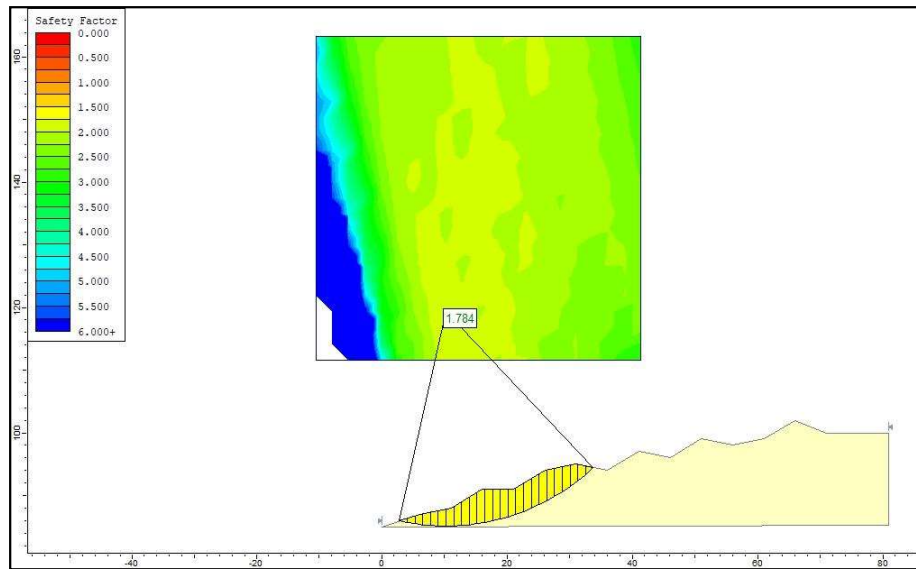


Figura 30. Cálculo de FS en Slide, M. Janbu perfil 5

Tabla 35. Visualización de FS de Slide, M. Janbu perfil 5

FS	1,78415
-----------	----------------

El análisis automatizado del Perfil longitudinal 4 mediante el método de Janbu arrojó un factor de seguridad **FS = 1,78415** evidenciando una estabilidad del talud.

Cálculo manual con datos de proporcionados por Slide

Tabla 36. Resultados del cálculo manual M. Janbu perfil 5

$f_o \sum (C' b + (W - ub) \tan \phi')$	$\sum (W * \tan \alpha)$
851,4188012	496,36929
FS	1,71529306

El método de Janbu presenta un valor de FS, que se muestra en la tabla 35 la que obtuvimos inferior al obtenido mediante Bishop y Fellenius, mostrando un enfoque menos conservador para este perfil, se realizó los cálculos correspondientes en la hoja de Excel la que se muestra en el Anexo E.5, el cual se indica los cálculos realizados para el factor de seguridad en el apartado de la tabla 36 se tiene la simplificación de la hoja de Excel del perfil 5 el cual nos dio un factor de seguridad de 1,71529306 el que fue distinto al de Slide que se observa en la Figura 30.

Tablas comparativas de cálculos de factor de seguridad obtenidos entre Slide y Cálculo manual

Tabla 37. Valores de FS de Slide de los distintos métodos usados

FACTOR DE SEGURIDAD OBTENIDO EN SLIDE						
METODOS	PERFILES	FS1	FS2	FS3	FS4	FS5
	BISHOP	1,04	1,11	1,11	1,21	1,86
	FELLENIOUS	1,02	1,08	1,08	1,2	1,85
	JAMBU	0,96	1,03	1,02	1,15	1,78

Tabla 38. Valores del cálculo manual de FS de los distintos métodos usados

FACTOR DE SEGURIDAD CALCULADOS MAUALMENTE						
METODOS	PERFILES	FS1	FS2	FS3	FS4	FS5
	BISHOP	1,03	1	1	1,05	1,85
	FELLENIOUS	1,06	1,13	1,13	1,26	1,9
	JAMBU	0,96	1,02	1	1,15	1,71

Los resultados obtenidos de la quebrada vallen alto, en la ciudad de Portoviejo, muestran una adecuada coherencia entre los factores de seguridad calculados manualmente y los obtenidos mediante el software Slide, validando la metodología empleada para las condiciones geotécnicas locales, caracterizadas por suelos predominantemente arcillosos, pendientes pronunciadas y la influencia de precipitaciones intensas propias del clima tropical.

Los resultados obtenidos evidencian una adecuada coherencia entre los factores de seguridad calculados manualmente y aquellos obtenidos mediante el software Slide, lo que valida la metodología de análisis empleada. El método de **Bishop** resulta el más confiable para el análisis final de estabilidad del talud, mientras que **Janbu** permite identificar los escenarios más desfavorables. El método de **Fellenius**, aunque simplificado, es útil como herramienta comparativa inicial.

El análisis comparativo de los métodos de Bishop, Fellenius y Janbu evidencia que el método de **Bishop** presenta factores de seguridad ligeramente superiores y una alta concordancia entre ambos procedimientos de cálculo, lo que confirma su mayor rigor al considerar el equilibrio de fuerzas y momentos, así como las interacciones entre dovelas, resultando el más confiable para el análisis final de estabilidad del talud en la quebrada. El método de Fellenius, al basarse únicamente en el equilibrio de momentos y no considerar las fuerzas interlaminares, arroja factores de seguridad generalmente menores y mayores discrepancias, siendo adecuado como

método simplificado o de evaluación preliminar. Por su parte, el método de Janbu presenta factores de seguridad más conservadores y una buena consistencia entre los resultados manuales y automatizados, lo que permite identificar escenarios críticos de inestabilidad asociados a incrementos de saturación y condiciones desfavorables de drenaje, aspectos relevantes en la quebrada Valle Alto; en conjunto, los resultados confirman la coherencia técnica del análisis y respaldan el uso del método de Bishop como referencia principal para la evaluación de la estabilidad de taludes en el contexto geotécnico de Portoviejo.

El análisis de estabilidad realizado para la quebrada Valle Alto, permitió identificar que los procesos de deslizamiento presentes en la zona están directamente asociados al incremento del contenido de humedad del suelo como consecuencia de las precipitaciones. Este fenómeno genera un aumento significativo de la presión intersticial, lo que provoca una reducción progresiva de la resistencia al corte del material y, en consecuencia, una disminución del factor de seguridad del talud. Dichas condiciones son características de taludes conformados por suelos de tipo arcilloso limoso, como los identificados en el área de estudio mediante los ensayos geotécnicos realizados en laboratorio.

Los resultados obtenidos a partir del análisis de estabilidad mediante el método de Fellenius evidencian factores de seguridad menores a la unidad bajo condiciones saturadas, confirmando el estado de inestabilidad del talud y su alta susceptibilidad a deslizamientos durante eventos de precipitación intensa. Este comportamiento es consistente con lo reportado en estudios similares desarrollados en quebradas con características geotécnicas semejantes [39].

Asimismo, el uso de parámetros geotécnicos obtenidos a partir de ensayos triaxiales de laboratorio permitió representar de manera confiable el comportamiento mecánico del suelo. Los valores de cohesión y ángulo de fricción interna obtenida fueron fundamentales para la evaluación del estado tensional del talud y para la validación de la solución propuesta. La comparación de los factores de seguridad antes y después de la implementación del sistema de drenaje evidencia un incremento significativo, alcanzando valores superiores a los mínimos recomendados para condiciones estáticas, lo que demuestra la efectividad del sistema propuesto.

5.2. ANALISIS DE RESULTADOS DE LOS CALCULOS DE ESTABILIDAD DE TALUDES CON EL SOFTWARE TSLOPE

5.2.1. Análisis del software Tslope

En el presente apartado se analizará los perfiles longitudinales, empleado en el software de Tslope con el fin de determinar el factor de seguridad de los taludes por el método de Fellenius.

- **Primer perfil longitudinal**

Los datos observados en la Tabla 39 se visualizan el factor de seguridad del perfil 1 como lo muestra la Figura 30 el que resalta el modelado del talud en el software Tslope.

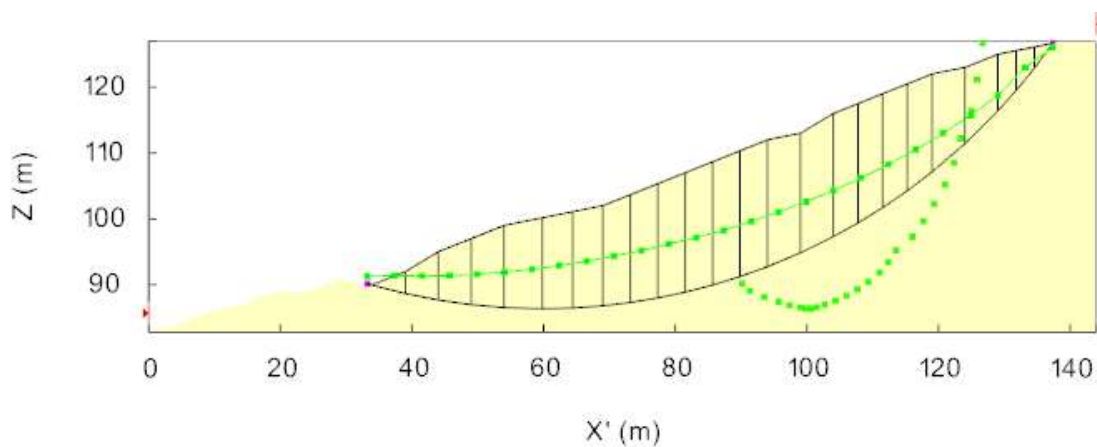


Figura 31 Modelado del perfil longitudinal del perfil 1 en Tslope

Tabla 39 Valor de factor de seguridad de Tslope perfil 1 M.Fellenius

FS	1,02
-----------	-------------

Los factores observados de la tabla 39 el valor obtenido presenta una condición cercana al límite de estabilidad, validado por el método de Fellenius.

- **Segundo Perfil longitudinal**

En el presente apartado se observará en la Tabla 40 se visualiza el factor de seguridad de perfil 2 como lo muestra en la figura 31 en que resalta el modelado del talud en el software Tslope.

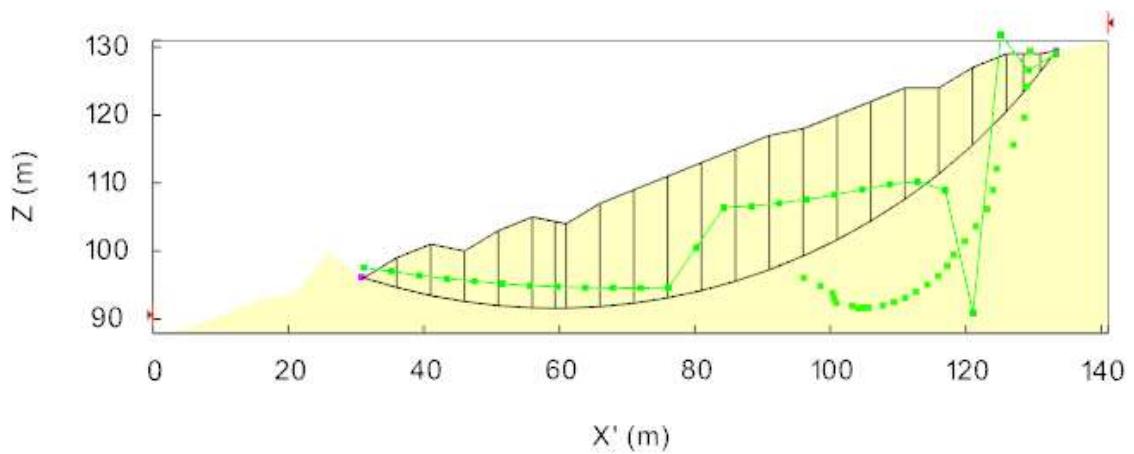


Figura 32 Modelado de perfil 2 en Tslope

Tabla 40 Valor de factor de seguridad de Tslope perfil 2 M.Fellenius

FS	1,084
-----------	--------------

Los factores observados de la tabla 40 el valor obtenido presenta una condición cercana al límite de estabilidad, con una variación de decimales, validado por el método de Fellenius el que estipula estable aceptable.

- **Tercer perfil longitudinal**

En el presente aparatado se observará en la Tabla 41 se visualiza el factor de seguridad de perfil 3 como lo muestra en la figura 33 en que resalta el modelado del talud en el software Tslope.

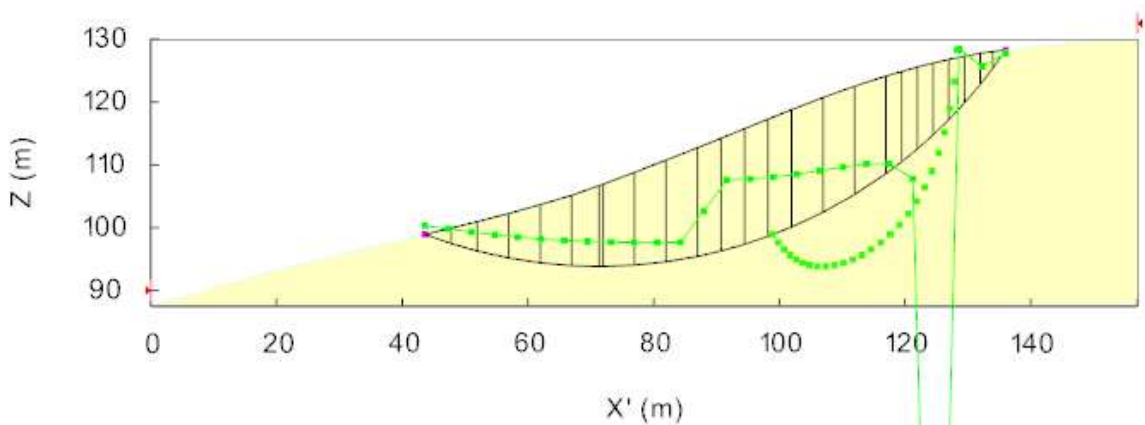


Figura 33 Modelado del perfil 3 en Tslope

Tabla 41 Valor de factor de seguridad de Tslope perfil 3 M.Fellenius

FS	1,08
-----------	-------------

Los factores observados de la tabla 41 los valores presentan nuevamente un valor coincidente de 1,08 validado por el método de Fellenius el que estipula estable aceptable.

- **Cuarto perfil longitudinal**

En el presente aparatado se observará en la Tabla 42 se visualiza el factor de seguridad de perfil 4 como lo muestra en la figura 34 en que resalta el modelado del talud en el software Tslope.

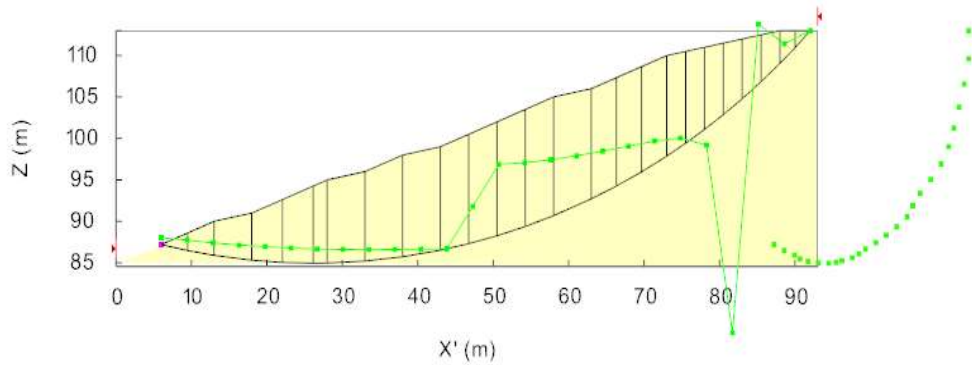


Figura 34 Modelado de perfil 4 en Tslope

Tabla 42 Valor de factor de seguridad de Tslope perfil 4 M.Fellenius

FS	1,21
-----------	-------------

Los factores observados de la tabla 42 los valores presentan nuevamente un valor coincidente de 1,21 validado por el método de Fellenius el que estipula estable aceptable.

- **Quinto perfil longitudinal**

En el presente aparatado se observará en la Tabla 43 se visualiza el factor de seguridad de perfil 5 como lo muestra en la figura 35 en que resalta el modelado del talud en el software Tslope.

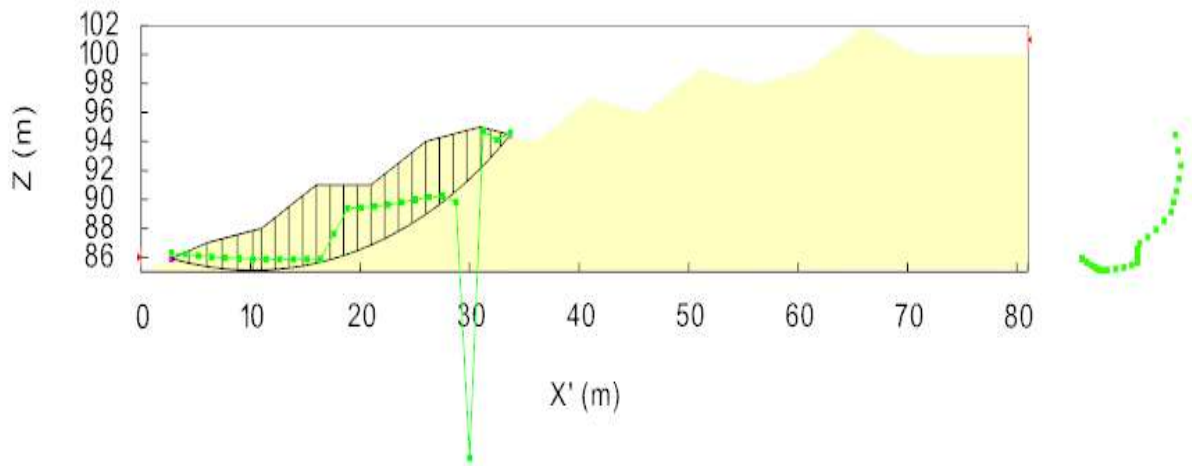


Figura 35 Modelado del perfil 5 en Tslope

Tabla 43 Valor de factor de seguridad de Tslope perfil 5 M.Fellenius

FS	1,851
----	-------

Los factores observados de la tabla 43 los valores presentan nuevamente un valor coincidente de 1,851 validado por el método de Fellenius el que refleja una mayor condición de estabilidad en este sector.

NOTA: Los puntos y líneas verdes representan las superficies potenciales de deslizamiento evaluadas por el software Tslope, durante el proceso de búsqueda, mientras que la línea negra más oscura indica la superficie de falla crítica asociada al menor factor de seguridad. Por su parte, las líneas rojas delimitan la geometría del talud analizado y las líneas verticales corresponden a la desratización del macizo en rebanadas, utilizadas en los métodos de equilibrio límite para el cálculo de la estabilidad.

Tablas comparativas de cálculos de factor de seguridad obtenidos entre Slide y Tslope con Método de Fellenius

Tabla 44 Tabla comparativa de resultados de Slide y Tslope

TABLA COMPARATIVA DE RESULTADOS ENTRE SLIDE Y TSLOPE CON M.FELLENIUS						
SOFTWARE	SLIDE	FS1	FS2	FS3	FS4	FS5
		1,02	1,08	1,08	1,2	1,85
	TSLOPE	1,02	1,084	1,08	1,21	1,851

Con el objetivo de evaluar la consistencia de los resultados alcanzados en el programa Slide se realizó una comparación con los factores de seguridad obtenidos en el programa STSLOPE aplicando el método de equilibrio límite de Fellenius a cinco perfiles representativos del talud (FS1, FS2, FS3, FS4 y FS5). Los resultados logrados evidencian que ambos software generan valores muy cercanos entre sí, lo que permite determinar que se ha logrado una evaluación confiable de la estabilidad de los taludes analizados.

En el perfil FS1, ambos programas determinaron un factor de seguridad de 1,02, indicando una condición cercana al límite de estabilidad. Para el perfil FS2, los valores obtenidos corresponden a 1,08 en Slide y 1,084 en TSLOPE, mientras que en el perfil FS3 los dos programas presentan nuevamente un valor coincidente de 1,08. En el caso del perfil FS4, los resultados muestran un factor de seguridad de 1,20 en Slide y 1,21 en TSLOPE, evidenciando una variación mínima entre ambos cálculos. Finalmente, en el perfil FS5 se obtuvieron los valores más altos del análisis, con 1,85 en Slide y 1,851 en TSLOPE, lo que refleja una mayor condición de estabilidad en este sector.

Asimismo, el análisis de las gráficas de estabilidad y de las superficies potenciales de falla circular generadas por ambos programas muestra una ubicación y geometría muy similares del círculo crítico de deslizamiento. Esta coincidencia indica que los dos softwares aplican de manera consistente el método de equilibrio límite para el cálculo del factor de seguridad. Las pequeñas diferencias observadas en algunos valores pueden atribuirse a variaciones en los procedimientos numéricos internos de cada programa; sin embargo, dichas diferencias son mínimas y no afectan de manera significativa la interpretación general de la estabilidad del talud.

5.3.DISCUSIÓN

Al comparar los métodos empleados, se observa que el método de Fellenius tiende a generar factores de seguridad ligeramente menores en comparación con los métodos de Bishop y Janbu, debido a que presenta mayores simplificaciones en el equilibrio de fuerzas entre las rebanadas del suelo. En contraste, el método de Bishop incorpora un análisis más detallado del equilibrio de momentos y fuerzas, lo que generalmente produce resultados más precisos en superficies de falla circulares, mientras que el método de Janbu permite considerar condiciones más generales de equilibrio, facilitando el análisis de diferentes configuraciones geométricas del talud. Es importante señalar que el uso del software TSLOPE presentó ciertas limitaciones dentro del presente estudio, debido a que se utilizó su versión libre, la cual restringe algunas funcionalidades avanzadas sobre el análisis geotécnico; por esta razón, su aplicación se enfocó principalmente en la comparación del factor de seguridad mediante el método de Fellenius. En cambio, el software SLIDE permitió desarrollar un análisis más completo al incorporar varios métodos de equilibrio límite, aunque los resultados obtenidos con ambos programas muestran una tendencia similar, lo que respalda la validez de la comparación realizada para evaluar la estabilidad del talud en la quebrada de Valle Alto.

5.4.CONCLUSIONES

- A partir del análisis del estado del arte, la información topográfica disponible, los ensayos de laboratorio y el procesamiento de datos mediante Sistemas de Información Geográfica (SIG), se logró caracterizar de manera integral las condiciones geométricas y geotécnicas de los taludes de la quebrada Valle Alto. Esta caracterización permitió identificar las principales variables que influyen en su comportamiento mecánico, constituyéndose en una base técnica confiable para el posterior análisis de estabilidad.
- El análisis mediante los métodos de Bishop, Fellenius y Janbu permitieron evaluar el comportamiento de los taludes desde diferentes enfoques de equilibrio límite. Se determinó que el método de Bishop proporciona resultados más representativos, debido a que considera el equilibrio de fuerzas y momentos, mientras que los métodos de Janbu y Fellenius sirvieron como herramientas de verificación y comparación de resultados, dado que el método de Fellenius solo tiene en cuenta los momentos aplicados en el talud y el método de Janbu cuenta con un propio factor correctivo que varía de las condiciones del talud. La comparación entre los resultados obtenidos con los métodos mencionados, mediante el software Slide y los cálculos manuales desarrollados, evidenció para los

métodos de Bishop y Fellenius una discrepancia de un 2% mientras que para Janbu se obtuvo valores similares al software, validando la confiabilidad del software para el análisis de estabilidad de taludes.

- En el análisis de estabilidad de taludes mediante métodos de equilibrio límite utilizando los softwares SLIDE y TSLOPE se determinó que los factores de seguridad obtenidos presentan una alta concordancia entre ambos programas, evidenciando diferencias mínimas que no afectan la interpretación del grado de estabilidad del talud. Los resultados confirman que la aplicación del método de Fellenius permitió establecer una comparación consistente entre los softwares, mostrando una similitud en la estimación del factor de seguridad. Si bien el uso de TSLOPE se limitó a su versión libre, lo cual restringe algunas funcionalidades del programa, esta condición no comprometió la validez del análisis comparativo, permitiendo revisar la similitud de los resultados y la confiabilidad del estudio realizado.

5.5.RECOMENDACIONES

- Para fines de verificación, se recomienda correr los perfiles en el software **TSLOPE 2.x** ya que es una versión más completa actualmente. Este software presenta ventajas importantes, tales como la rapidez en el cálculo del factor de seguridad, la posibilidad de modelar taludes en dos y tres dimensiones, así como la identificación de superficies críticas de falla, lo que facilita la interpretación del comportamiento potencial del terreno.
- Se sugiere la realización de una inspección detallada del sitio con el fin de ampliar el conocimiento de las condiciones específicas geológicas actuales del área de estudio.
- Se plantea la ejecución de ensayos de campo que permitan determinar con precisión el nivel freático, debido a que este constituye un factor determinante en la generación de presiones de poro y en la estabilidad del talud, para lo cual se recomienda la instalación de piezómetros y la realización de calicatas o perforaciones exploratorias. De manera complementaria, se deberán efectuar ensayos de laboratorio tales como análisis granulométricos, ensayos de permeabilidad y determinación del contenido de humedad natural, los cuales permitirán caracterizar las propiedades físicas e hidráulicas del suelo necesarias para evaluar el comportamiento del flujo subterráneo y estimar adecuadamente los parámetros de diseño. La información obtenida a partir de estos estudios resulta indispensable para el diseño correcto de los drenes horizontales

profundos, ya que permite definir su longitud, espaciamiento, inclinación y profundidad, garantizando la efectividad del sistema de drenaje y la mejora del factor de seguridad del talud.

6. REFERENCIAS

- [1] CEAACES, «ANEXO CÓDIGO SUBÁREA CONOCIMIENTO UNESCO,» Unidad de tecnologías de la información, s.f.
- [2] I. Andrade-Carreño, D. Delgado y M. G. Vivas, «Evaluación de la vulnerabilidad del suelo por erosión hídrica en la provincia de Manabí (Ecuador) mediante la aplicación de un modelo geoespacial,» *Investigaciones Geográficas (España)*, nº 83, pp. 109-128, 2025.
- [3] AVANCING STANDARDS TRANSFORMING MARKETS, «Método de prueba estándar para la prueba de compresión triaxial no drenada consolidada para suelos cohesivos,» de *ASTM D4767-11(2020)*, 2020, p. 14.
- [4] D. H. G. a. R. B. Sotir, *Biotechnical and Soli Bioengineering Slope Stabilization*. Hoboken, USA: CED, engeneering, 1996.
- [5] F. P. G. DIDIER, «ANALISIS DE LA ESTABILIDAD DEL TALUD UBICADO EN EL SECTOR CHARCO RICO ALTO, EL TOTUMO DEL MUNICIPIO DE IBAGUÉ,» *UNIVERSIDAD COOPERATIVA DE COLOMBIA*, 2020.
- [6] C. J. N. Benavides, «ESTUDIO DE MÉTODOS DE ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES PARA LA ELABORACIÓN DE UN SOFTWARE CON FINES EDUCATIVOS,» *UNIVERSIDAD DE NARIÑO*, 2015.
- [7] C. L. L. M. & C. F. Gael, «Enlace de naturaleza de Springer,» 3 Enero 2025. [En línea]. Available: <https://doi.org/10.1007/s43503-024-00046-2>. [Último acceso: 10 Enero 2026].
- [8] S. A. J. Oña, Artist, *ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DEL TALUD UBICADO EN LA AUTOPISTA GENERAL RUMIÑAHUI KM. 5 EN LA PARROQUIA CONOCOTO, CANTÓN QUITO*. [Art]. UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA, 2024.

- [9] D. G. M. d. Jesús, Artist, *Análisis de taludes por el método Bishop*. [Art]. UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO, 2018.
- [10] C. B, S. A, P. N y &. F. I. (. f.), Se propuso una óptima técnica de mitigación que consisten en realizar la obra de drenajes horizontales profundos con el fin de canalizar las aguas subterráneas y superficiales. Con el fin de determinar factible, la que ayudara a estabilizar el talud dentr, Loja, Ecuador: Universidad Técnica Particular de Loja, 2021.
- [11] R. W. Z. D. L. Torre y G. S. BarreiroMendoza, «Aplicación del índice de vulnerabilidad costera en el sector de la loma de Crucita,Cantón Portoviejo, Provincia de Manabí.,» *Revista Sinapsis. ISSN 1390 – 9770*, vol. I, n° 23, 2023.
- [12] C. J. G. Vergara y E. I. D. Buitrago, Artists, *Modelación del flujo en taludes para drenes horizontales*. [Art]. Pontificia Universidad Javeriana, 2011.
- [13] Universidad Mayor de San Andrés, «Dren horizontal profundo,» 30 Abril 2023. [En línea]. Available: <https://es.scribd.com/document/641843355/dren-Horizontal-Profundo>. [Último acceso: 10 Enero 2026].
- [14] P. C. SANHUEZA y C. L. RODRÍGUEZ, «Análisis comparativo de métodos de cálculo de estabilidad de taludes finitos aplicados a laderas naturales,» *Revista de la Construccion*, vol. XII, n° 1, p. 20, 2013.
- [15] C. L. M. Gonzáles, «DESLIZAMIENTOS CAPITULO 1,» s.f. s.f. s.f.. [En línea]. Available: <https://es.slideshare.net/slideshow/deslizamientos-capitulo-1/238404129#1>. [Último acceso: 10 Enero 2026].
- [16] D. I. A. O. O. Gozáles, «Estabilidad de taludes y laderas. Análisis cuantitativo y cualitativo,» *Grupo ITEICO Euroamericano*, vol. 1, pp. 1-3, 2015.
- [17] S. S. L. GERARDO, SUSCEPTIBILIDAD A DESLIZAMIENTOS DE SUELOS EN EL CAMPUS LOS ÁNGELES DE LA UNIVERSIDAD ESTATAL DEL SUR DE MANABÍ, JIPIJAPA, 2018.
- [18] E. B. V. VALERIA y S. B. J. JAIR, ESTABILIDAD DE TALUDES EN SUELOS, NEZAHUALCÓYOTL, EDO. DE MEXICO: UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MEXICO, 2024.

- [19] J. Suarez, Análisis Geotécnico, GEOTECNOLOGÍA, 2012.
- [20] M. E. Andia Mirano, Artist, *Condiciones morfológicas de las quebradas para el potencial diseño de espacios públicos de integración urbana con servicios ecosistémicos. Quebrada Santa Lucía en Chachapoyas.* [Art]. Pontificia Universidad Católica del Perú, 2020.
- [21] H. Fingermann, «Deconceptos.com.,» 20 Febrero 2020. [En línea]. Available: <https://deconceptos.com/ciencias-naturales/quebrada>. [Último acceso: 10 Enero 2026].
- [22] Redacción Web, «Multas de hasta USD 45.000 por rellenar y construir en quebradas,» *EL TELÉGRAFO EL DECANO DIGITAL*, 30 Noviembre 2023.
- [23] KevinEspinozaVentura, «Guía del usuario – Inicio Rápido,» s.f..
- [24] CEUPE, «QGIS: ¿Qué es y qué ventajas ofrece?,» s.f. s.f. s.f.. [En línea]. Available: <https://www.ceupe.com/blog/qgis.html>. [Último acceso: 10 Enero 2026].
- [25] merginmaps, «QGIS,» s.f s.f s.f.. [En línea]. Available: <https://es.merginmaps.com/glossary/qgis>. [Último acceso: 10 Enero 2026].
- [26] M. P. Kakavas y K. G. Nikolakopoulos, «Digital Elevation Models of Rockfalls and Landslides: A Review and Meta-Analysis,» *geosciences*, vol. s.f., n° s.f., p. s.f., 11 Junio 2021.
- [27] O. A. Aguilar Goenaga y C. E. Zuñiga Romero, Artists, *ANÁLISIS COMPARATIVO DE ESTABILIDAD DE TALUDES MEDIANTE LOS METODOS DE EQUILIBRIO LIMITE APLICADO A TALUDES O LADERAS ALEDAÑAS AL CERRO DE LA POPA, CASCO URBANO DE CARTAGENA*. [Art]. Universidad de Cartagena, 2015.
- [28] J. B. Iñiguez, «Métodos para el análisis de la estabilidad de pendientes,» *MASKANA*, vol. II, n° 2, pp. 06-07, 2011.
- [29] D. B. Morales Alvarado, Artist, *Procedimientos de investigación y comparación de los métodos de bishop modificado, janbú y fellenius para el cálculo de estabilidad de taludes*. [Art]. Universidad de San Carlos de Guatemala, 2009.

- [30] P. Alfaras, «Estabilidad de taludes con análisis numéricos,» 30 Julio 2024. [En línea]. Available: <https://resource.midasuser.com/es/blog/sophiesampletest>. [Último acceso: 10 Enero 2026].
- [31] E. D. LUGO ALVAREZ, Artist, *COMBINACIÓN DE LOS MÉTODOS JANBÚ – SPENCER EN EL ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES PARA EL EMPLEO DE SISTEMAS FLEXIBLES DE ALTA RESISTENCIA EN LA CONSTRUCCIÓN DE CARRETERAS*. [Art]. UNIVERSIDAD NACIONAL FEDERICO VILLARREAL, 2018.
- [32] J. R. Apaza Chira, Artist, *Análisis comparativo de los métodos de equilibrio limite en la estabilidad de taludes aplicando metodología 3D, carretera Juliaca - Pusi 2023*. [Art]. Universidad César Vallejo, 2024.
- [33] F. Guzzetti, A. C. Mondini, M. Cardinali, F. Fiorucci, M. Santangelo y K.-T. Chang, «Landslide inventory maps: New tools for an old problem,» *ELSEVIER*, n° 112, pp. 42-66, 2012.
- [34] M. P. Kakavas y K. G. Nikolakopoulos, «Digital Elevation Models of Rockfalls and Landslides: A Review and Meta-Analysis,» *geosciences*, n° 256, pp. 1-26, 2021.
- [35] M. R. Rivas Domínguez, Artist, *PROCEDIMIENTOS EN QGIS: EXTRACCIÓN DE CURVAS DE NIVEL, MAPA DE PENDIENTES, MODELO 3D, Y CLASIFICACIÓN SEMIAUTOMÁTICA.* [Art]. UNIVERSIDAD DOCTOR ANDRÉS BELLO, 2021.
- [36] J. A. R. Olmedo, «Perfiles Longitudinales en AutoCAD Civil 3D,» 17 Enero 2020. [En línea]. Available: <https://es.scribd.com/document/444484062/CLASE-7-PERFILES-LONGITUDINALES-Y-ALINEAMIENTOS-VERTICALES-pdf>. [Último acceso: 10 Enero 2026].
- [37] B. Maria, F. Eddy, O. Karen, Q. Mayara, R. Dimas y T. Sebastián, «Metodo de dovelas,» Universidad Tecnológica de los Andes, Cusco- Perú, 2023.
- [38] A. I. B. M. C. N. P. NOVAK, «Ingenieria de presas de relleno,» de *Estructuras Hidraulicas*, s.f., Newcastel upon Tyne,, S.f., pp. 48-69.
- [39] C. C. M. Franchesca, «ANÁLISIS DE LOS FENÓMENOS DE REMOCIÓN EN MASA, DELDESOLVE DEL CERRO ALAUSI, EN UBICADO EN EL CANTÓN ALAUSI,

PROVINCIA DE CHIMBORAZO, PROPUESTA DE SOLUCIONES,» Universidad central del Ecuador , Quito, 2023.

[40] F. J. Vasquez, «OBSERVACIONES SOBRE EL DESLIZAMIENTO DEL 26 DE MARZO DE 2023 EN ALAUSÍ,» *Instituto Geofísico*, vol. 6, n° 1, p. 28, 2023.