



UNIVERSIDAD NACIONAL DE
HUANCVELICA



DESLIZAMIENTO DE LADERAS

**UN ENFOQUE SECUENCIAL DE ANÁLISIS
RETROSPECTIVO Y PROSPECTIVO**

**Roger Rivera-Casavilca
Ivan Espinoza-Huamani
Javier Vargas-Martínez**

DOI: 10.35622/inudi.b.127

Deslizamiento de laderas: un enfoque secuencial de análisis retrospectivo y prospectivo

DOI: <https://doi.org/10.35622/inudi.b.127>

Roger Rivera-Casavilca

<https://orcid.org/0000-0002-1621-6020>
Universidad Nacional de Huancavelica
roger.rivera@unh.edu.pe

Ivan Espinoza-Huamani

<https://orcid.org/0009-0004-8838-4156>
Universidad Nacional de Huancavelica
civilian09@gmail.com

Javier Vargas-Martinez

<https://orcid.org/0009-0006-8634-370X>
Universidad Nacional de Huancavelica
javier.vargas@unh.edu.pe



UNIVERSIDAD NACIONAL DE
HUANCABELICA



Deslizamiento de laderas: un enfoque secuencial de análisis retrospectivo y prospectivo

Autores:

Roger Rivera Casavilca
Ivan Isaias Espinoza Huamani
Javier Pablo Vargas Martinez

Primera edición digital
Publicado en Puno, diciembre del 2023

ISBN: 978-612-5130-13-6 (PDF)

Hecho el depósito legal en la Biblioteca Nacional del Perú N° 2023-12508

Registro de Proyecto Editorial: N° 32101012400019

DOI: <https://doi.org/10.35622/inudi.b.127>

Categoría: Libro de resultado de investigación científica

CONSEJO EDITORIAL

Director: Lic. Sergio Antonio Flores Vargas

Editor Jefe: Eddy Rodrigo Gonzales Huaman

Editores:

Dra. Bethzabe Cotrado Mendoza / Dra. Manuela Daishy Casa Coila / Dr. Edgar Estanislao Mancha Pineda / Dra. Luz Wilfreda Cusi Zamata / MSc. Rebeca Alanoca Gutiérrez / Dr. Wilson Gregorio Sucari Turpo / Dra. Yolanda Lujano Ortega / Dra. Sheyla Lenna Cervantes Alagón / Dra. Dometila Mamani Jilaja / Dr. Peregrino Melinton Lopez Paz / Dra. Nina Eleonor Vizcarra Herles / Mg. Lourdes Antonieta López Cueva / Dr. Carlos Alfredo Castro Quispe / Dr. Edgar Darío Callohuanca Avalos / Dra. Diana Águeda Vargas Velásquez / MSc. Yésica Dominga Díaz Vilcanqui / Dra. Tania Carola Padilla Cáceres / Patty Samanta Aza Suaña / Lic. Leydi Gabriela Ramos Ramos.

Edición de:

Instituto Universitario de Innovación Ciencia y Tecnología Inudi Perú S.A.C.

Urb. Ciudad Jardín Mz. B3 Lt. 2, Puno - Perú

RUC: 20608044818

Email: editorial@inudi.edu.pe / info@inudi.edu.pe

Teléfono: +51 973668341

Sitio web: <https://editorial.inudi.edu.pe>

Universidad Nacional de Huancavelica

Av. Agricultura N° 319 - 321. Sector - Paturpampa, Huancavelica - Perú

RUC: 20168014962

Email: tramitedocumentario@unh.edu.pe

Teléfono: 067- 451551

Sitio web: <https://www.unh.edu.pe/>

Financiamiento: Universidad Nacional de Huancavelica

Publicado en Perú / Posted in Peru



Esta obra está bajo una licencia CC BY-NC-SA 4.0 DEED Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional

Evaluación de contenido: Esta obra ha sido evaluada por pares doble ciego, aprobada por el Consejo Editorial del Instituto Universitario de Innovación Ciencia y Tecnología Inudi Perú y editada bajo procedimientos que garantizan su normalización.

Los autores son moral y legalmente responsables de la información expresada en este libro, así como del respeto a los derechos de autor; por lo tanto, no comprometen en ningún sentido a la editorial.

Declaración conflictos de interés:

Los autores de esta publicación declaran la inexistencia de conflictos de interés de cualquier índole con instituciones o asociaciones comerciales.

Financiamiento:

Publicación financiada por la Universidad Nacional de Huancavelica como resultado de un concurso promovido por el Vicerrectorado de Investigación, durante el año fiscal 2023.

Información adicional:

Este libro es resultado de una investigación original (inérita) promovida por el Fondo de Apoyo Económico a los Docentes Investigadores (FAEDI) de la Universidad Nacional de Huancavelica.



Director Ejecutivo

Dr. Wilson Gregorio Sucari Turpo

Director Académico

Lic. Sergio Antonio Flores Vargas

Director de Investigación

Dr. Pedro Carlos Huayanca Medina

Director de Innovación y Transferencia Tecnológica

Ing. Erika Romero Santisteban

Revisores Pares Externos

Se encuentra en el siguiente enlace:

<https://editorial.inudi.edu.pe/index.php/editorialinudi/about/editorialTeam>



EDITORIAL INSTITUTO UNIVERSITARIO DE INNOVACIÓN
CIENCIA Y TECNOLOGÍA INUDI PERÚ S.A.C.

— INDEXADA EN DOAB, DIALNET, WORLDCAT, JISC, REDIB, SCILIT, OPENDOAR, SHERPA/ROMEO—
CÓD. DE SELLO EDITORIAL: 978-612-48813

DECLARACIÓN JURADA

Los autores, abajo firmantes, responsables de la investigación científica titulada "Deslizamiento de laderas: un enfoque secuencial de análisis retrospectivo y prospectivo", que será publicada en la Editorial Instituto Universitario de Innovación Ciencia y Tecnología Inudi Perú, hace constar mediante la presente declaración jurada lo siguiente:

- Declaramos que el libro es el resultado de una investigación científica realizada bajo mi propia dirección y supervisión, y que todo el contenido del mismo es fruto de un trabajo original y creativo.
- Afirmamos que todas las ideas, teorías, conceptos, metodologías, resultados, conclusiones y cualquier otro contenido expresado en el libro son producto de mi autoría y están respaldados por los hallazgos obtenidos en la investigación, así como por la rigurosidad científica empleada en el proceso.
- Dejamos en constancia que no se ha incurrido en plagio, es decir, no se ha copiado ni utilizado sin atribución adecuada ninguna obra, trabajo o investigación de terceros que pudiera comprometer la originalidad de los contenidos aquí presentados.
- Garantizamos que cualquier cita, referencia o mención a trabajos, publicaciones o aportes de otros autores ha sido adecuadamente reconocida y citada en el texto y en la bibliografía del libro, siguiendo las normas y prácticas aceptadas en el ámbito académico y científico.
- Nos comprometemos a asumir la responsabilidad de cualquier controversia que pudiera surgir relacionada con la originalidad del contenido presentado en este libro y a colaborar con el Instituto Universitario de Innovación Ciencia y Tecnología Inudi Perú para resolver cualquier inquietud al respecto.
- Autorizamos al Instituto Universitario de Innovación Ciencia y Tecnología Inudi Perú a publicar y distribuir el libro bajo los términos y condiciones que se acuerden, manteniendo siempre los créditos y reconocimientos a nuestra autoría.
- Reconocemos que cualquier incumplimiento de estas declaraciones o de los principios éticos y académicos en la elaboración de este libro puede acarrear consecuencias legales y afectar nuestra reputación como investigadores.

Fecha: 02 de febrero de 2024


RIVERA CASAVILCA
ROGER
DNI: 41694387


Espinoza Huamani
Ivan Isaias
D.N.I.: 70353939


VARGAS MARTINEZ
JAVIER PABLO
DNI: 42339308

Contribución de autores

Nombre del autor	Rol	Descripción
Roger Rivera Casavilca (Autor Principal)	Conceptualización, metodología, validación, análisis formal, investigación, supervisión, administración del proyecto. Análisis formal, investigación, recursos, visualización.	Lideró el equipo de investigación, definió los objetivos del estudio, diseñó el método de investigación, recopiló los datos, analizó los resultados y redactó el manuscrito, participó en los análisis estadísticos y las pruebas diferenciales de las hipótesis, proporcionó los materiales necesarios para la síntesis de datos, generó la presentación de tablas y figuras.
Ivan Isaias Espinoza Huamani (Coautor)	Conceptualización, metodología, recursos, escritura - borrador original.	Proporcionó los materiales de laboratorio necesarios para las pruebas, diseñó el método de la investigación, contribuyó en la redacción y preparación del manuscrito.
Javier Pablo Vargas Martinez (Coautor)	Conceptualización, Escritura - Borrador original, Escritura - Revisión y edición, investigación	Contribución y generación de ideas inéditas, lógicas encuadradas a las variables del tema en consideración; toma de datos en campo; revisiones bibliográficas y adaptación de consolidados del marco teórico, generación de liderazgo inter y multidisciplinario con inquietud de desarrollo de bienestar a la suma de conocimientos.

EDITORIAL INSTITUTO UNIVERSITARIO DE INNOVACIÓN
CIENCIA Y TECNOLOGÍA INUDI PERÚ S.A.C.

— INDEXADA EN DOAB, DIALNET, WORLDCAT, JISC, REDIB, SCILIT, OPENDOAR, SHERPA/ROMEO—
CÓD. DE SELLO EDITORIAL.: 978-612-48813

CONSTANCIA

de revisión por el Comité de Ética

Yo, **Lic. Leydi Gabriela Ramos Ramos** en calidad de Presidente del Comité de Ética del Instituto Universitario de Innovación Ciencia y Tecnología Inudi Perú, hago constar que el Comité de Ética de Publicación de Libros resultado de investigación científica, ha evaluado el proceso de publicación del libro titulado "**Deslizamiento de laderas: un enfoque secuencial de análisis retrospectivo y prospectivo**", con ISBN **978-612-5130-13-6** presentado por los autores **Roger Rivera Casavilca, Ivan Isaias Espinoza Huamani, Javier Pablo Vargas Martinez** y ha determinado que dicho proceso cumple con los principios éticos y las normas establecidas para la publicación de investigaciones científicas.

Del mismo modo, el informe de similitud generado por el software Turnitin arrojó los siguientes resultados:

El porcentaje total de similitud del libro es de **18%** el cual está dentro de los límites establecidos por las políticas de originalidad de nuestra institución para trabajos de investigación.

Se expide la presente para fines que los autores crean por conveniente.

Dado en Puno – Perú, 5/02/2024 09:36:22



Firmado digitalmente por RAMOS RAMOS
LEYDI GABRIELA FIR.70940654 hard
Fecha: 2024.02.05 09:37:08 -05'00'
Versión de Adobe Acrobat Reader:
2023.008.20470

Lic. LEYDI GABRIELA RAMOS RAMOS
Presidente del Comité de Ética

Dedicatoria

A mi amada esposa Noemí, quiero expresar mi profundo agradecimiento por ser el faro que ha iluminado mi sendero profesional. Tu inquebrantable perseverancia ha sido mi fuente de inspiración constante, mostrándome con cada paso la importancia de seguir adelante incluso en los momentos más desafiantes. Tu apoyo incondicional y tus palabras de aliento han sido el motor que impulsa mi crecimiento diario, y por eso, te estaré eternamente agradecido.

A mis queridos hijos, Stephen y Sigrid, ustedes son mi mayor razón para esforzarme y superarme día a día. Vuestra presencia en mi vida ha colmado cada jornada de propósito y significado. Verlos crecer, aprender y convertirse en personas extraordinarias es mi mayor orgullo. Vuestra vitalidad y alegría han sido un recordatorio constante de lo que realmente importa en este mundo, y por eso, cada logro profesional se ve realizado por tu presencia y amor incondicional.

A los tres, mi familia, les agradezco profundamente por ser mi mayor fuente de inspiración, por sostenerme en los momentos difíciles y por ser la razón por la cual cada día busco ser mejor persona y profesional. Sin ustedes, mi camino sería incompleto y mi motivación carecería de su fuerza. Gracias por ser mi pilar, mi motivo y mi constante fuente de amor y apoyo.

Contenido

SINOPSIS.....	13
ABSTRACT.....	14
INTRODUCCIÓN.....	15

CAPÍTULO I

DESLIZAMIENTO DE LADERA

1.1 Introducción a los deslizamientos de laderas.....	19
1.2 Historia y contexto de los deslizamientos de ladera en Perú.....	20
1.2.1 Contexto de los deslizamientos de ladera	29
1.3 Tipos de movimiento	29
1.3.1 Desprendimientos o caídas	30
1.3.2 Vuelcos.....	31
1.4 Tipos de deslizamientos	33
1.4.1 Deslizamientos rotacionales	34
1.4.2 Deslizamientos traslacional	37
1.5 Características geológicas de las laderas.....	39
1.5.1 Relación geología con la ingeniería civil.....	41
1.6 Estabilidad de taludes.....	43
1.6.1 Talud	43
1.6.2 Estabilidad.....	44
1.6.3 Factor de seguridad.....	44
1.6.4 Equilibrio límite.....	46
1.7 Análisis retrospectivo y prospectivo	56
1.7.1 Análisis retrospectivo	56
1.7.2 Riesgos derivados del metal tóxico plomo	57

CAPÍTULO II

ANÁLISIS RETROSPECTIVO Y PROSPECTIVO SECUENCIAL DE DESLIZAMIENTO DE LADERAS EN LA CIUDAD UNIVERSITARIA DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCVELICA

2.1 Razones de la investigación	60
2.2 Objetivo de la investigación.....	61

2.3 Método, diseño y tipo de investigación	62
2.4 Consideraciones éticas	65
2.5 Resultados de la investigación.....	66
2.5.1 Análisis de estabilidad con parámetros In Situ	66
2.5.2 Análisis retrospectivo de estabilidad con valores no saturado	71
2.5.3 Análisis retrospectivo de estabilidad con valores saturado.....	78
3.6. Discusión de resultados de investigación	85

CAPÍTULO III

CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y REFLEXIONES

3.1 Conclusiones	90
3.2 Recomendaciones	90
3.3 Reflexiones.....	92
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	94
ANEXOS	99

Índice de tablas

Tabla 1 <i>Resumen del sistema de ecuaciones</i>	47
Tabla 2 <i>Resumen del sistema de incógnitas</i>	47
Tabla 3 <i>Parámetros geotécnicos usados en el análisis de estabilidad</i>	66
Tabla 4 <i>Análisis de estabilidad con parámetros In Situ</i>	67
Tabla 5 <i>Valores de las cargas puntuales que representan la masa de suelo del deslizamiento</i>	70
Tabla 6 <i>Parámetros geotécnicos resistentes del suelo en estado no saturado, cohesión c y el ángulo de fricción \emptyset en el momento de la falla del primer deslizamiento</i>	72
Tabla 7 <i>Parámetros geotécnicos resistentes del suelo en estado no saturado, cohesión c y el ángulo de fricción \emptyset en el momento de la falla del segundo deslizamiento</i> ..	72
Tabla 8 <i>Resultados del análisis de estabilidad con valores de análisis retrospectivo no saturado</i>	73
Tabla 9 <i>Parámetros geotécnicos resistentes del suelo en estado saturado, cohesión c y el ángulo de fricción \emptyset en el momento de la falla del primer deslizamiento</i>	79
Tabla 10 <i>Parámetros geotécnicos resistentes del suelo en estado saturado, cohesión c y el ángulo de fricción \emptyset en el momento de la falla del segundo deslizamiento</i>	79
Tabla 11 <i>Resultados del análisis de estabilidad con valores de análisis retrospectivo saturado</i>	80

Índice de figuras

Figura 1 <i>Desprendimiento o caída</i>	30
Figura 2 <i>Trayectorias de material</i>	31
Figura 3 <i>Vuelco por flexión</i>	32
Figura 4 <i>Vuelco de bloques</i>	33
Figura 5 <i>Vuelco mixto</i>	34
Figura 6 <i>Deslizamiento rotacional</i>	35
Figura 7 <i>Fractura común de forma cilíndrica</i>	37
Figura 8 <i>Diferentes superficies circulares de rotura</i>	37
Figura 9 <i>Movimiento de traslación en la interfaz suelo-roca</i>	38
Figura 10 <i>Deslizamiento de traslación en suelo</i>	38
Figura 11 <i>Esquema simplificado de una expansión lateral</i>	39
Figura 12 <i>Representación del esquema de las fuerzas generales en cada sección de dovela</i>	50
Figura 13 <i>Enfoque convencional, conocido como el método de Fellenius</i>	51
Figura 14 <i>Las fuerzas actuando en una sección específica de una dovela, como se describe en el método simplificado propuesto por Bishop</i>	53
Figura 15 <i>Diagrama de evaluación aplicado al enfoque simplificado de Jambu</i>	54
Figura 16 <i>Esquema para calcular el coeficiente o factor en el enfoque de Janbú</i>	54
Figura 17 <i>Representación gráfica de las fuerzas accionantes sobre una dovela utilizando el enfoque de Spencer.</i>	55
Figura 18 <i>Plano de ubicación y localización</i>	64
Figura 19 <i>Análisis previo a la construcción del proyecto en terreno natural</i>	68
Figura 20 <i>Análisis una vez concebido las explanaciones del proyecto</i>	68
Figura 21 <i>Análisis una vez concebido las explanaciones más influencia de infraestructuras del proyecto</i>	69
Figura 22 <i>Resultado del análisis posterior al deslizamiento de ladera</i>	71
Figura 23 <i>Análisis antes de concebir el proyecto en terreno natural, primer deslizamiento</i>	74
Figura 24 <i>Análisis antes de concebir el proyecto en terreno natural, segundo deslizamiento</i>	75

Figura 25 <i>Análisis una vez concebida las explicaciones del proyecto, primer deslizamiento</i>	75
Figura 26 <i>Análisis una vez concebida las explicaciones del proyecto, segundo deslizamiento</i>	76
Figura 27 <i>Análisis una vez concebida las explicaciones más influencia de infraestructuras del proyecto, primer deslizamiento</i>	76
Figura 28 <i>Análisis una vez concebida las explicaciones más influencia de infraestructuras del proyecto, segundo deslizamiento</i>	77
Figura 29 <i>Análisis posterior al deslizamiento de ladera, primer deslizamiento</i>	77
Figura 30 <i>Análisis posterior al deslizamiento de ladera, segundo deslizamiento</i>	78
Figura 31 <i>Análisis antes de concebir el proyecto en terreno natural, primer deslizamiento</i>	81
Figura 32 <i>Análisis antes de concebir el proyecto en terreno natural, segundo deslizamiento</i>	82
Figura 33 <i>Análisis una vez concebida las explicaciones del proyecto, primer deslizamiento</i>	82
Figura 34 <i>Análisis una vez concebida las explicaciones del proyecto, segundo deslizamiento</i>	83
Figura 35 <i>Análisis una vez concebida las explicaciones más influencia de infraestructuras del proyecto, primer deslizamiento</i>	83
Figura 36 <i>Análisis una vez concebida las explicaciones más influencia de infraestructuras del proyecto, segundo deslizamiento</i>	84
Figura 37 <i>Análisis posterior al deslizamiento de ladera, primer deslizamiento</i>	84
Figura 38 <i>Análisis posterior al deslizamiento de ladera, segundo deslizamiento</i>	85

SINOPSIS

El análisis secuencial, retrospectivo y prospectivo, sobre deslizamiento de laderas es crucial para su entendimiento y gestiona eficaz a través de la información planificada sobre el uso del suelo y promoción de la resiliencia comunitaria. El objetivo principal fue determinar los resultados de un análisis retrospectivo y prospectivo secuencial en relación al deslizamiento de ladera que afecta a la Ciudad Universitaria de la Universidad Nacional de Huancavelica. Se logró determinar que antes de la concepción del proyecto de construcción en el área, los análisis de estabilidad revelaron factores de seguridad superiores a 1, indicando que la ladera era estable y no mostraba signos de desplazamiento. Sin embargo, tras la ejecución del proyecto y la introducción de infraestructuras, los factores de seguridad disminuyeron significativamente, lo que sugiere una pérdida de estabilidad. Incluso al considerar la influencia adicional de las infraestructuras, la ladera continuó siendo inestable. Además, un análisis posterior al desplazamiento de ladera reveló factores de seguridad aún más bajos (0.305, 0.295, 0.294, 0.458 y 0.458), indicando la alta probabilidad de futuros desplazamientos si no se toman medidas de estabilización adecuadas. Se concluye que el deslizamiento de laderas releva una disminución significativa en la estabilidad, especialmente en la implementación inicial e introducción de maquinarias. Esto denota la suma importancia para comprender los riesgos asociados a la construcción en zonas con desplazamientos de ladera y resaltar la necesidad de estrategias de mitigación efectiva.

Palabras clave: deslizamiento de ladera, estabilidad, factores de seguridad, proyecto de construcción.

ABSTRACT

The sequential, retrospective, and prospective analysis of landslide is crucial for understanding and effectively managing it through planned information on land use and the promotion of community resilience. The main objective was to determine the outcomes of a sequential retrospective and prospective analysis regarding the landslide affecting the University City of the National University of Huancavelica. It was determined that before the conception of the construction project in the area, stability analyses revealed safety factors higher than 1, indicating that the slope was stable and showed no signs of displacement. However, after the project's execution and the introduction of infrastructure, safety factors decreased significantly, suggesting a loss of stability. Even when considering the additional influence of the infrastructure, the slope continued to be unstable. Furthermore, an analysis after the landslide revealed even lower safety factors (0.305, 0.295, 0.294, 0.458, and 0.458), indicating a high probability of future displacements if appropriate stabilization measures are not taken. It is concluded that landslide reveals a significant decrease in stability, especially in the initial implementation and introduction of machinery. This underscores the importance of understanding the risks associated with construction in areas with landslide displacement and highlights the need for effective mitigation strategies.

Keywords: landslide, stability, safety factors, construction project.

INTRODUCCIÓN

En el entorno de la Universidad Nacional de Huancavelica, un problema latente amenaza la estabilidad y seguridad de este importante enclave académico. En el trasfondo de las aulas, bibliotecas y áreas de investigación, se esconde un desafío que requiere nuestra atención inmediata. El deslizamiento de ladera, un fenómeno natural y peligroso, se ha convertido en un problema urgente que pone en riesgo no solo la integridad de la infraestructura universitaria, sino también la vida de quienes la habitan y trabajan.

El propósito de este libro es adentrarnos en el intrigante y crítico tema del deslizamiento de ladera en la Ciudad Universitaria de Huancavelica. Abordaremos este desafío desde una perspectiva analítica y retrospectiva, con el objetivo de determinar con precisión sus implicaciones, orígenes y consecuencias. Para ello, exploraremos los resultados del análisis retrospectivo y prospectivo secuencial llevados a cabo en esta zona geográfica.

Ante este problema, Garibay-Perez et al. (2016) refieren que la baja resistencia al corte del suelo es un factor importante que contribuye a la inestabilidad de las laderas. Las lluvias frecuentes saturan el suelo y disminuyen su cohesión y resistencia al corte. Y por último la saturación del suelo por el agua es perjudicial para la estabilidad de las laderas.

Por lo tanto, la estabilidad de una ladera se ve afectada por múltiples factores, como la modificación de la topografía, condiciones del flujo de agua, pérdida de resistencia, cambios en el estado de esfuerzos, intemperismo y actividad sísmica (Coliente Tlaxcalteca, 2010). Así mismo, los tipos de fallas en laderas varían según el tipo de material que las componen. Y finalmente los deslizamientos pueden incluir una combinación de varios tipos de fallas a medida que avanza el proceso de degradación.

Es decir, y de acuerdo con la posición de Mora (2009), se destaca que el grado de saturación del suelo influye en la estabilidad de los taludes. Como también la

infiltración de agua en el talud está relacionada con la conductividad hidráulica del suelo y la intensidad y duración de las lluvias. Así mismo, la cohesión del suelo disminuye a medida que aumenta el contenido de agua.

Desde el punto de vista de Gúzman Ramírez (2002) manifiesta que la actividad sísmica y la presencia de fallas son factores activadores de deslizamientos. Además, el flujo de agua en barrancos cercanos puede erosionar las laderas y contribuir a la inestabilidad. A esto contribuye la ubicación de infraestructuras cerca en las laderas inestables que puede aumentar el riesgo.

En consecuencia, el diseño adecuado de las laderas es esencial para prevenir desprendimientos de materiales (Alvarado Salazar & Cornejo Guardia, 2014). Así mismo la vegetalización en las laderas puede contribuir a la estabilidad local. Los proyectos de estabilización de laderas pueden tener costos significativos, especialmente en zonas urbanas.

Sin embargo, Toro Irureta (2014) describe que la geometría de los taludes y la ausencia de medidas de protección contribuyen a la inestabilidad. También la modificación de la geometría de los taludes y la colocación de banquetes pueden ser soluciones efectivas. Se puede señalar que la inestabilidad se manifiesta a través de factores de seguridad por debajo de 1.

Y por último según De la Cruz Quispe & Tunque Huamán (2014) la inestabilidad de taludes está influenciada por factores internos como la pendiente y la litología. Inclusive el factor sismo puede ser un desencadenante de deslizamientos en taludes inestables. Al mismo tiempo las soluciones de estabilización, como el uso de mallas de acero y pernos de anclaje, pueden mejorar la estabilidad de los taludes.

La Ciudad Universitaria de Huancavelica es un bastión de conocimiento y desarrollo en la región. Sin embargo, las laderas que se encuentran dentro de la universidad se ven amenazadas por deslizamientos. Este libro es esencial para quienes se preocupan por la seguridad y el bienestar de la comunidad universitaria y la población Huancavelicana, así como para las autoridades

locales y regionales. El cual ofrece una profunda comprensión de los riesgos recomendados, los impactos en la seguridad y fundamentadas. Más allá de las estructuras físicas, se enfoca en la seguridad y el bienestar de las personas.

Estas recomendaciones se basan en un análisis exhaustivo de los resultados del análisis retrospectivos y prospectivos del deslizamiento ocurrido en la universidad, así mismo esta dirigidos a quienes pueden influir en el futuro de la Ciudad Universitaria. La seguridad de este enclave educativo es un asunto que afecta a toda la comunidad, no solo a los estudiantes y profesores. Este libro es un llamado a abordar desafíos que amenazan nuestra seguridad y estabilidad en un mundo en constante evolución. Representa un primer paso hacia la comprensión y resolución de un problema que podría tener consecuencias significativas si no se aborda adecuadamente. Acompañenos en este viaje para garantizar un entorno seguro y estable para las generaciones futuras en la Ciudad Universitaria de Huancavelica.

Por lo tanto, en el capítulo I aborda la teoría del deslizamiento de ladera, historia y contexto, tipos de movimiento y deslizamientos, características esenciales, la estabilidad de taludes y el respectivo análisis retrospectivo y prospectivo. El capítulo II, presenta el desarrollo (método y resultados) de la investigación. Y en el capítulo III, se presenta las conclusiones, recomendaciones y reflexiones a las cuales se ha llegado en la presente investigación.

CAPÍTULO I

DESLIZAMIENTO DE LADERA

1.1 Introducción a los deslizamientos de laderas

De acuerdo con Mallma Acuña (2019), los deslizamientos en laderas se refieren al movimiento descendente del suelo debido a una falla, manifestando signos distintivos como rupturas visibles y la presencia de evidencia de la masa desplazada. Estos eventos se pueden categorizar en dos procesos principales: deslizamientos rotacionales, caracterizados por un movimiento en forma de giro, y deslizamientos traslacionales, donde el suelo se desplaza horizontalmente. Estos fenómenos son importantes debido a su impacto en la estabilidad del terreno y su capacidad para causar daños significativos en áreas vulnerables.

Según Marín Nieto (1991) son movimientos de rápida velocidad, con desplazamientos de milímetros por día, que pueden manifestarse de diversas maneras en una porción del terreno con respecto a otra. Los movimientos rotacionales ocurren en terrenos relativamente uniformes y suaves, generando superficies de falla de forma circular, según lo descrito por el método Fellenius. Los movimientos superficiales se producen a lo largo de una superficie más o menos plana en la parte más meteorizada de la roca. En cambio, los movimientos traslacionales se caracterizan por desplazarse a lo largo de un plano de debilidad o estratificación en el terreno. En algunos casos, pueden ocurrir movimientos rotacionales y traslacionales, los cuales implican desplazamientos a lo largo de múltiples planos débiles o una combinación de planos y capas suaves.

Por lo tanto, el deslizamiento de laderas se trata de movimientos que se producen cuando la resistencia del material al corte es superada, manifestándose a lo largo de una o varias superficies, o incluso a través de una franja estrecha en el material. Generalmente, estas superficies de desplazamiento son evidentes o pueden ser determinadas con cierta precisión. La velocidad con la que estos movimientos se llevan a cabo puede variar dependiendo del tipo de material involucrado. Estos movimientos pueden ser progresivos en su naturaleza, comenzando con una ruptura local que puede no estar alineada con la superficie general de ruptura, y en cambio, propagarse desde ese punto inicial (Barrera Bucio & Garnica Anguas (2002).

A menudo una falla por desplazamiento, ocurre durante la construcción del corte, generalmente se debe a que la altura del talud sea mayor de lo necesario para que el peso del suelo pueda ser sostenido únicamente por la resistencia interna del suelo. Por otro lado, si la falla del corte se presenta algún tiempo después de su construcción, es probable que varios factores hayan contribuido a su inestabilidad, incluyendo posibles influencias como presiones hidrostáticas, efectos del clima y erosión (Crespo Villadaz, 2004).

1.2 Historia y contexto de los deslizamientos de ladera en Perú

Según el Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (INGEMMET) y Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico (DGAR) (2022), el INGEMMET lidera la evaluación de riesgos geológicos a nivel nacional, colaborando con entidades gubernamentales. A solicitud del alcalde de Vilcabamba, la DGAR realizó una inspección en la quebrada Mesacancha. Concluyeron que es una zona crítica con alto riesgo de movimientos en masa debido a separados, erosión y flujos de detritos, afectando carreteras y puentes en 2011 y 2014. Recomiendan cambiar la ruta de la carretera, evitar asentamientos y actividades agrícolas en la zona, considerar patrones de lluvia para el diseño de infraestructura y seguir las recomendaciones de informes técnicos anteriores.

Como señala INGEMMET (2019) la Municipalidad Distrital de Huancarama solicitó al INGEMMET evaluar los derrumbes en Ninabamba, Andahuaylas. Ingenieros de la DGAR inspeccionaron el sitio en julio de 2019 junto a representantes del Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI) y el gobierno regional. Basándose en estudios previos y observaciones directas, identificaron fracturas en el sustrato rocoso y la erosión del río Pachachaca como factores de riesgo. Predicen un posible intervalo que represaría el río, afectando a los poblados cercanos. Se recomiendan un monitoreo constante, evaluación aérea detallada, conformación de un equipo técnico para evacuación preventiva y acciones ante un posible represamiento del río. Advierten sobre la densa humareda de polvo que afecta a los poblados cercanos debido a los constantes derrumbes y vientos intensos.

Vílchez Mata y Sosa Senticala (2019) sostiene que en el centro poblado Naranjal Paltaybamba se solicitó al INGEMMET una evaluación por peligros geológicos en Andihuela - Kuquipata. Dos expertos realizaron la evaluación técnica en febrero, coordinando con el alcalde distrital de Vilcabamba y pobladores locales. El informe, basado en observaciones de campo, imágenes satelitales y datos previos, concluye que hay un deslizamiento traslacional en la ladera sur del cerro Huaynapata que afecta la carretera Puente Chaullay - Vilcabamba, comprometiendo la seguridad física y ocasionando pérdida de cultivos. Las causas incluyen la morfología del área, litología, presencia de agua subterránea y cambios en la vegetación. Se identifican zonas críticas cercanas afectadas por peligros geológicos. Se descarta actividad volcánica, pero se nota la inestabilidad con grietas abiertas y vapor caliente en el área del deslizamiento. Se considera una zona de alta susceptibilidad a deslizamientos, con peligro inminente ante lluvias intensas o sismos. Se proponen medidas como vigilancia de la carretera, sellado de grietas, manejo de aguas, cambios en la ruta de la carretera, monitoreo, y sensibilización a la comunidad sobre riesgos geológicos. Estas acciones se orientan a prevenir daños futuros, proteger la vida y los bienes de la comunidad frente a eventos geológicos.

Desde el punto de Gomez Velásquez y Gonzales Sales (2018) el alcalde de la municipalidad provincial de Anta - Cusco solicitó un informe técnico al INGEMMET sobre peligros geológicos en Tankarccasa - Uñuqñahui. Dos expertos realizaron una visita técnica y basaron su informe en observaciones de campo, imágenes satelitales y datos anteriores. Concluyeron que la morfología del área, con montañas disectadas y suelos propensos a desestabilizarse por saturación de agua, es vulnerable a movimientos en masa, especialmente deslizamientos, agravados por el mal uso del riego y la construcción de un reservorio sin revestimiento. Recomiendan un sistema de monitoreo durante las lluvias, suspender el uso del reservorio y canal de riego sin revestir, reforestar con plantas nativas para estabilizar el suelo, ejecutar obras de rehabilitación por profesionales capacitados y realizar estudios previos para cualquier construcción

civil. Estas acciones buscan prevenir movimientos de ladera, proteger las zonas vulnerables y evitar daños a la comunidad.

Según Concha Niño de Guzmán y Astete Farfán (2018) en el poblado de Tulpay, ubicado al sur de Churín a 2940 m.s.n.m., se enfrenta a riesgos geodinámicos graves. Su relieve escarpado y la presencia de rocas susceptibles a deslizamientos hacen que la zona sea vulnerable. En marzo de 2017, grietas y desniveles en la ladera norte del cerro Pirca señalaron un deslizamiento rotacional en evolución. Aunque no causó daños, la situación recuerda la destrucción pasada del antiguo Tulpay en los años 20.

El INGEMET realizó un análisis detallado que concluyó que las condiciones geológicas, como la fracturación y alteración de las rocas, junto con las intensas lluvias asociadas al fenómeno de "El Niño Costero", desencadenaron este deslizamiento. La situación actual muestra una evolución retrograda, con grietas que se forman más arriba en la ladera.

Se propone la reubicación del poblado al norte de la loma Pirca, respaldada por estudios geológicos y geodinámicos detallados. Estos deben ser considerados en los Planes de Ordenamiento Territorial locales. Además, se sugieren medidas correctivas, como modificar la geometría del terreno inestable, implementar sistemas de drenaje y utilizar elementos resistentes como muros o mallas metálicas en el talud.

El manejo agrícola y de la vegetación, junto con la prevención de erosión y la construcción controlada de infraestructuras, son fundamentales para minimizar los riesgos geodinámicos. La conservación de la cobertura vegetal y la reforestación son medidas adicionales para la estabilización del terreno. Estos esfuerzos, combinados con las recomendaciones técnicas, son vitales para proteger la seguridad de los habitantes de Tulpay ante futuros deslizamientos.

Araujo Huamán (2017) expresa que el deslizamiento de Siguas, en Arequipa, es un movimiento rotacional retrogresivo de 1.4 km de largo y 70 m de altura, desplazando 34 millones de m³ desde el 2005. Factores como saturación hídrica,

actividad sísmica y características geomorfológicas lo desencadenaron. Es uno de los deslizamientos más activos en el sur del país, moviéndose lentamente (46 m/año en el cuerpo y 76 m/año en su escarpa principal). En 2016, fue considerado emergencia por su cercanía a la Panamericana Sur y amenaza a infraestructuras regionales. El Ministerio de Transporte (MTC) solicitó al INGEMMET información para el nuevo trazo de la carretera. Se analizó la zona, prediciendo áreas afectadas y la amenaza al canal de irrigación, la Panamericana Sur y áreas de cultivo. Se recomienda cerrar la carretera si el canal se ve afectado, continuar el monitoreo de infraestructuras, actualizar inventarios hídricos y mantener un monitoreo constante del deslizamiento.

De acuerdo con Concha Niño de Guzmán y Araujo Huamán (2015b) en enero de este año, se produjo un deslizamiento rotacional en la ladera occidental del cerro Tishtec, cerca de Carhuaz, Ancash. Este fenómeno de 65 metros de diámetro y un salto de 4 metros en el escarpe principal, junto con grietas, se forma sobre depósitos coluviales de areniscas y limo arcilloso de la Formación Chimú. La causa principal fue la sobresaturación del terreno debido a un deficiente sistema de riego, agravado por un sismo local días antes. El deslizamiento destruyó campos y canales de riego, poniendo en peligro al caserío de Tishtec con unas 15 familias.

A solicitud de la Municipalidad de Mancos, geólogos del INGEMMET realizaron trabajos de campo el 17 de marzo. El deslizamiento, de tipo rotacional, se originó en un cono de deyección con bloques de areniscas y matriz limo-arcillosa. No hay evidencia previa de tamaños antiguos según imágenes de Google Earth hasta 2013, indicando que este evento comenzó a fines de 2014. Escarpes secundarios posteriores al deslizamiento inicial señalan una estabilización en curso, pero el deslizamiento sigue activo.

El deficiente sistema de riego y el cambio de cultivos de seco a árboles frutales, que requieren más riego, contribuyeron a la inestabilidad. Un sismo cercano de 4,3 grados también pudo influir. Aunque no se prevé un gran deslizamiento,

acciones de prevención y mitigación son necesarias para proteger Tishtec de colapsos menores que afectan los canales, los cultivos y la seguridad del caserío.

Concha Niño de Guzmán y Araujo Huamán (2015a) describen que en los sectores de Retaguayo y Colcabamba, en Ancash, se han registrado movimientos en masa, deslizamientos rotacionales, erosión fluvial y hundimientos que afectan viviendas, áreas de cultivo y la carretera Acochaca - San Luis. Estos eventos se desarrollan sobre antiguos depósitos proluviales del cerro Taulli, generando movimientos recurrentes debido a la erosión fluvial del río Acochaca y la inestabilidad causada por la carretera sin cunetas, atravesando el deslizamiento activo y las condiciones climáticas locales.

La evaluación geodinámica evidenció deslizamientos sucesivos de tipo rotacional retrogresivo, originados por la erosión fluvial y la falta de drenaje adecuado en la carretera, sumado a la topografía y el material aluvial inestable. Se identificaron deslizamientos activos, grietas tensionales y zonas de mayor peligrosidad, especialmente el deslizamiento D2, catalogado como de peligro inminente.

Se proponen dos opciones: rediseñar la carretera evitando zonas de deslizamientos activos o realizar un tratamiento integral de estabilización. Esta última implica construir banquetas, vías de evacuación de aguas, muros de contención, reforestación con plantas nativas, monitoreo geodésico y la inclusión de estos estudios en el Plan de Ordenamiento Territorial del distrito y la provincia.

Como señala Vélchez Mata (2014), el alcalde de San Salvador solicitó al INGEMMET evaluar los peligros geológicos en Tiracancha Baja y Umacurco. Ingenieros de la DGAR inspeccionaron el área en noviembre de 2013, apoyados por autoridades locales y representantes de la comunidad. El informe, basado en observaciones de campo, fotos, imágenes satelitales y trabajos anteriores, destaca tres informes previos relevantes del INGEMMET sobre la zona. Se identificaron secciones traslacionales y rotacionales causadas por factores geológicos y

antropogénicos. Los daños incluyen afectaciones a viviendas, infraestructura y terrenos agrícolas, con posibles amenazas de represamiento de quebradas. Se concluye que la actividad humana en áreas no recomendadas para la construcción aumenta la vulnerabilidad. La zona fue considerada de peligro inminente, dependiendo de las lluvias intensas. Se recomendó un monitoreo continuo, evaluaciones detalladas y precauciones ante posibles nuevos eventos geológicos.

Como señala Vilchez Mata (2012) En marzo de 2012, la Oficina Regional de Defensa Civil solicitó al INGEMMET evaluar los riesgos en la provincia de Tayacaja, específicamente en Horno Huayoc, Colcabamba. Los ingenieros Vilchez Mata y Ochoa Zuviate inspeccionaron la zona en mayo de 2012. Se identificó que deslizamientos y caídas de rocas fueron influenciados por la pendiente de la ladera, rocas calizas, fracturas en las rocas, suelos limo-gravosos, afloramientos de agua subterránea, actividad humana, precipitaciones intensas y eventos previos de movimientos en masa. El deslizamiento en Horno Huayoc generó asentamientos en pastizales y arbustos, representando un peligro potencial en épocas lluviosas y la posibilidad de represar la quebrada. Las grietas abiertas indican un alto riesgo en temporadas de lluvia y movimientos sísmicos.

Se implementaron medidas de mitigación como la prohibición de paso en áreas afectadas, sellado de grietas, monitoreo constante, alerta temprana, rutas de evacuación y reforestación. Se recomienda también impermeabilizar canales de riego, limitar el riego de terrenos afectados, limpiar y definir cauces de quebradas, considerar construir una alcantarilla o túnel para el flujo de agua, erigir diques y evaluar la posibilidad de construir estructuras de defensa adicionales.

Como expresa Ochoa Zuviate y Vilchez Mata (2012) el alcalde de la Municipalidad de Carmen Salcedo solicitó evaluación geológica en Chimpa, Andamarca, a fin de mitigar los efectos de movimientos en masa sobre andenes preincas y caminos históricos. Los trabajos de campo realizados por geólogos identificaron deslizamientos antiguos reactivados por filtraciones de agua,

actividad antrópica y características geológicas. Estos eventos afectaron aproximadamente 65,44 hectáreas de cultivos y caminos, generando pérdidas significativas. Las condiciones actuales evidencian peligro inminente, especialmente en temporadas de lluvias intensas. Los deslizamientos y rupturas de terreno han provocado agrietamientos en muros y caminos, además de infiltraciones que condicionan los movimientos en masa. Las recomendaciones incluyen restricción de siembra, monitoreo de grietas y derrumbes, reconstrucción de andenes, relleno de grietas, reforestación, control de canales de riego, drenaje de aguas y control de quebradas. Estas acciones buscan estabilizar el terreno y prevenir futuros eventos de deslizamiento.

Según Nuñez Juárez y Gómez Velásquez (2011) el 16 de agosto de 2011, un deslizamiento en el cerro Pucruyacra bloqueó la Carretera Central por más de 24 horas y afectó cinco viviendas sin causar daños personales. INGEMMET envió geólogos para evaluar el incidente, emitiendo un informe preliminar con recomendaciones para autoridades locales y regionales. Se detectó un pequeño activo con riesgo para la carretera, viviendas, un canal hidroeléctrico y zonas agrícolas, requiriendo un estudio detallado para establecer medidas a corto, mediano y largo plazo. Entre el 25 y 27 de agosto, se realizaron trabajos de campo en colaboración con entidades privadas como SVS-Ingenieros SAC y Sociedad Minera Corona, utilizando datos geotécnicos y geofísicos. El informe final destacó la necesidad de actuación urgente para prevenir desastres futuros.

El estudio combinó investigación de campo y gabinete, identificando la composición geológica y la reactivación de sectores antiguos. Factores como la infiltración de agua por riego y la naturaleza del terreno fueron determinantes en la reactivación del desplazamiento. Se identificaron cinco zonas críticas con deslizamientos, grietas y movimientos, amenazando la carretera, viviendas y tierras de cultivo. Se recomienda estabilizar ciertas áreas y monitorear constantemente el canal hidroeléctrico. Además, se detectó una infiltración de agua proveniente del riego que impacta el subsuelo y se sugirió una porosidad del suelo del 30% con baja permeabilidad.

El informe final propuesto estrategias de intervención, resaltando la importancia de la implementación oportuna de recomendaciones para mitigar el peligro geológico. Se concluyó la necesidad de acciones preventivas y de manejo a largo plazo para garantizar la seguridad de la zona y las comunidades aledañas.

Vílchez Mata y Ochoa Zubiata (2011b) mencionan que el alcalde de Castrovirreyna solicitó al INGEMMET evaluar un deslizamiento que afectó la carretera entre Ticrapo, Chacoya y Castrovirreyna. Los ingenieros Vilchez Mata y Ochoa Zubiata realizaron la inspección en octubre de 2011. El informe destaca que el deslizamiento traslacional dañó significativamente la carretera, obstaculizando el tráfico y el comercio local. Se identificaron factores como la pendiente, el tipo de roca, fracturación intensa y actividad tectónica pasada como causantes del deslizamiento. Se concluye que la zona representa un peligro inminente durante las lluvias y movimientos sísmicos. Se recomienda prohibir el paso humano y animal, sellar grietas, monitorear constantemente la nueva carretera construida y realizar trabajos de protección contra la erosión.

Según Vilchez Mata y Ochoa Zubiata (2011a) el director de Defensa Civil de Huancavelica solicitó al INGEMMET evaluar el riesgo en Cachi Baja. Los ingenieros Vilchez Mata y Ochoa Zubiata inspeccionaron la zona en octubre de 2011. Se determinó que el deslizamiento rotacional fue provocado por la pendiente de la ladera, rocas poco resistentes, fracturación, agua subterránea, actividades humanas, y lluvias intensas. Este evento afectó cultivos, bosques y la captación de agua. La zona se considera de peligro inminente durante lluvias y sismos. Se identificó un riesgo alto para los terrenos y habitantes bajo este evento. Las condiciones inestables presentes hacen peligrosas las laderas superiores y las viviendas de Cachi Baja. Se recomienda prohibir el paso humano y animal, sellar grietas, monitorear la zona constantemente, considerar la reubicación del poblado, reforestar la zona inferior de la ladera y establecer un bosque de protección ante caídas de rocas.

Teniendo en cuenta a Delgado Madera et al. (2011) el deslizamiento de Huamancharpa, en la provincia del Cusco, es el movimiento de masa más grande

y activo en la zona. Originado por saturación de suelos y lluvias, represó el río Huancaro en 1982. Actualmente, presenta grietas y movimientos continuos que afectan la región. Se identifican zonas críticas con deslizamientos activos y erosión fluvial, representando un riesgo inminente para áreas pobladas. Las causas principales incluyen la litología, estructura geológica y factores climáticos. Se recomiendan obras de drenaje, zanjas, canales revestidos, terrazas de estabilización, protección vegetal y mantenimiento continuo para mitigar la inestabilidad del terreno y prevenir riesgos.

De acuerdo con Ochoa Zubiate y Delgado Madera (2008) el INGEMMET despliega un papel crucial en la identificación y evaluación de riesgos geológicos para respaldar a entidades gubernamentales. Su labor en la inspección del deslizamiento en Cuenca, solicitada por el INDECI, se enfocó en analizar la zona afectada junto a especialistas en movimientos en masa. Este informe destaca la presencia de factores como las características geológicas y morfológicas, la sismicidad y la infiltración de agua que desencadenaron el deslizamiento.

Las conclusiones resaltan la previa identificación de riesgos y la necesidad de medidas preventivas, considerando la litología arcillo-gravo-limosa de la región. Se identificaron trazos de falla activos, evidenciando la susceptibilidad sísmica. El deslizamiento impactó viviendas, carreteras y puentes, amenazando poblaciones cercanas y generando un riesgo inminente.

Las recomendaciones se centran en el control del agua superficial y subterránea mediante obras especializadas, canales de drenaje, subdrenajes, y la reubicación de viviendas vulnerables. Además, se sugiere el empleo de técnicas de conservación del suelo, cultivos específicos y fortalecimiento de comités de defensa civil para mitigar los impactos futuros.

En resumen, el informe destaca la urgencia de medidas enfocadas en el control del agua, la estabilización de la zona afectada, la reubicación de poblaciones en riesgo y el fortalecimiento de acciones preventivas, subrayando la responsabilidad compartida entre los niveles gubernamentales para

implementar estas recomendaciones y reducir la vulnerabilidad frente a desastres naturales.

De acuerdo con Carlotto Caillaux (2007) se realizó una inspección el 30 de noviembre de 2007 tras un deslizamiento en Chingo Grande, Saylla, Cusco. El evento, un deslizamiento-flujo, afectó viviendas y cultivos debido a la saturación de suelos por lluvias previas y cortes de talud. Recomendaciones: limpiar el cauce para prevenir aluviones, canalizar el agua aumentada por el deslizamiento y realizar estudios geológicos e hidrogeológicos para evaluar el riesgo y planificar obras civiles. Estas sugerencias se presentaron a las autoridades locales para mitigar los efectos del desastre y prevenir futuros incidentes en la temporada de lluvias.

1.2.1 Contexto de los deslizamientos de ladera

Los deslizamientos de ladera son una manifestación natural presente en diversas regiones alrededor del globo terráqueo. A pesar de su presencia generalizada, ciertos lugares exhiben una mayor tendencia a desarrollar estos perfiles de terreno que otros. Los lugares con pendientes pronunciadas, rocas y suelos blandos y precipitaciones frecuentes son más propensos a deslizamientos de tierra. Las zonas que han sido afectadas por deslizamientos de tierra en el pasado también son más propensas a deslizamientos de tierra en el futuro.

1.3 Tipos de movimiento

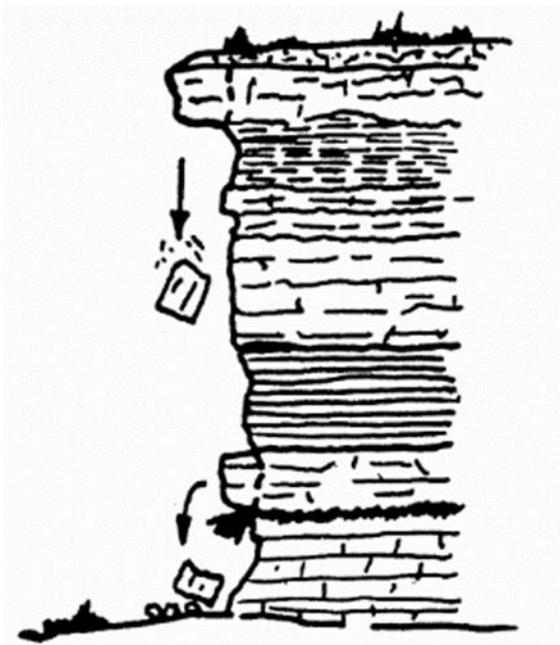
La inestabilidad de pendientes conlleva una diversidad de desplazamientos, los cuales pueden categorizarse según distintos criterios. En este apartado se abordan los tipos más comunes de movimientos, considerando los mecanismos presentes en diversos materiales y los lapsos temporales en los que se desarrollan. En casos donde los movimientos sean una amalgama compleja de varios tipos, es factible combinar términos más simples para definirlos con precisión. La etapa de identificación y clasificación del tipo de desplazamiento reviste una importancia crucial, ya que puede influir en el análisis, las conclusiones y las medidas de control y estabilización necesarias (Barrera Bucio & Garnica Anguas, 2002).

1.3.1 Desprendimientos o caídas

Según Barrera Bucio y Garnica Anguas (2002) , el término "desprendimiento" se emplea para referirse a una masa que se separa de una pendiente, ya sea un desmonte o un acantilado, a través de una superficie de corte generalmente reducida. Esta masa tiene la particularidad de desplazarse en gran parte a través del aire.

Figura 1

Desprendimiento o caída



Nota. Tomado de *Introducción a la mecánica de suelos no saturados en vías terrestres* (p. 112), por Barrera Bucio y Garnica Anguas (2002).

Con frecuencia, estas inestabilidades no solo impactan en bloques individuales, sino también en grandes masas rocosas, desencadenando movimientos de tierra de consecuencias devastadoras. Estos eventos suelen manifestarse en áreas geológicas donde se alternan capas de sedimentos, algunas resistentes y otras más frágiles. Los mecanismos detrás de estas inestabilidades suelen ser progresivos y complementarios entre sí, como la erosión de capas blandas, la acumulación de presión en los bordes y la fractura por tensiones flexionales.

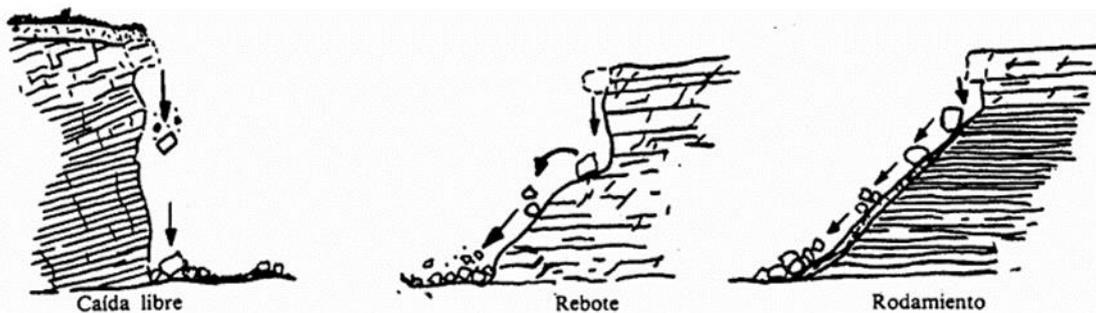
La probabilidad de que ocurran estas inestabilidades debido al descalce está determinada por una serie de factores, como la fracturación del terreno, la orientación de las capas sedimentarias, la inclinación del suelo y su disposición en relación con estas capas, la resistencia relativa de los estratos más rígidos y la potencia relativa de los estratos más resistentes en comparación con los menos competentes, entre otros aspectos.

1.3.2 Vuelcos

Estos desplazamientos se refieren a la rotación de conjuntos de estructuras con una forma similar a columnas o bloques que se mueven sobre una superficie, impulsados por la gravedad y las fuerzas generadas por elementos cercanos o incluso por la presencia de agua en las grietas. Este tipo de movimientos tiene el potencial de desencadenar otros eventos como graduales, variando en magnitud, dependiendo de cómo estén distribuidas las grietas y la geometría del material involucrado (Barrera Bucio & Garnica Anguas, 2002).

Figura 2

Trayectorias de material



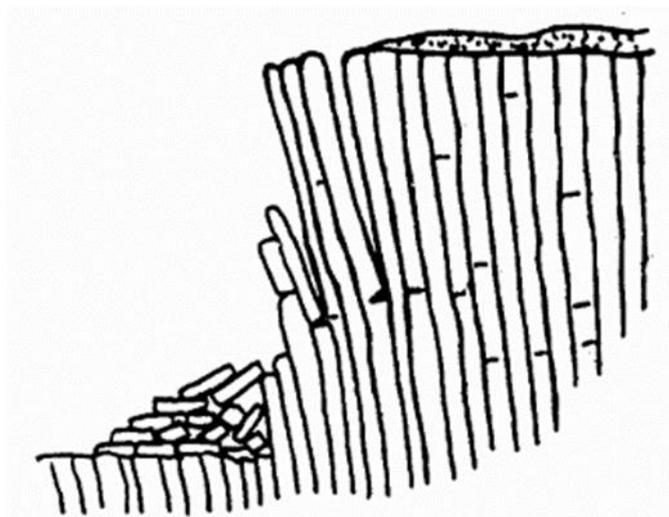
Nota. Tomado de *Introducción a la mecánica de suelos no saturados en vías terrestres* (p. 114), por Barrera Bucio y Garnica Anguas (2002).

Los vuelcos representan fenómenos específicos que se observan mayormente en entornos rocosos, influenciados por la disposición estructural de las capas de roca (hacia el interior de la pendiente) y la presencia de un conjunto bien definido de fracturas o discontinuidades en el terreno. Dentro de esta categoría de movimientos, se pueden identificar diversas variantes, tales como:

Vuelco por flexión: Posee atributos específicos que lo distinguen dentro de la categoría de vuelcos. Este tipo de movimiento se genera a través de un proceso que aparente ser continuo en el material, manifestándose de manera individual en forma de columnas. Esto se debe a una sucesión de movimientos acumulativos a lo largo de las discontinuidades, como se muestra en la figura 3. Cuando este movimiento se desencadena, generalmente por la transmisión de carga en la base de la pendiente, el proceso avanza hacia el interior de la masa rocosa, ocasionando la formación de grietas de tracción que pueden variar en profundidad y amplitud (Barrera Bucio & Garnica Anguas, 2002).

Figura 3

Vuelco por flexión



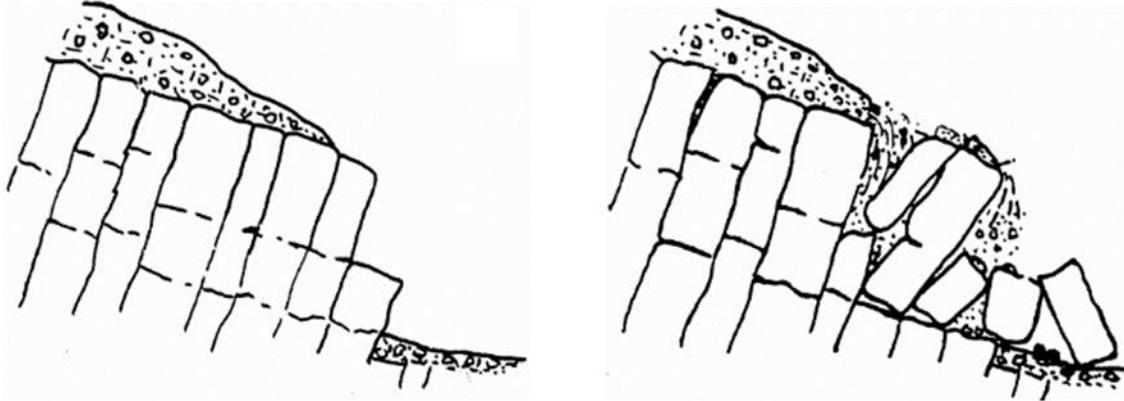
Nota. Tomado de *Introducción a la mecánica de suelos no saturados en vías terrestres* (p. 115), por Barrera Bucio y Garnica Anguas (2002).

Vuelco de bloques: Los macizos rocosos que albergan sistemas de discontinuidades ortogonales presentan una peculiaridad: se desarrolla una estructura de columnas divididas en bloques. La presión ejercida sobre los bloques inferiores desencadena su desplazamiento, dando inicio a un movimiento que avanza hacia la parte superior del talud. A medida que las columnas menos robustas se desplazan hacia afuera debido a la carga aplicada

por aquellas que ya han girado, se inicia nuevamente el ciclo del proceso (Barrera Bucio & Garnica Anguas, 2002).

Figura 4

Vuelco de bloques



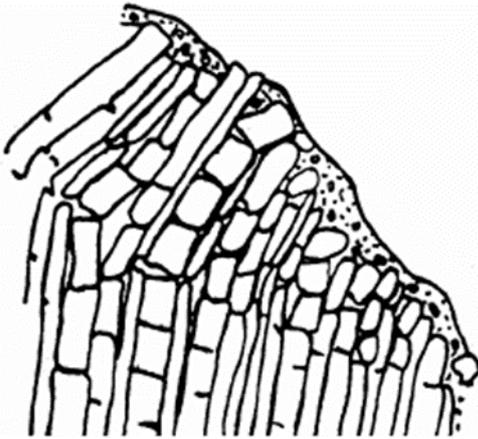
Nota. Tomado de *Introducción a la mecánica de suelos no saturados en vías terrestres* (p. 115), por Barrera Bucio y Garnica Anguas (2002).

1.4 Tipos de deslizamientos

Para Barrera Bucio y Garnica Anguas (2002) estos desplazamientos se producen al vencer la resistencia que ofrece el material al corte, manifestándose a lo largo de una o más superficies, a veces concentrándose en una franja estrecha dentro del elemento en cuestión. Por lo general, se pueden identificar o mitigar las áreas de deslizamiento. La velocidad con la que se desarrollan estos movimientos puede variar significativamente según el tipo de material involucrado. Este desplazamiento puede ser progresivo, con un inicio en una ruptura local que no necesariamente coincide con la superficie de ruptura general, ya que esta última puede ampliarse a partir de la primera.

Figura 5

Vuelco mixto



Nota. Tomado de *Introducción a la mecánica de suelos no saturados en vías terrestres* (p. 116), por Barrera Bucio y Garnica Anguas (2002).

La masa que se desplaza puede deslizarse a diferentes distancias desde la superficie original de rotura, a menudo superponiéndose con el terreno natural y creando una superficie de separación claramente visible. En los lados y la superficie donde ocurre el movimiento, se forman marcas que indican la dirección del desplazamiento.

1.4.1 Deslizamientos rotacionales

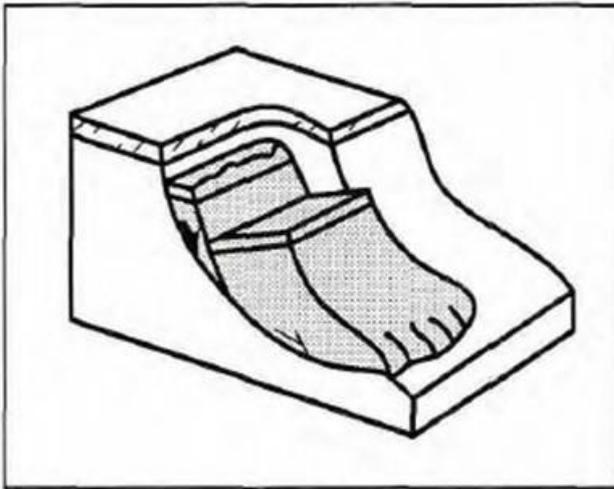
Según Alcántara Ayala (2000), los fenómenos, representados en la figura 6, corresponden a desplazamientos descendentes de tierra, escombros o rocas a lo largo de una superficie de ruptura claramente identificable. Estos movimientos, usualmente asociados con grietas que se forman transversalmente en la zona donde se desarrollará la ruptura principal, pueden dividirse en dos tipos principales: los traslacionales y los rotacionales.

En los movimientos traslacionales, las superficies planas se relacionan con los deslizamientos horizontales a lo largo de planos de ruptura. Por otro lado, en los movimientos rotacionales, los bloques superiores se inclinan hacia atrás, generando un escarpe principal generalmente vertical. La masa desplazada se acumula en la pendiente y sufre una mínima deformación interna, aunque con el

paso del tiempo, los movimientos posteriores pueden llevar a un retroceso gradual de la parte superior. La velocidad y el alcance de estos movimientos pueden variar considerablemente.

Figura 6

Deslizamiento rotacional



Nota. Tomado de *Landslides: ¿Deslizamientos o movimientos del terreno? Definición, clasificaciones y terminología* (p. 11), por Alcántara Ayala, 2000.

Según las etapas del movimiento, los deslizamientos rotacionales se clasifican en simples, múltiples y sucesivos. Esta categorización también se extiende a las variaciones según el tipo de material involucrado, ya sea roca, escombros o suelo, lo que da lugar a bloques rotacionales individuales, múltiples o sucesivos, respectivamente. Esto implica que, dependiendo del material presente, estos pedazos pueden ocurrir como una única masa de roca deslizante, múltiples bloques separados o movimientos sucesivos de distintas porciones de tierra, escombros o roca. Los tamaños traslacionales se subdividen en desplazamientos de bloques de roca, desplazamientos de bloques de escombros y desplazamientos traslacionales de suelo. En cuanto a los lados planos, se clasifican de manera sencilla según el material involucrado, siendo los tipos principales pedazos de roca, pedazos de escombros y pedazos de lodo.

En base a Barrera Bucio y Garnica Anguas (2002) el deslizamiento rotacional, se desarrolla a lo largo de una superficie interna del deslizamiento que tiene una forma aproximadamente circular y cóncava, representados en la figura 7. Este movimiento exhibe una naturaleza predominantemente rotacional, girando alrededor de un eje que se encuentra paralelo al declive.

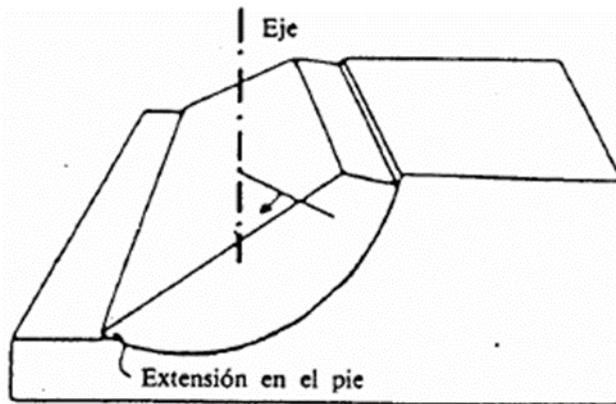
El lugar donde se produce la fractura puede cambiar y está influenciado por diversos elementos, tales como la resistencia inherente del material, la altura del declive, su ángulo de inclinación y otros factores relevantes. Esta variabilidad en la ubicación de los puntos de superficie circulares se debe a la interacción compleja de distintos elementos que afectan la estabilidad de la estructura, representados en la figura 8.

- Si la línea de ruptura corta a través del talud por encima de su base, se identifica como la superficie de ruptura del talud.
- En el caso en que la fractura se manifiesta en el pie del talud y se encuentra por encima de su base, se conoce como la superficie de ruptura en el pie del talud.
- Cuando la línea de fractura se extiende por debajo del pie del talud, saliendo en su base y alejándose de éste, se describe como la superficie de ruptura en la base del talud. Estas distintas configuraciones de ruptura se nombran según la ubicación específica en la estructura del talud, y cada una influye de manera significativa en la estabilidad y el comportamiento del terreno.

La velocidad de estos desplazamientos puede oscilar entre lenta y moderada, siendo la inclinación de la superficie de ruptura en la base del avance un factor determinante.

Figura 7

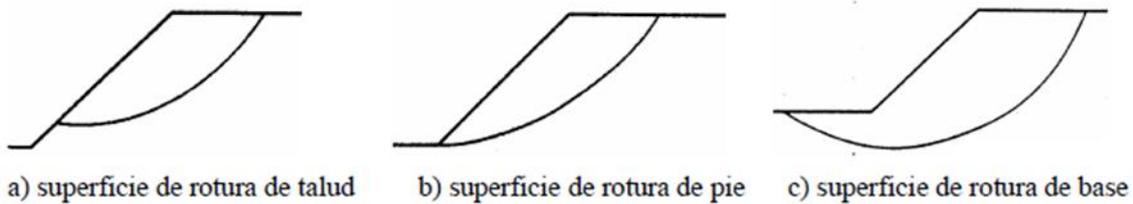
Fractura común de forma cilíndrica



Nota. Tomado de *Introducción a la mecánica de suelos no saturados en vías terrestres* (p. 117), por Barrera Bucio y Garnica Anguas (2002).

Figura 8

Diferentes superficies circulares de rotura



Nota. Tomado de *Introducción a la mecánica de suelos no saturados en vías terrestres* (p. 117), por Barrera Bucio y Garnica Anguas (2002).

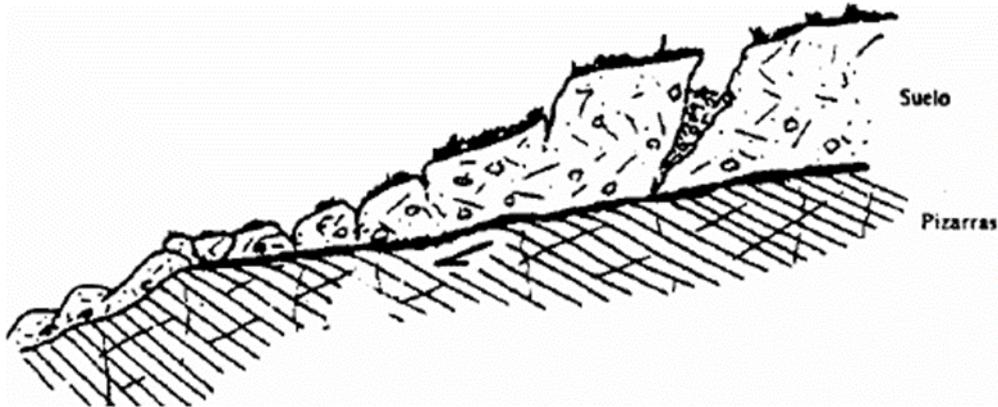
1.4.2 Deslizamientos traslacional

De acuerdo con Barrera Bucio y Garnica Anguas (2002), en los periodos de traslación, los fragmentos de tierra se mueven hacia afuera y hacia abajo sobre superficies relativamente planas o suavemente onduladas, realizando sutiles giros, representados en la figura 9 y 10. Este desplazamiento suele mantener la masa deslizada en la superficie original del terreno. Estos fragmentos se ven influenciados por diversas discontinuidades como estratos, estructuras rocosas laminadas, fracturas, fallas y otros elementos que inciden en la resistencia al corte entre capas con características distintas, grados de descomposición variados y

distintos rellenos en las discontinuidades. Este tipo de desplazamientos tiende a ocurrir en áreas donde las masas rocosas presentan discontinuidades bien marcadas, representados en la figura 9 y 10. Además, es frecuente que la velocidad del movimiento durante los intervalos de traslación sea considerable.

Figura 9

Movimiento de traslación en la interfaz suelo-roca



Nota. Tomado de *Introducción a la mecánica de suelos no saturados en vías terrestres* (p. 118), por Barrera Bucio y Garnica Anguas (2002).

Figura 10

Deslizamiento de traslación en suelo



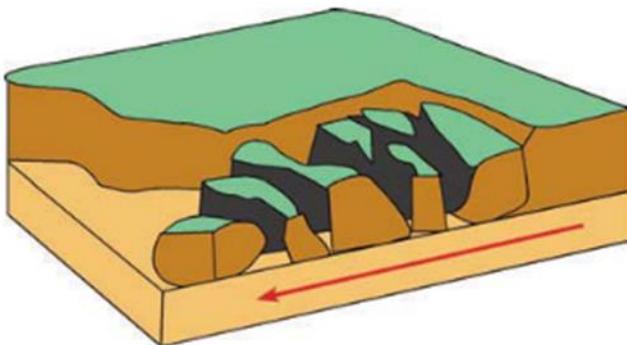
Nota. Tomado de *Introducción a la mecánica de suelos no saturados en vías terrestres* (p. 119), por Barrera Bucio y Garnica Anguas (2002).

Según Copons Llorens y Tallada Masquef (2009), el movimiento de traslación, también conocido como "lateral spread" en inglés, se describe como un

desplazamiento lateral de una estructura, con un hundimiento de su parte superior, representado en la figura 11. Este fenómeno se observa con mayor frecuencia en áreas geológicas donde existen capas rocosas rígidas sobre estratos arcillosos susceptibles a la licuefacción. La licuefacción implica la transformación de sedimentos granulares saturados de agua, con una consolidación limitada y cierta cohesión, en una masa con propiedades fluidas, manifestada por vibraciones como las generadas por un terremoto.

Figura 11

Esquema simplificado de una expansión lateral



Nota. Tomado de *Movimientos de ladera* (p. 286), por Copons Llorens y Tallada Masquef (2009).

1.5 Características geológicas de las laderas

La geología se dedica al análisis profundo de la Tierra, explorando su compleja composición, su estructura interna, así como los eventos y procesos que han dado forma a nuestro planeta a lo largo del tiempo. Los geólogos se sumergen en un vasto espectro de áreas, desde la formación y tipos de rocas y minerales hasta el estudio minucioso de fósiles, estructuras geológicas, movimientos dinámicos en la superficie terrestre y la intrigante narrativa de la historia de la Tierra, a cubrir millones de años de cambios y evolución.

La geología se dedica al análisis profundo de la Tierra, explorando su compleja composición, su estructura interna, así como los eventos y procesos que han dado forma a nuestro planeta a lo largo del tiempo. Los geólogos se sumergen en un

vasto espectro de áreas, desde la formación y tipos de rocas y minerales hasta el estudio minucioso de fósiles, estructuras geológicas, movimientos dinámicos en la superficie terrestre y la intrigante narrativa de la historia de la Tierra, a cubrir millones de años de cambios y evolución.

De acuerdo con Nieto Rodríguez et al. (2007) la Geología es una disciplina científica que se dedica al estudio de la Tierra, explorando aspectos que incluyen su composición, su estructura, y una amplia variedad de fenómenos que ocurren en su superficie y en su interior. Además, investiga el pasado de nuestro planeta a través de la información contenida en las rocas. Esta ciencia no se limita a meras descripciones, sino que profundiza en la comprensión de los materiales que conforman la Tierra, indagando en su origen, distribución, propiedades químicas y cambios a lo largo del tiempo, entre otros aspectos. Cada caso estudiado en Geología busca entender el motivo detrás de la forma que presenta la Tierra, lo que establece una conexión vital entre las leyes que rigen la naturaleza y la secuencia de eventos que configuran la historia de nuestro planeta.

De acuerdo Nieto Rodríguez et al. (2007), algunas de las áreas de estudio más comunes en geología incluyen:

- **Petrología:** El estudio de las rocas y minerales, su origen, composición, textura y clasificación.
- **Geología estructural:** Se centra en la observación y análisis de las estructuras geológicas, como pliegues y fallas, y cómo se formaron.
- **Geología histórica:** Esta disciplina se adentra en el extenso relato de la historia geológica de nuestro planeta, explorando minuciosamente tanto la evolución de la vida como la secuencia de acontecimientos geológicos que se han sucedido a lo largo de vastos períodos temporales. Estudia el fascinante devenir de la Tierra, desde los primeros vestigios de vida hasta los eventos geológicos que han moldeado su superficie a lo largo de millones de años.
- **Geología ambiental:** Analizar la influencia de los procesos geológicos en el entorno ambiental y, a su vez, la repercusión del medio ambiente en la

geología es de suma importancia. Esta interacción es fundamental para manejar eficazmente los recursos naturales y comprender en profundidad cómo nuestras acciones impactan en el entorno geológico.

- **Geología del petróleo y la minería:** Centra su atención en descubrir y utilizar de manera eficiente los recursos naturales, a cubrir desde el petróleo y el gas hasta minerales valiosos y metales preciosos.
- **Geología planetaria:** se enfoca en investigar la composición geológica de planetas y objetos celestes más allá de la Tierra, explorando áreas como Marte, la Luna y diversos asteroides dentro de nuestro sistema solar. Su labor se centra en comprender las estructuras, formaciones rocosas y procesos geológicos que ocurren en estos entornos extraterrestres, contribuyendo así al conocimiento de la geología espacial y sus implicaciones para la ciencia planetaria.

Los expertos en geología emplean una amplia gama de métodos y herramientas para profundizar en el estudio de la Tierra, tales como la recolección de muestras de rocas, la datación radiométrica, la creación de mapas geológicos y el análisis detallado de registros geológicos. Estas técnicas son fundamentales para desentrañar la historia y la estructura de nuestro planeta. La información obtenida no solo es vital para resolver incógnitas geológicas, sino que también tiene un valor significativo en campos tan diversos como la protección ambiental, la economía y la seguridad.

Su trabajo ayuda en la predicción y prevención de desastres naturales, la gestión sostenible de recursos naturales, y la exploración y extracción responsable de energía y minerales. Esta información no solo es crucial para comprender mejor la Tierra, sino que también contribuye a abordar desafíos globales, impactando positivamente en la vida cotidiana y en la sostenibilidad de nuestro entorno (Nieto Rodríguez et al., 2007).

1.5.1 Relación geología con la ingeniería civil

La geología y la ingeniería civil están intrínsecamente ligadas, siendo la geología un pilar fundamental en la concepción, desarrollo y realización de proyectos de

ingeniería civil (López Marinas, 2002). A continuación, se detallan varios aspectos que destacan la estrecha relación y la interdependencia entre estas disciplinas:

- **Investigación de sitios:** La geología desempeña un papel vital al evaluar terrenos destinados a proyectos de ingeniería civil, como la edificación de carreteras, puentes, represas, edificios subterráneos y túneles. Los geólogos realizan un estudio minucioso de la geología local para comprender la composición del suelo, la configuración geológica y los riesgos internos, como movimientos de tierra, subsidencias y amenazas sísmicas, que podrían comprometer la seguridad y estabilidad de las estructuras construidas.
- **Estudios geotécnicos:** Los geólogos llevan a cabo investigaciones geotécnicas con el propósito de analizar cómo se comporta el suelo bajo diversas circunstancias y determinar su capacidad para soportar peso. Este conocimiento es esencial a la hora de diseñar los cimientos y estructuras de ingeniería que deben resistir y sostener cargas específicas. Estos estudios permiten comprender cómo el suelo responde ante presiones y condiciones variables, lo que resulta fundamental para garantizar la estabilidad y seguridad de las construcciones.
- **Selección de materiales de construcción:** La elección de los materiales de construcción se ve afectada por la geología. Los geólogos identifican fuentes de agregados, rocas y minerales necesarios para la construcción, como piedra, grava y arena, y evalúan su idoneidad y disponibilidad en la región.
- **Prevención de riesgos geológicos:** Los geólogos contribuyen a la identificación y mitigación de riesgos geológicos en proyectos de ingeniería civil, esto incluye la evaluación.

1.6 Estabilidad de taludes

1.6.1 Talud

Como señala Nieto Rodríguez et al. (2007), se hace referencia a una sección de una pendiente natural que ha experimentado cambios significativos en su perfil original debido a intervenciones humanas relevantes, con un impacto notable en su estabilidad. Estas alteraciones pueden implicar diversas acciones y estructuras artificiales que han transformado la morfología original del terreno, generando efectos significativos en su estabilidad y configuración natural.

Según De Matteis (2003), un talud representa cualquier superficie inclinada en relación con la horizontal que las estructuras de tierra deben mantener de manera constante. La evaluación de un talud conlleva una complejidad considerable, ya que abarca aspectos tanto de mecánica de suelos como de mecánica de rocas. La influencia crucial de la geología aplicada es innegable, ya que esta disciplina desempeña un papel fundamental en la formulación de criterios adecuados para su análisis y estabilidad.

Cuando un talud se desliza de manera natural, sin la intervención humana, se le conoce como un deslizamiento natural o simplemente deslizamiento. En contraste, cuando son creados por la mano del hombre, se denominan cortes o taludes artificiales, según su origen. Los cortes implican la excavación en una formación terrestre natural (desmontes), mientras que los taludes artificiales son las pendientes laterales de los terraplenes. Esta distinción es esencial, ya que cada tipo conlleva implicaciones específicas en términos de ingeniería y diseño de estructuras de soporte.

Así mismo Catanzariti (2016), define como talud a una sección de una pendiente natural que ha experimentado modificaciones significativas mediante intervenciones humanas que afectan su estabilidad original. Por otro lado, un derrumbe se refiere a una condición de inestabilidad que involucra pendientes naturales y abarca extensiones sustanciales del terreno.

1.6.2 Estabilidad

Según De Matteis (2003), la estabilidad de una masa de tierra se refiere a su resistencia ante el colapso o desplazamiento. El proceso inicial implica establecer parámetros para determinar la estabilidad de los taludes, lo cual se reduce a encontrar la inclinación adecuada para un corte o terraplén en un momento dado. En la mayoría de los casos, la mejor inclinación será la más pronunciada que pueda mantenerse sin colapsar durante un período suficiente. Esta cuestión es central y motiva la investigación. Diversas inclinaciones del talud conllevan diferentes volúmenes de tierra a mover, generando costos variables. A veces, la inclinación más adecuada puede ser más gradual por razones específicas, evitando así problemas de estabilidad en los taludes. Por lo general, un talud opera de manera satisfactoria en todos los aspectos, excepto en términos económicos. Por fin, los costos influyen en la elección del talud ideal, aquel que implica el menor movimiento de tierra, es decir, el más empinado en términos de eficiencia económica.

1.6.3 Factor de seguridad

Según Escobar Potes y Duque Escobar (2017), la tarea del ingeniero responsable de evaluar la estabilidad de un talud implica determinar un valor crucial: el factor de seguridad contra el colapso. Este factor se obtiene al comparar la resistencia al corte del suelo disponible en una superficie crítica de fractura con la resistencia requerida para mantener el equilibrio. En esencia, se trata de calcular la relación entre la resistencia disponible y la necesaria para asegurar la estabilidad del talud. Este cálculo es fundamental para garantizar la seguridad de la estructura y su entorno:

$$FS_s = \frac{\tau_f}{\tau_d} \dots\dots\dots (1)$$

Donde:

- FS_s : Factor de seguridad con respecto a la resistencia
- τ_f : Resistencia cortante promedio del suelo

τ_d : Esfuerzo cortante promedio desarrollado a lo largo de la superficie potencial de falla.

La capacidad de resistencia al corte de un suelo se origina a partir de dos componentes principales: la cohesión y la fricción, y su expresión matemática se describe de la siguiente manera:

$$\tau_f = c + \sigma' x \tan\phi \dots\dots\dots (2)$$

Donde:

- c = Cohesión
- ϕ = Ángulo de fricción
- σ' = Esfuerzo normal efectivo sobre la superficie potencial de falla

Del mismo modo

$$\tau_d = c_d + \sigma' x \tan\phi_d \dots\dots\dots (3)$$

Donde C_d representa la cohesión efectiva y ϕ_d indica el ángulo de fricción que se manifiesta a lo largo de la superficie potencial de falla. Al reemplazar las fórmulas (2) y (3) en la ecuación (1), se alcanza el siguiente resultado:

$$FS_s = \frac{c + \sigma' x \tan\phi}{c_d + \sigma' x \tan\phi_d} \dots\dots\dots (4)$$

Es factible considerar otros elementos del factor de seguridad, como el relacionado con la cohesión FS_c y el vinculado a la fricción FS_ϕ , los cuales se definen de la siguiente manera:

$$FS_c = \frac{c}{c_d} \dots\dots\dots (5)$$

y

$$FS_\phi = \frac{\tan\phi}{\tan\phi_d} \dots\dots\dots (6)$$

Al comparar las ecuaciones (4), (5) y (6), se nota que cuando FS_c alcanza la misma magnitud que FS_f , este es el nivel de seguridad en relación con la resistencia. O si

$$\frac{C}{C_d} = \frac{\tan\phi}{\tan\phi_d}$$

Es posible expresar o formular de la siguiente manera:

$$FS_s = FS_c + FS_\phi \dots\dots\dots (7)$$

Cuando el factor de seguridad alcanza el valor de 1.00, indica que el talud se sitúa en una condición próxima al límite de falla. Para garantizar la estabilidad, suele considerarse adecuado un factor de seguridad de al menos 1,40 en relación con la resistencia. Este nivel proporciona un margen mayor de estabilidad y confiabilidad al diseñar un talud que se pretende ser estable (Escobar Potes & Duque Escobar, 2017).

El factor de seguridad mínimo aceptable en una ladera varía según varias circunstancias vinculadas al tipo de talud. A continuación, se ofrecen pautas que abarcan desde taludes recién contruidos hasta aquellos existentes, naturales o incluso aquellos levantados en estructuras temporales. Estas recomendaciones se adaptan a las particularidades de cada tipo de talud, considerando su condición y entorno, para asegurar niveles óptimos de seguridad y estabilidad en cada caso específico (Escobar Potes & Duque Escobar, 2017).

1.6.4 Equilibrio límite

Teniendo en cuenta a Coliente Tlaxcalteca (2010) afirmó importantes observaciones acerca del concepto de equilibrio límite: Existen dos categorías principales: los métodos exactos y los métodos inexactos. Los métodos exactos, al emplear los principios estáticos, ofrecen una solución precisa al problema, aunque esto se logra con ciertas simplificaciones propias que todos los métodos de equilibrio límite comparten. Estas simplificaciones incluyen la ausencia de deformaciones y un factor de seguridad constante en toda la superficie de falla. Sin embargo, estas condiciones solo son aplicables en taludes de geometría

simple, como fallas planas o por cuña. En casos donde la superficie de la falla no permite una solución exacta basada únicamente en las leyes de la estática, se hace necesaria una aproximación distinta para resolver el problema.

Al utilizar los fundamentos del equilibrio estático y al considerar el límite de resistencia, se reducen las complejidades matemáticas al simplificar tanto las ecuaciones como las incógnitas presentes en las tablas 1 y 2. Esto se logra al aplicar estos principios fundamentales, lo que permite una simplificación estructurada y una mejor comprensión de los cálculos involucrados.

Tabla 1

Resumen del sistema de ecuaciones

Ecuación	Condición
n	Equilibrio de momentos para cada dovela
2n	Fuerzas de equilibrio para cada dovela en dirección X y Y
n	Criterio de falla de Mohr-Coulomb
4n	Total, de número de ecuaciones

Nota. Tomado de *Inestabilidad de laderas y taludes* (p. 138), por Coliente Tlaxcalteca (2010).

Tabla 2

Resumen del sistema de incógnitas

Incógnitas	Condición
1	Factor de seguridad
n	Fuerza normal en la base de la dovela
n	Localización de la fuerza normal en la base de la dovela
n	Fuerza cortante en la base de la dovela
n-1	Fuerza horizontal interdovela
n-1	Fuerza tangencial interdovela
n-1	Localización de la fuerza interdovela (línea de empuje)
6n-2	Total, de número de incógnitas

Nota. Tomado de *Inestabilidad de laderas y taludes* (p. 138), por Coliente Tlaxcalteca (2010).

En las tablas anteriores, se evidencia que la cuestión de estabilidad de un talud o pendiente es hiperestática, lo que implica un grado de complejidad de $6n-2-4n=2n-2$. Para resolver este problema, se requiere simplificar o establecer hipótesis que faciliten su resolución, usualmente eliminando las ecuaciones $2n-2$. En general, se supone que la posición de la fuerza normal inferior actúa como centro de la dovela, una suposición lógica respaldada por ecuaciones de n . Otra suposición es la comprensión de la ubicación o la relación entre la fuerza de corte en la interdovela (derivada de la fuerza normal en la interdovela, ecuaciones $n-1$) (Coliente Tlaxcalteca, 2010).

Basándonos en los principios mencionados, Coliente Tlaxcalteca (2010) distingue dos enfoques principales: uno se centra en el equilibrio general de la masa deslizante, un enfoque que ha caído en desuso; y los métodos de dovelas o rebanadas, los cuales fragmentan la masa deslizante en segmentos verticales. Estos métodos de palomas pueden ser categorizados en dos grupos diferenciados:

- **Métodos simplificados o aproximados:** estos enfoques no satisfacen todas las ecuaciones estáticas en su totalidad. Por ejemplo, se pueden mencionar métodos como los de Fellenius, Janbu y el enfoque simplificado de Bishop. Estos métodos, si bien ofrecen una aproximación valiosa, no abarcan todas las complejidades de las ecuaciones estáticas en su formulación.
- **Métodos rigurosos y precisos:** estos enfoques se adhieren completamente a todas las ecuaciones estáticas. Ejemplos destacados incluyen los métodos de Morgenstern-Price, Spencer y el enfoque riguroso de Bishop. Estos métodos se distinguen por su minuciosidad en abordar todas las ecuaciones estáticas, ofreciendo un análisis detallado y exhaustivo de los problemas en cuestión.

Las restricciones de los enfoques de equilibrio límite son diversas: en primer lugar, se centran exclusivamente en condiciones estáticas; en segundo lugar, presuponen la distribución uniforme de esfuerzos; además, se emplean modelos

de falla sumamente simples. Por último, suelen considerar el material como isotrópico (Coliente Tlaxcalteca, 2010).

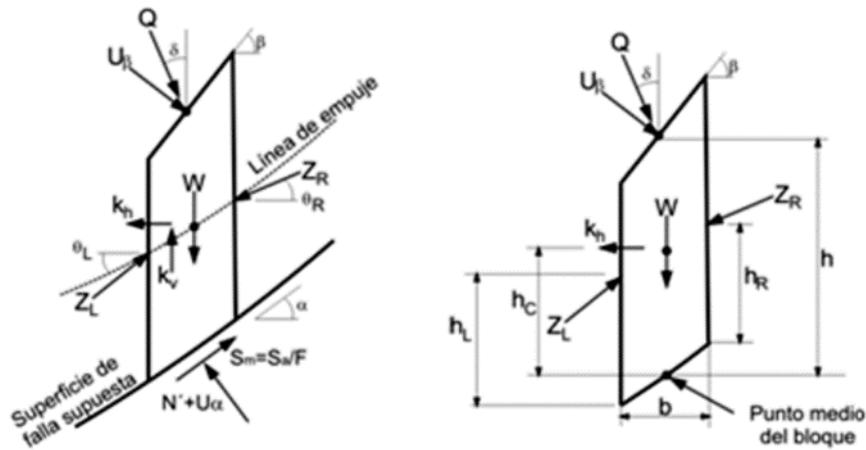
Ante ello, Coliente Tlaxcalteca (2010) menciona que, a lo largo del tiempo, se han creado diversas estrategias para resolver problemas mediante el equilibrio límite. La disparidad entre estas técnicas reside en las ecuaciones de estática que se aplican y cumplen. En esencia, estas diferencias se centran en qué fuerzas entre las piezas móviles se tienen en cuenta y en las suposiciones sobre las relaciones entre las fuerzas de corte y las fuerzas normales en los puntos de contacto entre estas piezas.

Los diferentes enfoques de (EL) para examinar la estabilidad de taludes implican la división de la masa deslizante en múltiples secciones, denominadas palomas, como se ilustra en el diagrama adjunto. Cada una de estas palomas experimenta la influencia de un conjunto específico de fuerzas, y en cada una de ellas se encuentra presente un sistema de fuerzas característico. La conexión entre los puntos de aplicación de estas fuerzas en los bloques Z se establece mediante la línea de empuje.

Determinar la posición precisa de la línea de empuje implica emplear un método de análisis riguroso que garantice el equilibrio de fuerzas. Esta ubicación puede ser estimada o calculada mediante un enfoque analítico que asegure que todas las fuerzas involucradas estén en equilibrio. Es esencial emplear un método que garantice la estabilidad del sistema, considerando la interacción entre las fuerzas y los elementos del talud para obtener una ubicación confiable de la línea de empuje.

Figura 12

Representación del esquema de las fuerzas generales en cada sección de dovela



Nota. Tomado de *Inestabilidad de laderas y taludes* (p. 140), por Coliente Tlaxcalteca (2010).

En la figura 12, F = factor de seguridad, h = altura promedio de la dovela, N' = fuerza efectiva normal, U_{jt} = fuerza de subpresión, b = ancho de la dovela, β = ángulo de inclinación en la corona de la dovela, α = ángulo de inclinación de la base de la dovela, θ_L = ángulo de Z_L , θ_R = ángulo de Z_R , S_a = resistencia disponible = $C + N' \tan \phi$, S_m = resistencia movilizada, Z_R = fuerza de interacción con dovela derecha, Z_L = fuerza de interacción con dovela izquierda, k_h = coeficiente sísmico horizontal, k_v = coeficiente sísmico vertical, Q = sobrecarga externa, W = peso del bloque, U_{jt} = fuerza del agua contra la cara del talud, y h_c = altura del centroide (Coliente Tlaxcalteca, 2010).

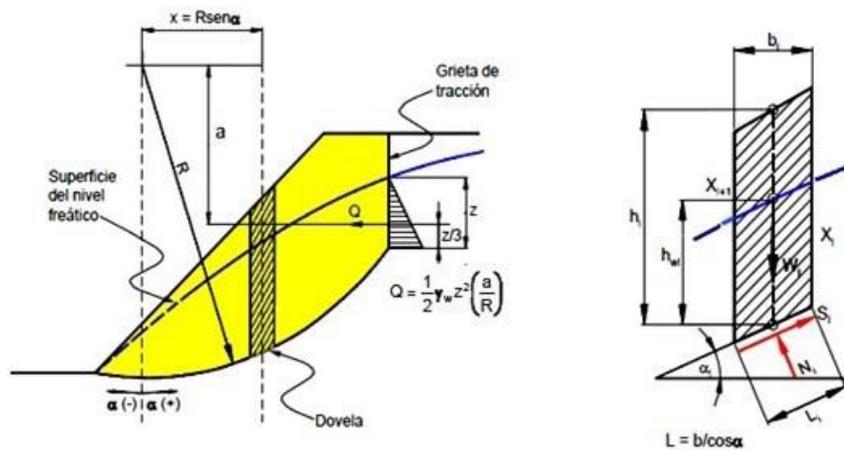
a) Método ordinario de las dovelas o de Fellenius

En 1927 surgió un enfoque revolucionario, también conocido como método sueco, método de las dovelas o método USBR. Fue el primer método de dovelas para ganar amplia aceptación. Este método aborda una superficie de falla circular y aplica la suma de momentos respecto al centro del círculo. Para ello, divide el área de falla en secciones o dovelas, representado en la figura 13. Sin embargo, es importante notar que este método no toma en cuenta las fuerzas laterales entre las dovelas, tanto para la masa deslizada como para las dovelas individuales. Este

enfoque busca convertir el problema en uno estáticamente determinado, priorizando el equilibrio de momentos sobre otros aspectos, lo que limita su alcance al equilibrio de fuerzas (Coliente Tlaxcalteca, 2010).

Figura 13

Enfoque convencional, conocido como el método de Fellenius



Nota. Tomado de *Inestabilidad de laderas y taludes* (p. 146), por Coliente Tlaxcalteca (2010).

El procedimiento de análisis consiste en obtener las fuerzas actuantes y resultantes para cada dovela y con la sumatoria de los momentos respecto al centro del giro producido por estas fuerzas, obtener el factor de seguridad. El método permite determinar el factor de seguridad directamente (sin hacer iteraciones como en otros métodos que se verán más adelante). Es muy impreciso para taludes planos con alta presión de poros, en los que proporciona factores de seguridad bajos. Sin embargo, es muy empleado por ser un procedimiento simple de análisis.

La ecuación principal que rige este análisis se representa como la suma de los momentos estabilizadores (M_E) igual a la suma de los momentos desestabilizadores (M_D), $\sum M_E = \sum M_D$. Los momentos estabilizadores surgen de la resistencia al cortante en la superficie de la falla, mientras que los momentos desestabilizadores son resultado del peso del terreno, a acumular tanto el peso propio del suelo como el peso del agua presente. Esta ecuación equilibra las

fuerzas que buscan mantener la estabilidad del terreno con aquellas que podrían desestabilizarlo, ofreciendo así una perspectiva fundamental en el análisis de la estabilidad de la masa de suelo.

Las fuerzas que influyen sobre una dovela incluyen: a) el peso, representado por la fuerza gravitatoria ($W = \gamma \cdot h \cdot b$), que puede dividirse en dos componentes: una tangencial y otra normal ($N = W \cdot \cos\alpha$) con respecto a la superficie de falla; y b) las fuerzas de cohesión y fricción, que se oponen de manera tangencial a la superficie de falla, ofreciendo resistencia al movimiento. Estas fuerzas actúan en conjunto, combinando el efecto de la gravedad con la capacidad de la masa del suelo para mantener su integridad frente a la posibilidad de deslizamiento.

La determinación del factor de seguridad utilizando este método se fundamenta en los esfuerzos totales y se logra a través de:

$$FS = \frac{\sum_{i=1}^n [cL_i + W_i \cos\alpha_i \tan\phi]}{\sum_{i=1}^n [W_i \sin\alpha_i]}$$

En esta fórmula, W representa la masa del suelo, h es la altura media de la dovela, b denota el ancho o grosor de la misma. $\Delta l = \frac{b}{\cos(\alpha)}$ se calcula como b dividido por el coseno de α , que representa la longitud en la base de la dovela con un ángulo de inclinación α respecto a la superficie circular de falla. Además, ϕ representa el ángulo de fricción y c la cohesión.

Y en esfuerzos efectivos será, (siendo u la presión de poro):

$$FS = \frac{\sum_{i=1}^n [c' L_i + (W_i \cos\alpha_i - u_i L_i) \tan \phi']}{\sum_{i=1}^n W_i \sin\alpha_i + \frac{1}{2} \gamma_w Z^2 \left(\frac{a}{R}\right)}$$

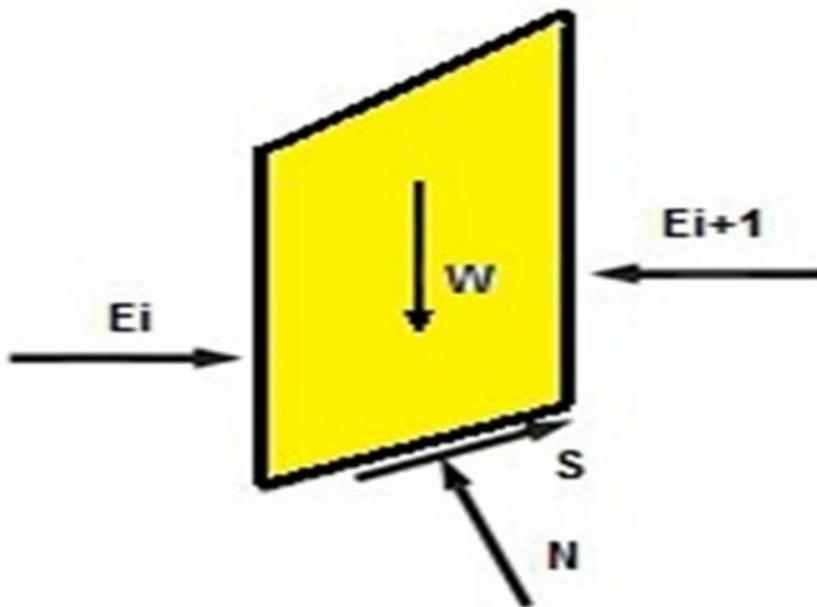
b) Método simplificado de Bishop

Formulado en 1955, este método es aplicable a taludes que presentan suelos no uniformes, donde la superficie de falla puede ser aproximada a una forma circular. Este enfoque considera las fuerzas horizontales (E_i) que actúan entre las distintas secciones o dovelas del talud, representado en la figura 14. Para mantener el equilibrio, se cumplen dos condiciones: la suma de momentos

alrededor del centro de equilibrio del círculo y la suma de fuerzas verticales para cada sección. Además, asuma la ausencia de fuerzas de corte entre estas secciones, lo que reduce el número de incógnitas a considerar. El método simplificado de Bishop demuestra mayor precisión que el método convencional de las secciones en casos de análisis con altas presiones de poro.

Figura 14

Las fuerzas actuando en una sección específica de una dovela, como se describe en el método simplificado propuesto por Bishop



Nota. Tomado de *Inestabilidad de laderas y taludes* (p. 147), por Coliente Tlaxcalteca (2010).

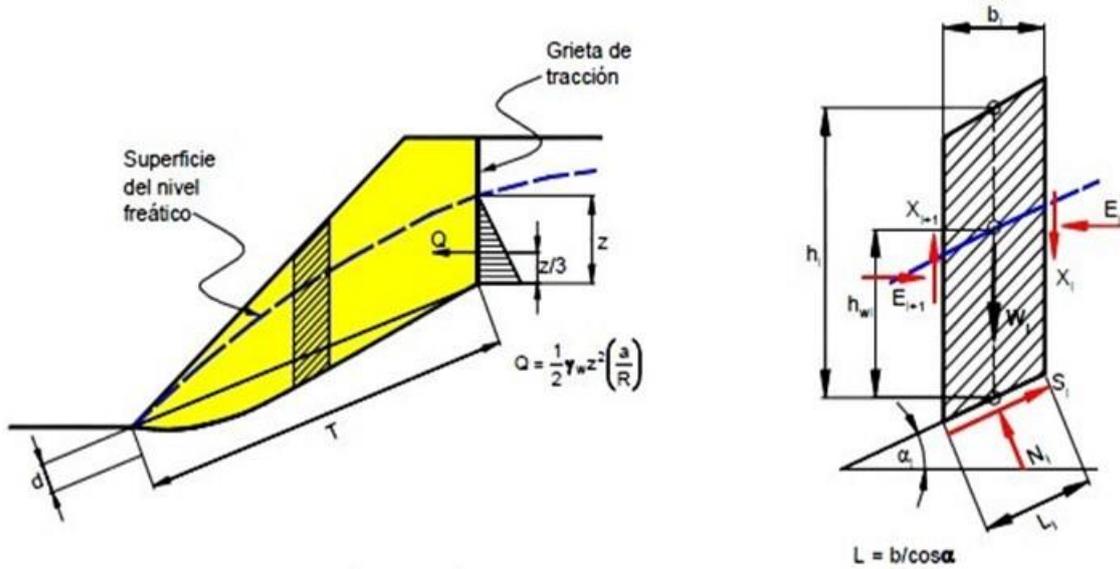
c) Método simplificado de Janbú

Desarrollado en 1968, este método se aplica a cualquier tipo de superficie de falla. Similar a la perspectiva de Bishop, postula la ausencia de fuerzas cortantes entre bloques o dovelas. Su fundamento radica en la suposición de que las fuerzas laterales entre bloques son horizontales, representado en la figura 15. Aunque la solución resulta sobre determinada al no cumplir plenamente con las condiciones de equilibrio de momentos, Janbú introduce un factor de corrección para ajustar (aumentar) el factor de seguridad a valores más coherentes, basados en la

curvatura de la superficie de falla. No obstante, los factores de seguridad siguen siendo bajos.

Figura 15

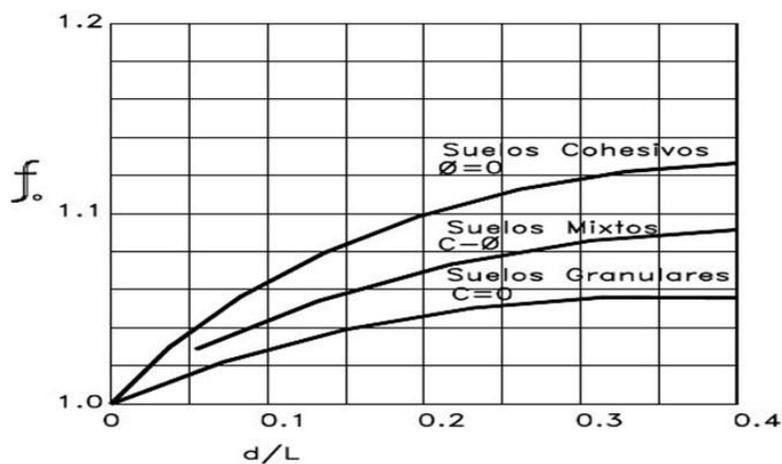
Diagrama de evaluación aplicado al enfoque simplificado de Jambu



Nota. Tomado de *Inestabilidad de laderas y taludes* (p. 149), por Coliente Tlaxcalteca (2010).

Figura 16

Esquema para calcular el coeficiente o factor en el enfoque de Janbú



Nota. Tomado de *Inestabilidad de laderas y taludes* (p. 149), por Coliente Tlaxcalteca (2010).

d) Método de Spencer

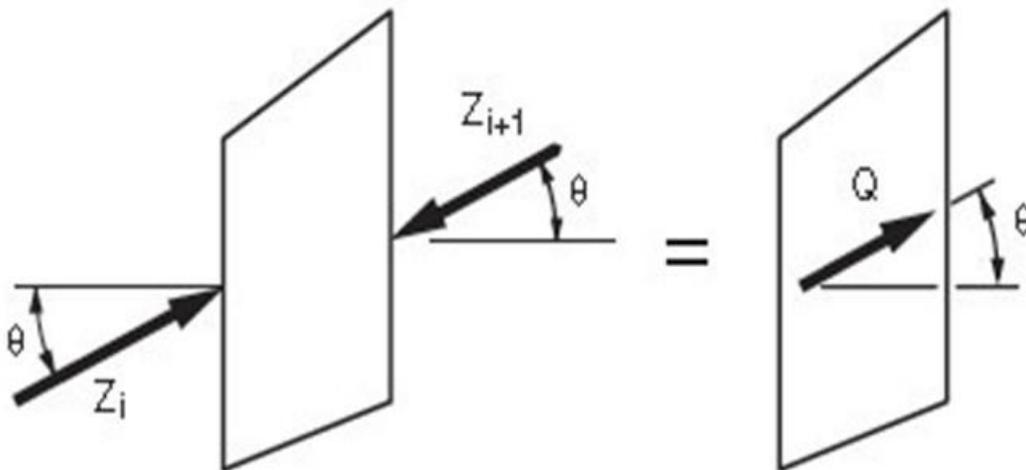
Desarrollado en 1967, este método representa un enfoque preciso y versátil aplicable a una amplia gama de formas en un talud, independientemente de la configuración estratigráfica del suelo. Considerado como el método más completo y sencillo para calcular el factor de seguridad, se fundamenta en la premisa de que las fuerzas actuantes en las estructuras son paralelas y tienen un ángulo de inclinación uniforme, representado en la figura 17. Este procedimiento se ajusta rigurosamente al equilibrio estático, asumiendo que las fuerzas resultantes entre las estructuras tienen una inclinación constante pero desconocida, satisfaciendo así los criterios de equilibrio tanto de fuerzas como de momentos.

$$\sum Q_i = 0$$

Donde: Z_i y Z_{i+1} son las fuerzas que se consideran en el lado derecho e izquierdo de la dovela y Q_i es la resultante de las fuerzas que intervienen.

Figura 17

Representación gráfica de las fuerzas accionantes sobre una dovela utilizando el enfoque de Spencer.



Nota. Tomado de *Inestabilidad de laderas y taludes* (p. 150), por Coliente Tlaxcalteca (2010).

1.7 Análisis retrospectivo y prospectivo

1.7.1 Análisis retrospectivo

Según Iñiguez (2010), un deslizamiento de tierra se puede ver como una especie de experimento natural a gran escala, ofreciendo la oportunidad de analizar retrospectivamente o mediante modelación inversa los parámetros geomecánicos del suelo de manera directa. Esto elimina la necesidad de recolectar una muestra representativa en el campo para llevar a cabo pruebas de laboratorio, ya que el deslizamiento en sí mismo proporciona información valiosa sobre las propiedades del suelo involucrado.

Los valores clave que determinan la resistencia al corte de los suelos, como la cohesión y el ángulo de fricción, pueden ser establecidos con una mayor confiabilidad utilizando el enfoque de análisis retrospectivo una vez que ha tenido lugar un deslizamiento. Estos parámetros, derivados de esta técnica, ofrecen una representación más precisa que los obtenidos a través de pruebas de laboratorio o estudios en el terreno, sobre todo cuando se están considerando medidas para prevenir o corregir futuros deslizamientos. Estos valores, extraídos mediante el análisis retrospectivo, pueden ser aplicados de manera efectiva en la evaluación de la estabilidad de pendientes con características similares o ubicadas en la misma área geográfica. Esta aproximación brinda una base más sólida y específica para la toma de decisiones respecto a la prevención de riesgos asociados a deslizamientos.

Como dice Arellano et al. (1999), el análisis retrospectivo, ampliamente empleado en ingeniería geotécnica, consiste en una técnica utilizada para calcular la resistencia real del suelo en su entorno natural. Esta resistencia se define mediante parámetros como la cohesión (c) y el ángulo de fricción interna (ϕ) en las tensiones efectivas de Mohr-Coulomb, siendo fundamentales para comprender el comportamiento del suelo. Este enfoque retrospectivo al analizar fallas en taludes resulta efectivo al considerar aspectos cruciales que los ensayos de laboratorio a menudo no logran captar completamente. Se tienen en cuenta la estructura del suelo, su falta de homogeneidad, la influencia de las grietas en la

resistencia al corte y el impacto de posibles planos de debilidad dentro de la masa de suelo, factores esenciales que afectan la estabilidad y que suelen pasar desapercibidos. en entornos controlados de laboratorio.

El análisis retrospectivo parte de la premisa de un factor de seguridad unitario y toma en cuenta la configuración original en el momento de la falla. Posteriormente, se calcula la resistencia al corte del suelo que se movilizó durante la falla, utilizando un modelo 2D aplicado mediante un método específico como Morgenstern-Price, Spencer, Janbu, Bishop, entre otros, con un factor de seguridad de 1. Sin embargo, investigaciones han revelado que al emplear un método que considera todas las condiciones de equilibrio, como la suma de fuerzas y momentos igual a cero ($\Sigma F=0$, $\Sigma M=0$), se logra obtener un factor de seguridad que varía en un rango de $\pm 5\%$. Este enfoque más integral proporciona una evaluación más precisa y detallada de la estabilidad de la estructura en comparación con el enfoque convencional de factor de seguridad unitario (Tang et al., 2000).

1.7.2 Riesgos derivados del metal tóxico plomo

Según LISA Institute (2023), la fascinación por prever lo que vendrá ha acompañado a la humanidad desde tiempos remotos. En los años cincuenta del siglo pasado, Gaston Berger, un filósofo y directivo francés, introdujo el término "Prospectiva" para describir la disciplina que explora el futuro, con el propósito de entenderlo y moldearlo. La raíz etimológica de "Prospectiva" se deriva del latín 'pro' (adelante) y 'spectare' (mirar), lo que connota la acción de vislumbrar adelante hacia en el tiempo.

Es crucial diferenciar la prospectiva de la predicción, adivinación, pronósticos o profecía. No busca adivinar el futuro mediante habilidades sobrenaturales, sino más bien especular sobre él para obtener una comprensión más profunda del presente. Esto se logra a través de la creación de "imágenes" y "mapas mentales de escenarios" futuros. La intención es desarrollar percepciones claras sobre cómo podrían desarrollarse distintos futuros para así enriquecer nuestro entendimiento del presente.

Es crucial considerar tanto el análisis del pasado como del futuro para obtener una comprensión más completa del presente y tomar decisiones acertadas. Mientras que la historia nos sumerge en el pasado, la prospectiva nos proyecta hacia el futuro. El Análisis Prospectivo se convierte así en un ejercicio meticuloso que combina la imaginación y la lógica al examinar lo que está por venir. No se trata únicamente de limitar nuestra visión a lo que la lógica acepta como plausible, sino de emplear la imaginación de forma razonada para visualizar escenarios futuros, de modo que podamos participar activamente en la construcción de ese futuro que imaginamos (LISA Institute, 2023).

CAPÍTULO II

ANÁLISIS RETROSPECTIVO Y PROSPECTIVO SECUENCIAL DE DESLIZAMIENTO DE LADERAS EN LA CIUDAD UNIVERSITARIA DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAVELICA

2.1 Razones de la investigación

El deslizamiento de tierras que ocurrió el 15 de marzo de 2017, aproximadamente a las 11:45 de la noche, en la Universidad Nacional de Huancavelica, resultó en daños significativos a los módulos de Primaria y Secundaria de dicha institución (Espinoza Huamani & Rivera Casavilca, 2018).

El deslizamiento de tierras se desencadenó como consecuencia de la habilitación de dos plataformas para la construcción de la infraestructura académica, específicamente el proyecto denominado "Construcción y equipamiento del complejo educativo para el fortalecimiento académico de la Facultad de Educación de la Universidad Nacional de Huancavelica - Huancavelica - Huancavelica". Esta habilitación de plataformas se llevó a cabo a lo largo de los años 2016 y 2017, y la alteración del terreno para la construcción contribuyó directamente a la inestabilidad del suelo, culminando en el deslizamiento de tierras.

El deslizamiento de tierras ha tenido consecuencias graves en términos económicos y educativos. Las pérdidas económicas resultantes de la destrucción de los módulos de Primaria y Secundaria, junto con la infraestructura dañada, son significativas. Además, este incidente ha perjudicado a los estudiantes que dependían de estas instalaciones para sus actividades académicas, lo que afecta negativamente su acceso a la educación y su progreso académico. Los pronósticos a corto y largo plazo implican costos significativos de reconstrucción y la necesidad de implementar medidas de estabilidad del terreno para prevenir futuros deslizamientos de tierras, lo que requerirá una inversión considerable de recursos y tiempo. En ese sentido, la comunidad universitaria se ve afectada en su capacidad para brindar educación de calidad y en la seguridad de las instalaciones, lo que plantea desafíos a superar en los próximos años.

La importancia del estudio radica en su contribución fundamental a la comprensión de los eventos que llevaron a la inestabilidad de la ladera durante el proceso constructivo de la infraestructura académica, lo cual resultó en tragedias y daños severos. Este análisis permitirá identificar la etapa específica

en la que se desencadenó la inestabilidad, brindando información valiosa para prevenir futuros desastres y para comprender la magnitud de la tragedia ocurrida.

Además, la investigación desempeña un papel esencial al proporcionar conocimientos que pueden beneficiar tanto a la comunidad universitaria como a la sociedad en su conjunto. Al comprender las causas del desastre y las circunstancias que lo rodearon, se podrán tomar medidas adecuadas y preventivas para evitar la repetición de eventos similares en el futuro (Jha et al., 2002). Las conclusiones y aportes derivados de esta investigación tienen el potencial de servir como base para decisiones y políticas que abordan la seguridad y la estabilidad de las construcciones en zonas vulnerables, lo que contribuirá a la protección de vidas humanas y la preservación de recursos institucionales. Así, esta investigación no solo es relevante para el ámbito universitario, sino que también ofrece un valor significativo para investigaciones futuras en el campo de la prevención de desastres y la seguridad de la infraestructura. En base a lo planteado se formuló la siguiente pregunta de investigación ¿Cuáles son los resultados del análisis retrospectivo y prospectivo secuencial en el deslizamiento de laderas en la ciudad universitaria de la Universidad Nacional de Huancavelica?

2.2 Objetivo de la investigación

El objetivo general de este estudio es determinar los resultados del análisis retrospectivo y prospectivo secuencial en el desplazamiento de ladera en la ciudad universitaria de la Universidad Nacional de Huancavelica. Para lograr este propósito, se han establecido los siguientes objetivos específicos: primero, determinar el resultado del análisis retrospectivo y prospectivo antes de concebir el proyecto en terreno natural en el reducido de ladera en la ciudad universitaria; segundo, evaluar el resultado del análisis retrospectivo y prospectivo una vez concebidas las explicaciones del proyecto en el paso de ladera; tercero, analizar el resultado del análisis retrospectivo y prospectivo una vez considerada la influencia de las infraestructuras del proyecto en el deslizamiento de ladera;

cuarto, determinar el resultado del análisis retrospectivo y prospectivo posterior al deslizamiento de ladera en la ciudad universitaria; y finalmente, indagar sobre el resultado del análisis retrospectivo y prospectivo en el período posterior al deslizamiento de ladera en la ciudad universitaria, abordando de manera integral la secuencia temporal de los acontecimientos y su impacto en la estabilidad del terreno.

2.3 Método, diseño y tipo de investigación

Se empleó seis métodos principales: el método de investigación documental, para el análisis retrospectivo, se recopiló y examinó documentos históricos, informes previos, planos, registros de construcción y otros documentos relacionados con el proyecto de construcción y la geología de la zona. El método de estudios Geotécnicos y Geológicos, la realización de estudios de campo, pruebas de suelo, y análisis geológicos, permitiría obtener datos relevantes para evaluar la estabilidad del terreno antes, durante y después del proyecto. El método de entrevistas y cuestionarios; entrevistar a personas involucradas en el proyecto, como trabajadores de la construcción, así como encuestar a residentes y testigos, podría proporcionar información valiosa sobre las condiciones y circunstancias que rodearon el deslizamiento. El método de análisis de imágenes satelitales y fotografías históricas; utilizar imágenes satelitales y fotografías históricas de la zona para observar cambios en la topografía a lo largo del tiempo, lo que podría ayudar a identificar patrones relacionados con el deslizamiento. El método modelado Geotécnico y numérico; utilizar software de modelado Geotécnico y numérico para simular el comportamiento del terreno en diversas etapas del proyecto y evaluar cómo influyó en la estabilidad del suelo. El método de análisis de daños estructurales; examinar los daños a las estructuras afectadas por el deslizamiento para comprender la magnitud del impacto y las áreas más vulnerables.

En el diseño de investigación, de acuerdo con Hernández Sampieri et al. (2014), el término "diseño" hace referencia al plan o estrategia ideada para obtener la

información necesaria con el propósito de abordar el planteamiento del problema.

En este contexto, el diseño adecuado adopta un enfoque no experimental, específicamente transeccional. Se considera no experimental debido a la ausencia de manipulación deliberada de las variables de estudio. Asimismo, se identifica como transeccional por su función de describir las variables y analizar su incidencia en un momento preciso.

Por otra parte, en el tipo de investigación, la naturaleza de este libro se alinea principalmente con un enfoque de investigación aplicada o tecnológica, ya que se busca aplicar conocimientos y tecnologías de investigación existentes para abordar de manera práctica y concreta los desafíos relacionados con el deslizamiento de ladera en la Universidad Nacional de Huancavelica. Esto implica la búsqueda de soluciones y estrategias efectivas para prevenir futuros deslizamientos y minimizar los riesgos asociados, utilizando métodos y tecnologías disponibles en la actualidad.

Población muestra

Nuestra población de estudio abarca las laderas ubicadas en la Universidad Nacional de Huancavelica, y la muestra el pabellón de la Facultad de Educación, donde sucedió el deslizamiento.

Figura 18

Plano de ubicación y localización



Nota. Tomado de *Análisis retrospectivo y prospectivo secuencial de deslizamiento de laderas en la ciudad universitaria de la Universidad Nacional de Huancavelica* (p. 37), por Espinoza Huamani y Rivera Casavilca (2018).

En el desarrollo de este libro, se han considerado cuatro etapas fundamentales:

- **Recopilación, análisis y clasificación de la información existente:** En esta primera etapa, se llevó a cabo la recopilación de información preexistente, seguida de un análisis detallado y la clasificación de los datos disponibles.
- **Reconocimiento In Situ:** La segunda etapa implicó visitar el lugar de manera presencial para realizar un reconocimiento exhaustivo de la situación que rodea el paso de ladera y la infraestructura académica de la Universidad Nacional de Huancavelica. Durante esta fase, se destacó la recopilación de información sobre el estado del entorno físico, se realizó un levantamiento topográfico y se extrajeron muestras inalteradas para su posterior análisis.
- **Aplicación de herramientas especializadas en gabinete:** En la tercera etapa, se utilizó software especializado en análisis de estabilidad de

pendientes, específicamente el programa Slide 5.0, para evaluar cada caso de estudio basado en la información recopilada.

- **Análisis y elaboración del informe final:** Finalmente, en la cuarta etapa se procedió a realizar un análisis integral de los datos recopilados y se elaboró el informe final. Este informe incluye detalles sobre las conclusiones alcanzadas y las recomendaciones resultantes de la investigación.

Estas etapas se han diseñado para garantizar un enfoque completo y sistemático en la investigación del gradual de ladera y su impacto en la infraestructura académica de la Universidad Nacional de Huancavelica.

2.4 Consideraciones éticas

Se tomó en cuenta los siguientes aspectos:

Integridad científica: Se detalla exhaustivamente la metodología empleada, a incluir tanto el enfoque retrospectivo como el prospectivo, junto con un análisis integral de los factores de seguridad. Se realiza una comparación entre los resultados anteriores y posteriores a la ejecución del proyecto de construcción, lo que permite identificar cambios significativos en la estabilidad de la ladera. Se presentan valores numéricos de los factores de seguridad, respaldando así los hallazgos y posibilitando una evaluación objetiva de la situación. Además, se derivan conclusiones sólidas a partir de los resultados obtenidos, señalando de manera clara la pérdida de estabilidad y la alta probabilidad de futuros desplazamientos si no se implementan soluciones correctivas. Finalmente, se enfatiza la importancia de comprender los riesgos asociados a la construcción en áreas propensas a desplazamientos de ladera, sugiriendo con urgencia la implementación de estrategias de mitigación.

Reconocimiento de contribuciones: Queremos expresar nuestra gratitud a todas las personas e instituciones que han contribuido al desarrollo y realización de este estudio sobre el deslizamiento de ladera en la Ciudad Universitaria de la Universidad Nacional de Huancavelica. En particular, agradecemos el apoyo y

la colaboración del personal docente e investigador de la Escuela profesional de Ingeniería Civil - Huancavelica, cuyos aportes fueron fundamentales para la recopilación de datos y el análisis detallado.

Asimismo, reconocemos el respaldo brindado por la Universidad Nacional de Huancavelica y el valioso aporte de Alfredo Mendoza Soto en la revisión y validación de los resultados obtenidos en laboratorio de Geotecnia II de la Escuela profesional de Ingeniería Civil - Huancavelica.

2.5 Resultados de la investigación

2.5.1 Análisis de estabilidad con parámetros In Situ

Para llevar a cabo este análisis de estabilidad, se recolectaron datos en el lugar de los hechos, con la extracción de muestras realizadas en octubre de 2017, un período en el cual nuestra zona de estudio experimenta un registro bajo de precipitaciones. Los detalles de los datos utilizados en el análisis se encuentran resumidos en la tabla 3.

Tabla 3

Parámetros geotécnicos usados en el análisis de estabilidad

Tipo de suelo (SUCS)		Tipo de modelo	Peso específico kn/m ³	Angulo de fricción (ϕ)	Cohesión (c) kpa
T-1	SC	Arenas arcillosas Mohr Coulomb	21.17	14.80	12.03
T-2	CL, ML	Arcillas con grava o con arena Mohr Coulomb	21.66	10.09	101.77
T-5	SC	Arenas arcillosas Mohr Coulomb	20.97	8.76	73.93
T-6	CL	Arcillas con grava o con arena Mohr Coulomb	20.48	14.81	33.22

Nota. Tomado de *Análisis retrospectivo y prospectivo secuencial de deslizamiento de laderas en la ciudad universitaria de la Universidad Nacional de Huancavelica* (p. 60), por Espinoza Huamani y Rivera Casavilca (2018).

Tabla 4*Análisis de estabilidad con parámetros In Situ*

Etapas de análisis de estabilidad	Análisis de estabilidad con parámetros in situ
Análisis antes de concebir el proyecto en terreno natural	1.379
Análisis una vez concebido las explanaciones del proyecto	0.963
Análisis una vez concebido las explanaciones más influencia de infraestructuras del proyecto	0.963
Análisis posterior al deslizamiento de ladera	0.305

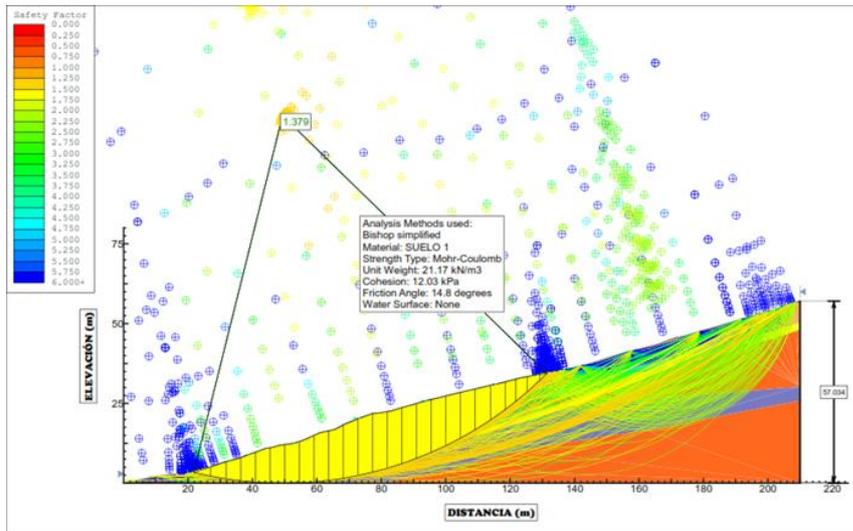
En general como se muestra en la tabla 4, los valores derivados del Análisis de Estabilidad, obtenidos a partir de parámetros in situ, proporcionan una visión integral de la condición del talud. Inicialmente, el análisis estático, realizado antes de la concepción del proyecto en terreno natural según el método de Bishop Simplificado, reveló un factor de seguridad de 1.379, indicando una estabilidad adecuada del talud en ese momento.

Sin embargo, al considerar distintos escenarios, como el análisis posterior a la concepción de las explanaciones del proyecto, aquel con la influencia de las infraestructuras proyectadas y el análisis tras el corte de la ladera, los resultados muestran factores de seguridad (FS) de 0.963, 0.963 y 0.305 respectivamente. Estos valores indican una disminución significativa en la estabilidad del talud, señalando claramente la condición de inestabilidad en estos tres últimos casos.

Estos datos subrayan la importancia de evaluar no solo la estabilidad inicial del terreno, sino también considerar las modificaciones introducidas por el proyecto y la influencia de eventos como deslizamientos posteriores, para garantizar la seguridad y prevenir riesgos asociados a la estabilidad del talud.

Figura 19

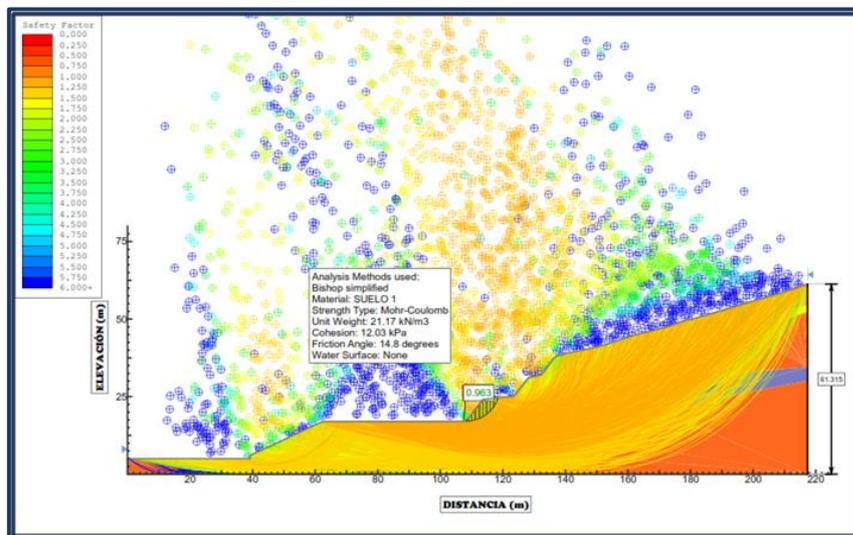
Análisis previo a la construcción del proyecto en terreno natural



Nota. Tomado de Análisis retrospectivo y prospectivo secuencial de deslizamiento de laderas en la ciudad universitaria de la Universidad Nacional de Huancavelica (p. 61), por Espinoza Huamani y Rivera Casavilca (2018).

Figura 20

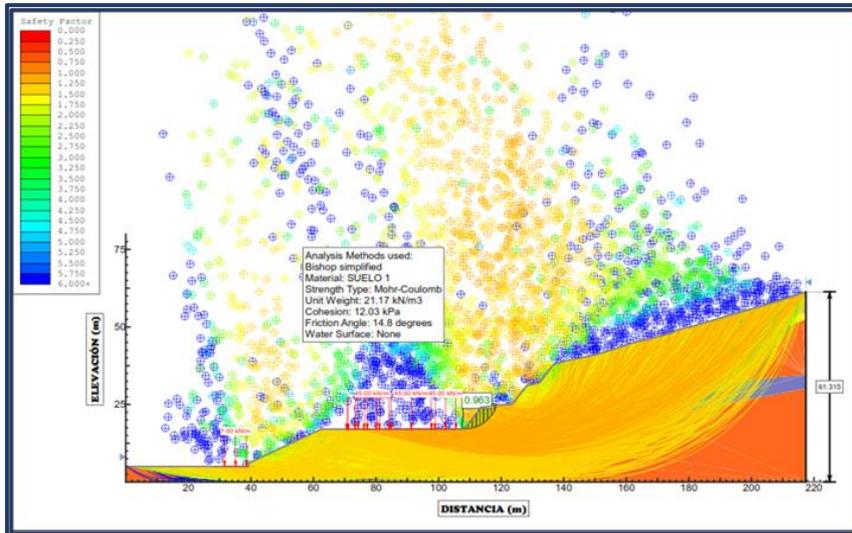
Análisis una vez concebido las explanaciones del proyecto



Nota. Tomado de Análisis retrospectivo y prospectivo secuencial de deslizamiento de laderas en la ciudad universitaria de la Universidad Nacional de Huancavelica (p. 61), por Espinoza Huamani y Rivera Casavilca (2018).

Figura 21

Análisis una vez concebido las explicaciones más influencia de infraestructuras del proyecto



Nota. Tomado de Análisis retrospectivo y prospectivo secuencial de deslizamiento de laderas en la ciudad universitaria de la Universidad Nacional de Huancavelica (p. 62), por Espinoza Huamani y Rivera Casavilca (2018).

Análisis posterior al deslizamiento de ladera

En este análisis, se dividió el material deslizado en 11 secciones de igual longitud, y se demostró un peso específico típico para el material de relleno (Peso Específico = 10.791 KN/m²). Esta división se realizó con el propósito de determinar las cargas puntuales correspondientes a cada área, como se detalla en la tabla 5 y se visualiza en la figura 15.

Tabla 5

Valores de las cargas puntuales que representan la masa de suelo del deslizamiento

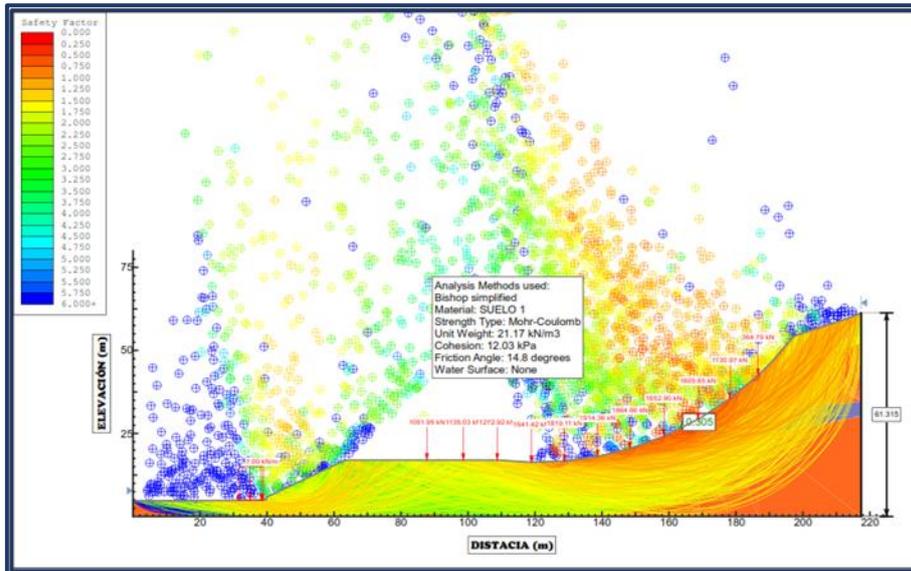
Sección	Área (m ²)	P. Especifico (KN/m ²)	Peso (KN/m)
1	101.191	10.791	1091.952
2	105.183	10.791	1135.029
3	117.961	10.791	1272.917
4	152.110	10.791	1641.419
5	168.577	10.791	1819.114
6	177.403	10.791	1914.356
7	172.798	10.791	1864.663
8	153.174	10.791	1652.900
9	148.792	10.791	1605.646
10	104.807	10.791	1130.972
11	33.805	10.791	364.789
Total	1435.801		15493.757

Nota. Tomado de *Análisis retrospectivo y prospectivo secuencial de deslizamiento de laderas en la ciudad universitaria de la Universidad Nacional de Huancavelica* (p. 63), por Espinoza Huamani y Rivera Casavilca (2018).

En la tabla 5, se presentan los valores específicos de las cargas puntuales que simbolizan la masa total del suelo implicado en el fenómeno de deslizamiento. En este análisis, se llevó a cabo una partición del material deslizado en 11 segmentos de longitud uniforme con el Propósito de establecer la distribución de las cargas puntuales correspondientes a cada área específica. Este proceso se efectuó considerando un peso específico estándar para el material de relleno, el cual se desarrolló en 10.791 KN/m². La subdivisión en secciones equitativas permitió identificar las cargas puntuales. asociados a cada área, detallados en la tabla 5 y visualizadas gráficamente en la figura 15.

Figura 22

Resultado del análisis posterior al deslizamiento de ladera



Nota. Tomado de *Análisis retrospectivo y prospectivo secuencial de deslizamiento de laderas en la ciudad universitaria de la Universidad Nacional de Huancavelica* (p. 63), por Espinoza Huamani y Rivera Casavilca (2018).

En resumen, como se muestra las figuras 19 y 22, los valores del Análisis de Estabilidad (según Bishop Simplificado) muestran un factor inicial de seguridad de 1.379 en terreno natural. Posteriormente, variando condiciones, se registran FS de 0.963, 0.963 y 0.305, evidenciando inestabilidad y subrayando la necesidad de considerar modificaciones para garantizar la seguridad.

2.5.2 Análisis retrospectivo de estabilidad con valores no saturado

El análisis retrospectivo de las condiciones no saturadas del suelo proporcionó los parámetros geotécnicos de resistencia del suelo, específicamente la cohesión (c) y el ángulo de fricción (ϕ), en el momento del semiconductor, permitiendo modelar el mecanismo y las condiciones de la falla de manera que el Factor de Seguridad (FS) resultará igual a 1.00. Los parámetros geotécnicos presentados en las tablas 6 y 7 corresponden al primer y segundo deslizamiento ocurridos en la Universidad Nacional de Huancavelica, los cuales fueron utilizados en nuestros análisis de estabilidad.

Tabla 6

Parámetros geotécnicos resistentes del suelo en estado no saturado, cohesión c y el ángulo de fricción \emptyset en el momento de la falla del primer deslizamiento

Material	Propiedad	
Arenas arcillosas (SC)	Peso unitario (KN/m ³)	21.17
	Angulo de fricción \emptyset (°)	15.00
	Cohesión C (KPa)	10.41

Nota. Tomado de *Análisis retrospectivo y prospectivo secuencial de deslizamiento de laderas en la ciudad universitaria de la Universidad Nacional de Huancavelica* (p. 64), por Espinoza Huamani y Rivera Casavilca (2018).

Las tablas 6 y 7 presentan los parámetros geotécnicos resistentes del suelo en estado no saturado, específicamente la cohesión (C) y el ángulo de fricción (\emptyset) en el momento de la falla del primer y segundo deslizante respectivamente, centrándose en el material de Arenas Arcillosas (SC). En el caso del primer deslizamiento, se identifican los siguientes valores: peso unitario de 21.17 KN/m³, un ángulo de fricción de 15.00° y una cohesión de 10.41 KPa. Por otro lado, para el segundo deslizamiento, se registraron valores ligeramente diferentes con un peso unitario similar de 21.17 KN/m³, un ángulo de fricción de 12.50° y una cohesión de 14.98 KPa.

Tabla 7

Parámetros geotécnicos resistentes del suelo en estado no saturado, cohesión c y el ángulo de fricción \emptyset en el momento de la falla del segundo deslizamiento

Material	Propiedad	
Arenas arcillosas (SC)	Peso unitario (KN/m ³)	21.17
	Angulo de fricción \emptyset (°)	12.50
	Cohesión C (KPa)	14.98

Nota. Tomado de *Análisis retrospectivo y prospectivo secuencial de deslizamiento de laderas en la ciudad universitaria de la Universidad Nacional de Huancavelica* (p. 64), por Espinoza Huamani y Rivera Casavilca (2018).

Estos datos son fundamentales para llevar a cabo un análisis de estabilidad retrospectivo en condiciones no saturadas. Se utilizaron como valores clave en

dicho análisis, permitiendo evaluar la capacidad del terreno para resistir graduales posteriores en base a su comportamiento pasado y las condiciones de saturación en las que se encontraron.

Tabla 8

Resultados del análisis de estabilidad con valores de análisis retrospectivo no saturado

Cuatro etapas de análisis de estabilidad	Análisis de estabilidad con valores de análisis retrospectivo no saturado	
	Primer deslizamiento	Segundo deslizamiento
Análisis antes de concebir el proyecto en terreno natural.	1.369	1.262
Análisis una vez concebido las explanaciones del proyecto.	0.906	0.949
Análisis una vez concebido las explanaciones más influencia de infraestructuras del proyecto.	0.906	0.952
Análisis posterior al deslizamiento de ladera.	0.295	0.294

La tabla 8 presenta los resultados derivados de las cuatro etapas de análisis de estabilidad. Estas etapas comprenden: el análisis previo a la concepción del proyecto en el entorno natural, el análisis una vez concebido las explanaciones del proyecto, el análisis considerando las explanaciones junto con la influencia de las infraestructuras proyectadas, y el análisis posterior al deslizamiento de la ladera. Los valores de estos análisis retrospectivos no saturados se encuentran detallados en las tablas 6 y 7. En el primer análisis, realizado antes del primer deslizamiento, se observan los siguientes resultados: el análisis estático, basado en el método de Bishop Simplificado, reveló un factor de seguridad inicial de 1.369, indicando una estabilidad adecuada del talud en ese momento.

Sin embargo, al considerar diferentes escenarios, incluyendo el análisis posterior a la concepción de las explanaciones del proyecto, aquel con la influencia de las infraestructuras proyectadas y el análisis posterior al corte de la ladera, los

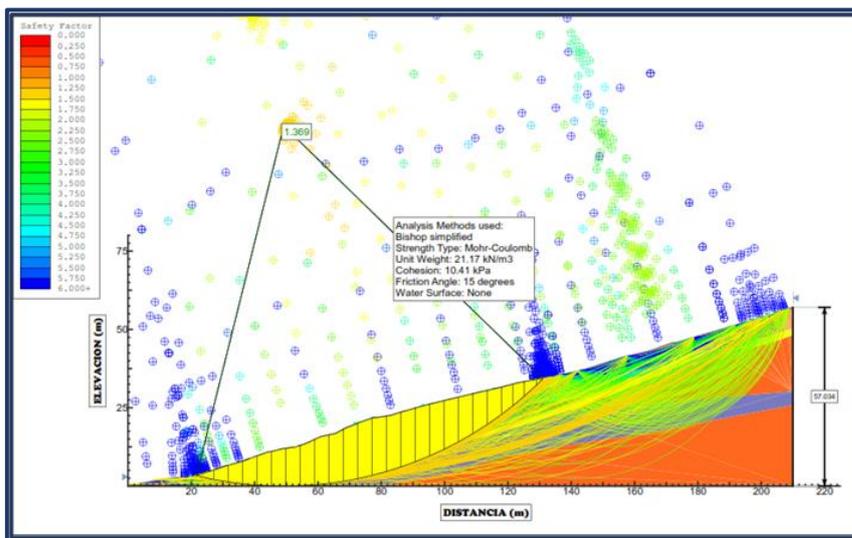
resultados muestran factores de seguridad (FS) de 0.906, 0.906 y 0.295 respectivamente. Estos valores reflejan una notable disminución en la estabilidad del talud, evidenciando claramente una condición de inestabilidad en estos tres últimos casos.

En el segundo análisis, correspondiente al segundo reducido, se obtuvieron los siguientes resultados: el análisis estático, antes de la concepción del proyecto en el entorno natural según el método de Bishop Simplificado, reveló un factor de seguridad de 1.262, indicando una estabilidad adecuada del talud en ese momento.

Sin embargo, al considerar los diversos escenarios mencionados previamente, los resultados exhiben factores de seguridad (FS) de 0.949, 0.952 y 0.294 respectivamente, posterior a la concepción de las explicaciones del proyecto, con la influencia de las infraestructuras proyectadas y tras el corte de la ladera. Estos valores señalan una disminución significativa en la estabilidad del talud, indicando claramente una condición de inestabilidad en estos tres últimos casos.

Figura 23

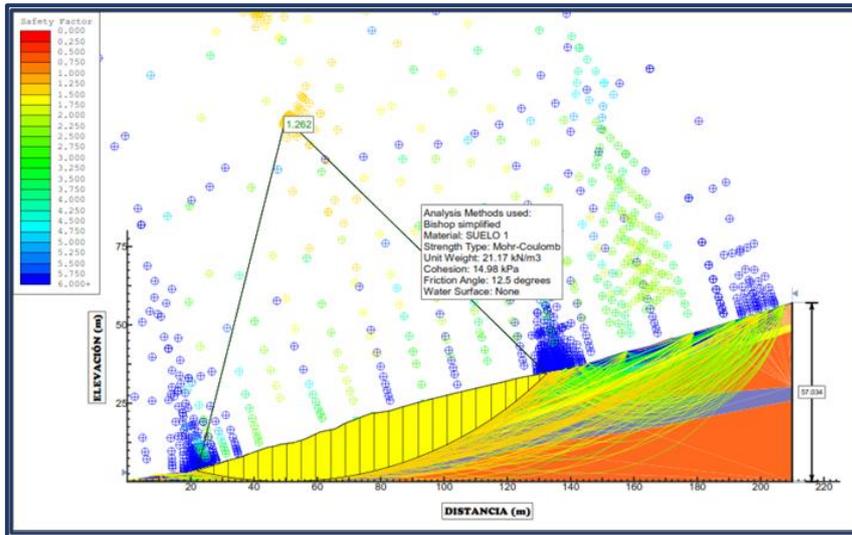
Análisis antes de concebir el proyecto en terreno natural, primer deslizamiento



Nota. Tomado de Análisis retrospectivo y prospectivo secuencial de deslizamiento de laderas en la ciudad universitaria de la Universidad Nacional de Huancavelica (p. 64), por Espinoza Huamani y Rivera Casavilca (2018).

Figura 24

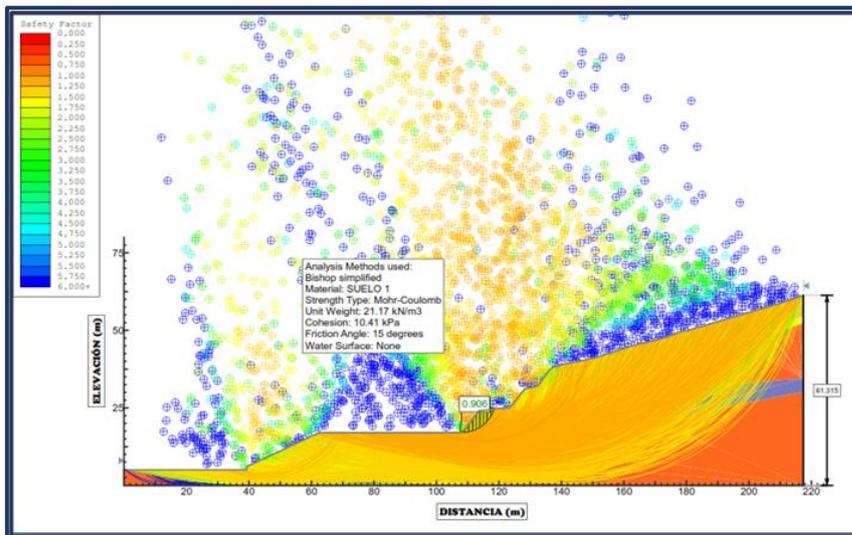
Análisis antes de concebir el proyecto en terreno natural, segundo deslizamiento



Nota. Tomado de Análisis retrospectivo y prospectivo secuencial de deslizamiento de laderas en la ciudad universitaria de la Universidad Nacional de Huancavelica (p. 65), por Espinoza Huamani y Rivera Casavilca (2018).

Figura 25

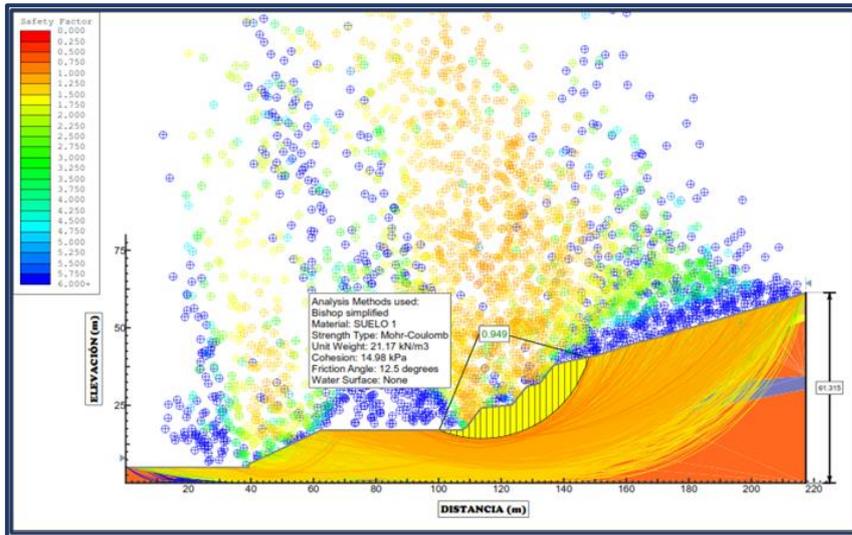
Análisis una vez concebida las explanaciones del proyecto, primer deslizamiento



Nota. Tomado de Análisis retrospectivo y prospectivo secuencial de deslizamiento de laderas en la ciudad universitaria de la Universidad Nacional de Huancavelica (p. 65), por Espinoza Huamani y Rivera Casavilca (2018).

Figura 26

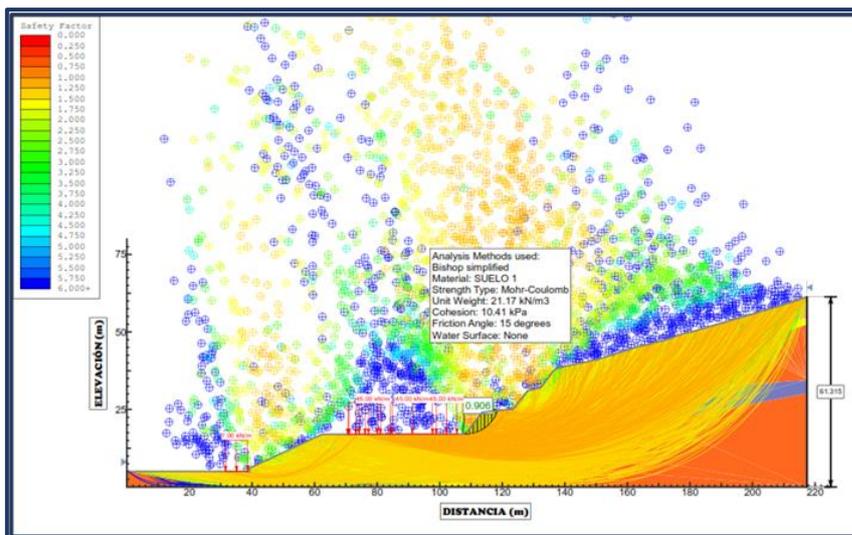
Análisis una vez concebida las explanaciones del proyecto, segundo deslizamiento



Nota. Tomado de Análisis retrospectivo y prospectivo secuencial de deslizamiento de laderas en la ciudad universitaria de la Universidad Nacional de Huancavelica (p. 66), por Espinoza Huamani y Rivera Casavilca (2018).

Figura 27

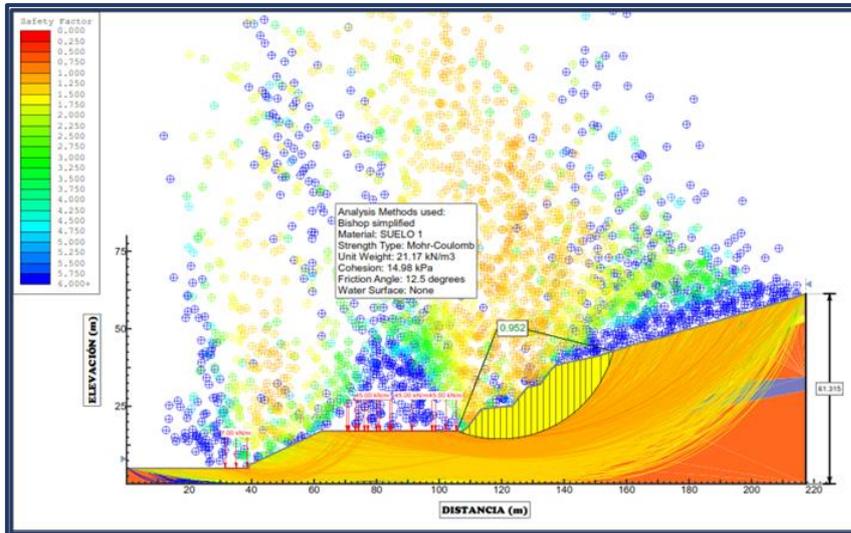
Análisis una vez concebida las explanaciones más influencia de infraestructuras del proyecto, primer deslizamiento



Nota. Tomado de Análisis retrospectivo y prospectivo secuencial de deslizamiento de laderas en la ciudad universitaria de la Universidad Nacional de Huancavelica (p. 67), por Espinoza Huamani y Rivera Casavilca (2018).

Figura 28

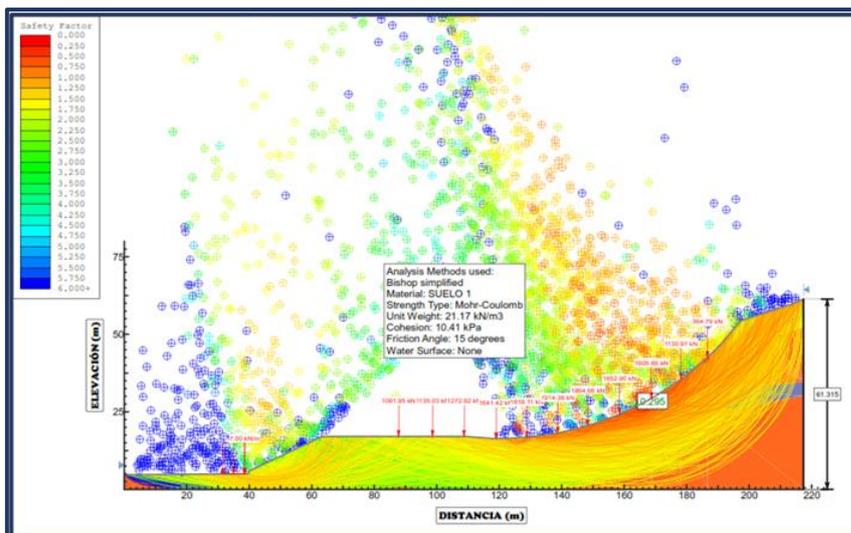
Análisis una vez concebida las explicaciones más influencia de infraestructuras del proyecto, segundo deslizamiento



Nota. Tomado de Análisis retrospectivo y prospectivo secuencial de deslizamiento de laderas en la ciudad universitaria de la Universidad Nacional de Huancavelica (p. 67), por Espinoza Huamani y Rivera Casavilca (2018).

Figura 29

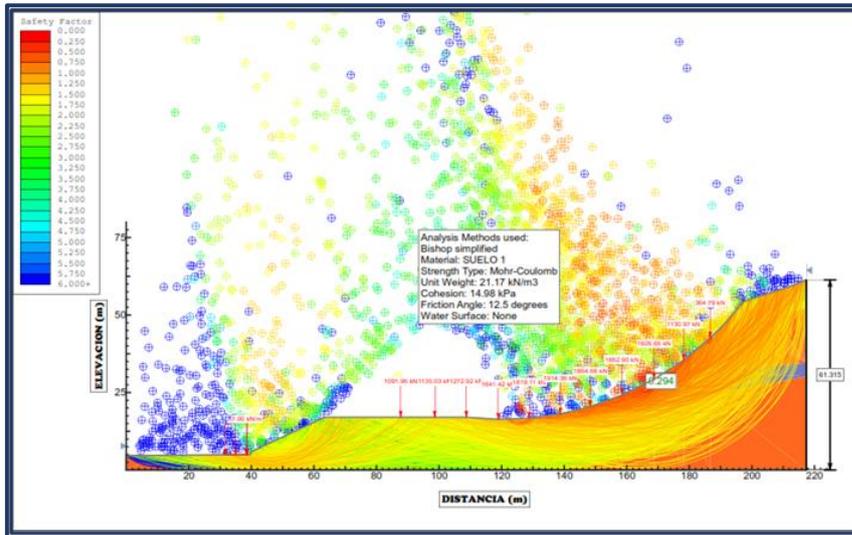
Análisis posterior al deslizamiento de ladera, primer deslizamiento



Nota. Tomado de Análisis retrospectivo y prospectivo secuencial de deslizamiento de laderas en la ciudad universitaria de la Universidad Nacional de Huancavelica (p. 68), por Espinoza Huamani y Rivera Casavilca (2018).

Figura 30

Análisis posterior al deslizamiento de ladera, segundo deslizamiento



Nota. Tomado de *Análisis retrospectivo y prospectivo secuencial de deslizamiento de laderas en la ciudad universitaria de la Universidad Nacional de Huancavelica* (p. 69), por Espinoza Huamani y Rivera Casavilca (2018).

Las figuras 20 al 30 ilustran los resultados de cuatro etapas de análisis de estabilidad. Desde el inicio del proyecto hasta considerar las infraestructuras, los factores de seguridad (FS) disminuyen de 1.369 a 0.295, evidenciando inestabilidad en escenarios posteriores al diseño inicial. Detalles tabulados en tablas 6 y 7 complementan estos análisis, destacando la variación significativa en la estabilidad del talud en contextos de análisis post-concepción del proyecto y efectos de infraestructuras proyectadas

2.5.3 Análisis retrospectivo de estabilidad con valores saturado

Mediante un análisis retrospectivo en condiciones de saturación del suelo, se determinaron los parámetros geotécnicos de resistencia del suelo, en particular la cohesión (c) y el ángulo de fricción (ϕ), tal como se presentaban en el momento de la falla. Esto permitió configurar el modelo de manera que el Factor de Seguridad (FS) resulte igual a 1.00. Los valores de los parámetros geotécnicos, detallados en las tablas 9 y 10, correspondientes al primer y segundo intervalo

acontecidos en la Universidad Nacional de Huancavelica, y se utilizaron en nuestro análisis de estabilidad.

Tabla 9

Parámetros geotécnicos resistentes del suelo en estado saturado, cohesión c y el ángulo de fricción \emptyset en el momento de la falla del primer deslizamiento

Material	Propiedad	
Arenas arcillosas (SC)	Peso unitario (KN/m ³)	21.17
	Angulo de fricción \emptyset (°)	25.00
	Cohesión C (KPa)	22.90

Nota. Tomado de *Análisis retrospectivo y prospectivo secuencial de deslizamiento de laderas en la ciudad universitaria de la Universidad Nacional de Huancavelica* (p. 69), por Espinoza Huamani y Rivera Casavilca (2018).

Tabla 10

Parámetros geotécnicos resistentes del suelo en estado saturado, cohesión c y el ángulo de fricción \emptyset en el momento de la falla del segundo deslizamiento

Material	Propiedad	
Arenas arcillosas (SC)	Peso unitario (KN/m ³)	21.17
	Angulo de fricción \emptyset (°)	25.00
	Cohesión C (KPa)	21.95

Nota. Tomado de *Análisis retrospectivo y prospectivo secuencial de deslizamiento de laderas en la ciudad universitaria de la Universidad Nacional de Huancavelica* (p. 70), por Espinoza Huamani y Rivera Casavilca (2018).

Las tablas 9 y 10 contienen los parámetros geotécnicos resistentes del suelo en estado saturado, incluyendo la cohesión (C) y el ángulo de fricción (\emptyset) en el momento de la falla tanto para el primer como el segundo deslizamiento. Estos datos están relacionados con el material de Arenas Arcillosas (SC). En el primer corte, se identifican los siguientes valores: un peso unitario de 21.17 KN/m³, un ángulo de fricción de 25.00° y una cohesión de 22.90 KPa. Por otro lado, en el segundo, los valores registrados fueron similares, con un peso unitario de 21,17 KN/m³, un ángulo de fricción de 25,00° y una cohesión ligeramente menor de 21,95 KPa.

Estos datos son fundamentales para llevar a cabo un análisis de estabilidad retrospectivo en condiciones de saturación. Sirven como base para evaluar la capacidad del suelo para resistir deslizamientos bajo condiciones saturadas y proporcionar información valiosa sobre su comportamiento y resistencia ante tales circunstancias. Estos valores son esenciales para comprender la estabilidad del terreno y son utilizados como parte integral del análisis retrospectivo saturado.

Tabla 11

Resultados del *análisis de estabilidad con valores de análisis retrospectivo saturado*

Cuatro etapas de análisis de estabilidad	Análisis de estabilidad con valores de análisis retrospectivo saturado	
	Primer deslizamiento	Segundo deslizamiento
Análisis antes de concebir el proyecto en terreno natural.	1.113	1.110
Análisis una vez concebido las explicaciones del proyecto.	0.827	0.824
Análisis una vez concebido las explicaciones más influencia de infraestructuras del proyecto.	0.865	0.863
Análisis posterior al deslizamiento de ladera.	0.458	0.458

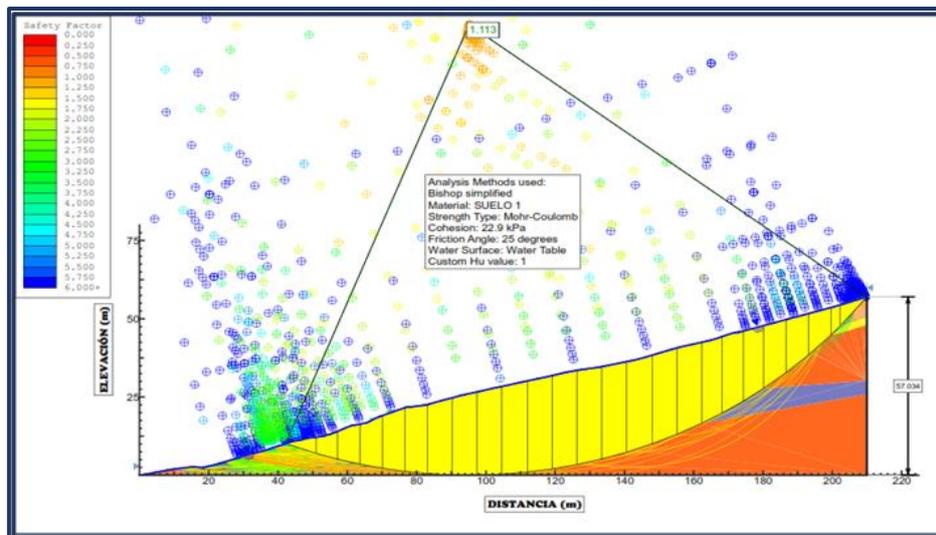
La tabla 11, se presenta los resultados de las cuatro etapas de análisis de estabilidad: el análisis previo a la concepción del proyecto en el entorno natural, el análisis tras la concepción de las explicaciones del proyecto, el análisis posterior considerando las explicaciones con la influencia de las infraestructuras proyectadas, y el análisis posterior al deslizamiento de la ladera. Estos análisis se llevaron a cabo utilizando valores retrospectivos saturados, detallados en las tablas 9 y 10. Dentro del primer caso de análisis, el estudio inicial estático, realizado antes de la concepción del proyecto en el entorno natural mediante el método de Bishop Simplificado, reveló un factor de seguridad de 1.113, indicando una estabilidad adecuada del talud en ese momento.

Sin embargo, al explorar distintos escenarios, incluyendo el análisis posterior a la concepción de las explanaciones del proyecto, aquel con la influencia de las infraestructuras proyectadas y el análisis tras el corte de la ladera, los resultados muestran factores de seguridad (FS) de 0.827, 0,865 y 0,458 respectivamente. Estos valores evidencian una disminución significativa en la estabilidad del talud, señalando claramente su condición de inestabilidad en estos tres últimos casos.

En el segundo caso del segundo deslizamiento, el análisis estático previo a la concepción del proyecto en el entorno natural, utilizando el método de Bishop Simplificado, reveló un factor de seguridad de 1.110, indicando una estabilidad adecuada del talud en ese momento. No obstante, al considerar distintos escenarios similares a los mencionados previamente, los resultados mostraron factores de seguridad (FS) de 0.824, 0.863 y 0.458 respectivamente. Una vez más, estos valores señalan una disminución significativa en la estabilidad del talud, confirmando su condición de inestabilidad en estos tres últimos casos.

Figura 31

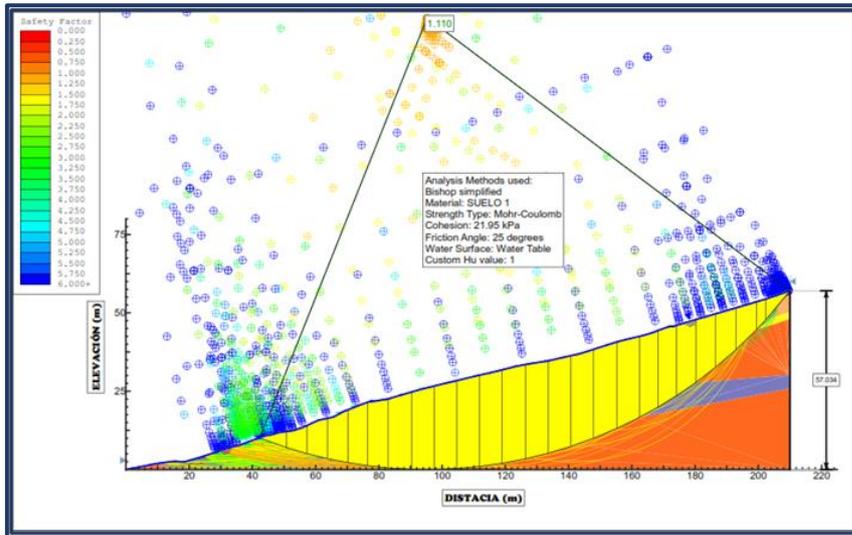
Análisis antes de concebir el proyecto en terreno natural, primer deslizamiento



Nota. Tomado de Análisis retrospectivo y prospectivo secuencial de deslizamiento de laderas en la ciudad universitaria de la Universidad Nacional de Huancavelica (p. 70), por Espinoza Huamani y Rivera Casavilca (2018).

Figura 32

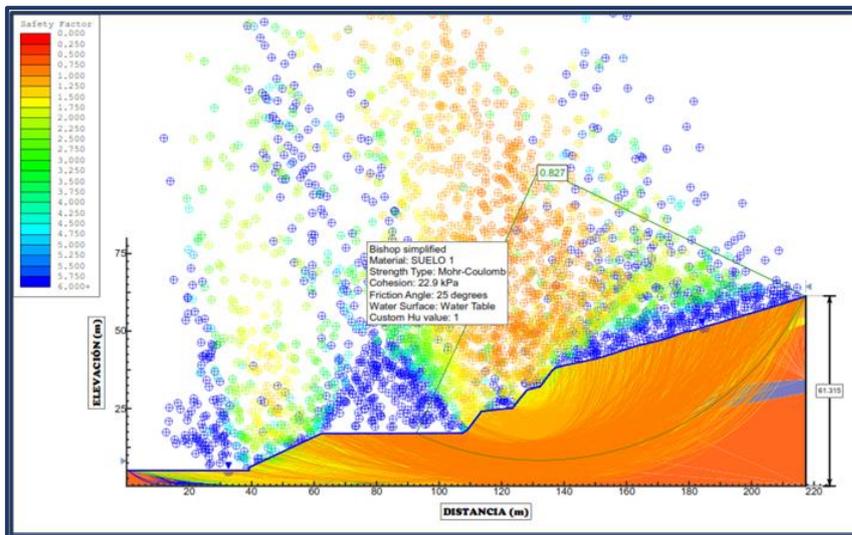
Análisis antes de concebir el proyecto en terreno natural, segundo deslizamiento



Nota. Tomado de Análisis retrospectivo y prospectivo secuencial de deslizamiento de laderas en la ciudad universitaria de la Universidad Nacional de Huancavelica (p. 71), por Espinoza Huamani y Rivera Casavilca (2018).

Figura 33

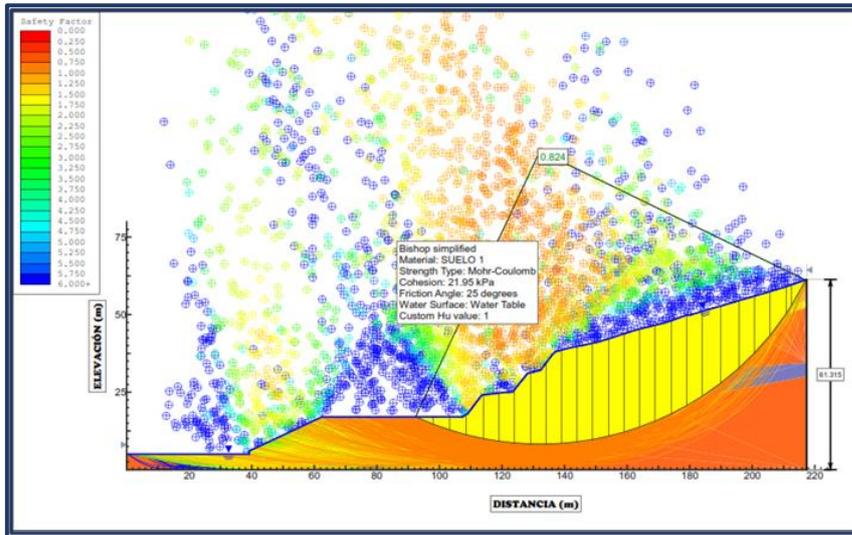
Análisis una vez concebida las explanaciones del proyecto, primer deslizamiento



Nota. Tomado de Análisis retrospectivo y prospectivo secuencial de deslizamiento de laderas en la ciudad universitaria de la Universidad Nacional de Huancavelica (p. 72), por Espinoza Huamani y Rivera Casavilca (2018).

Figura 34

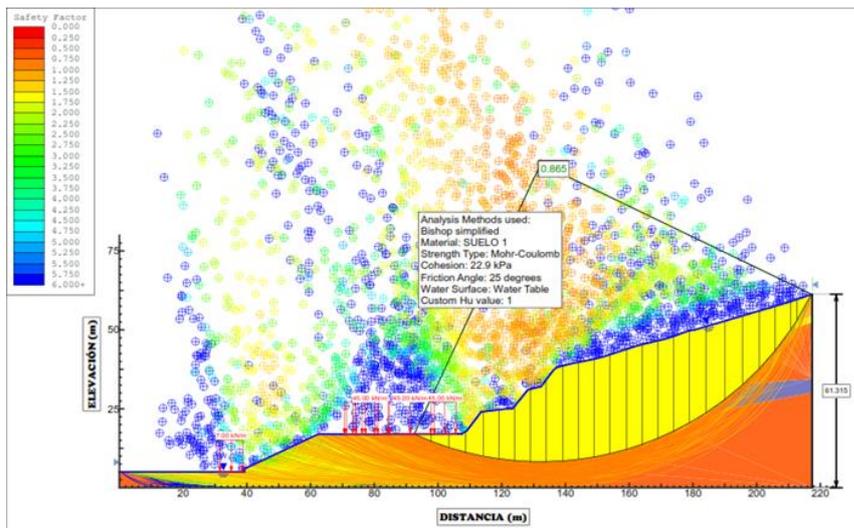
Análisis una vez concebida las explanaciones del proyecto, segundo deslizamiento



Nota. Tomado de *Análisis retrospectivo y prospectivo secuencial de deslizamiento de laderas en la ciudad universitaria de la Universidad Nacional de Huancavelica* (p. 72), por Espinoza Huamani y Rivera Casavilca (2018).

Figura 35

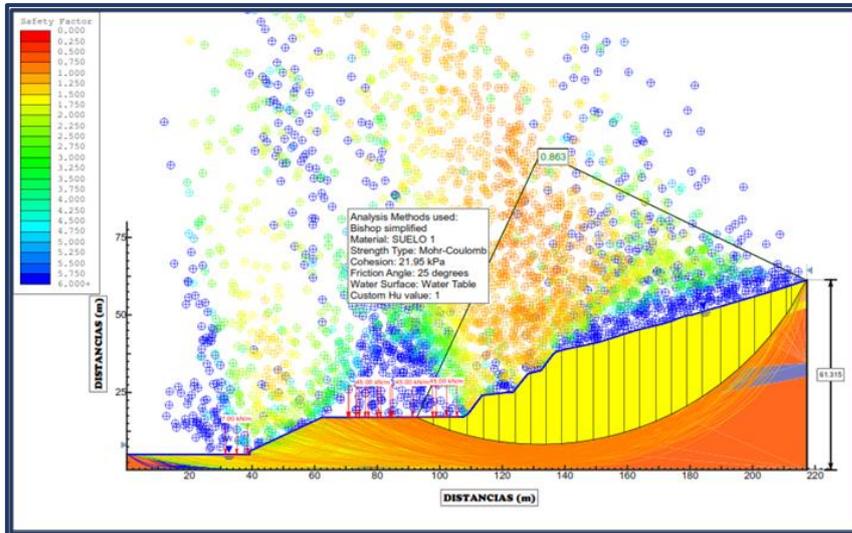
Análisis una vez concebida las explanaciones más influencia de infraestructuras del proyecto, primer deslizamiento



Nota. Tomado de *Análisis retrospectivo y prospectivo secuencial de deslizamiento de laderas en la ciudad universitaria de la Universidad Nacional de Huancavelica* (p. 73), por Espinoza Huamani y Rivera Casavilca (2018).

Figura 36

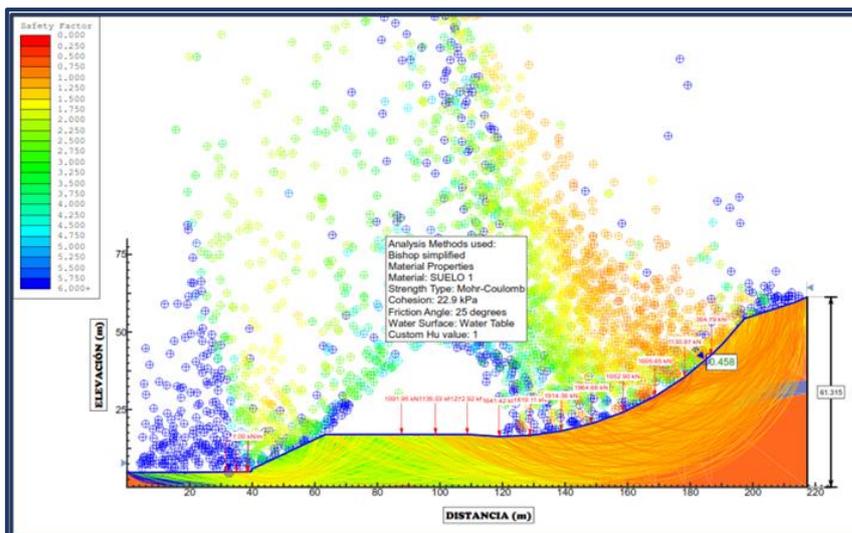
Análisis una vez concebida las explicaciones más influencia de infraestructuras del proyecto, segundo deslizamiento



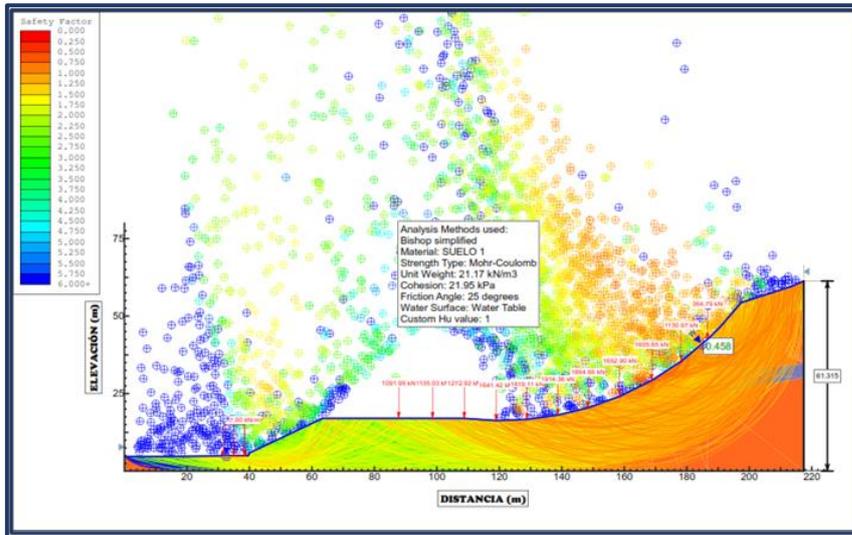
Nota. Tomado de Análisis retrospectivo y prospectivo secuencial de deslizamiento de laderas en la ciudad universitaria de la Universidad Nacional de Huancavelica (p. 74), por Espinoza Huamani y Rivera Casavilca (2018).

Figura 37

Análisis posterior al deslizamiento de ladera, primer deslizamiento



Nota. Tomado de Análisis retrospectivo y prospectivo secuencial de deslizamiento de laderas en la ciudad universitaria de la Universidad Nacional de Huancavelica (p. 75), por Espinoza Huamani y Rivera Casavilca (2018).

Figura 38*Análisis posterior al deslizamiento de ladera, segundo deslizamiento*

Nota. Tomado de *Análisis retrospectivo y prospectivo secuencial de deslizamiento de laderas en la ciudad universitaria de la Universidad Nacional de Huancavelica* (p. 76), por Espinoza Huamani y Rivera Casavilca (2018).

Las figuras 31 al 38 muestran resultados de cuatro análisis de estabilidad: previo y posterior a la concepción del proyecto, considerando infraestructuras y tras el gradual. Valores retrospectivos saturados en las tablas 9 y 10 respaldan estos análisis. En el primer caso, el estudio inicial reveló un factor de seguridad de 1.113, indicando estabilidad. Pero escenarios adicionales mostraron valores de 0.827, 0.865 y 0.458, señalando inestabilidad. En el segundo caso, a pesar de un inicio estable (FS 1.110), escenarios similares mostraron valores de 0.824, 0.863 y 0.458, confirmando la inestabilidad. Los resultados reflejan una reducción significativa en la estabilidad del talud en esos casos.

3.6. Discusión de resultados de investigación

Convencionalmente, la teoría clasifica a los taludes como estables o inestables está en función de si su factor de seguridad es mayor o menor a 1. Sin embargo, esta simplificación no siempre se ajusta a la realidad, ya que los taludes no colapsan bruscamente una vez que su factor de seguridad cruza el umbral de 1. El proceso de deslizamiento es gradual y multifactorial, y puede ser influenciado

por actividades como excavaciones, eliminación de tierra y construcción, como en el caso del proyecto "Construcción y equipamiento del complejo educativo para el fortalecimiento académico de la Facultad de Educación de la Universidad Nacional de Huancavelica, Huancavelica - Huancavelica".

Antes de la concepción del proyecto en terreno natural, se realizó un análisis de estabilidad que arrojó factores de seguridad superiores a 1 (1.379, 1.369, 1.262, 1.113, 1.110) en diversos escenarios, incluyendo análisis de estabilidad con parámetros in situ, valores de análisis retrospectivo no saturado (primer y segundo deslizamiento) y valores de análisis retrospectivo saturado (primer y segundo deslizamiento). Estos resultados indicaban que la ladera se encontraba estable y no mostraban indicios de desplazamiento.

Sin embargo, tras la ejecución del proyecto y la introducción de infraestructuras, los factores de seguridad disminuyeron significativamente (0.963, 0.906, 0.949, 0.827 y 0.824), sugiriendo una pérdida de estabilidad. Este escenario se mantuvo incluso al considerar la influencia adicional de las infraestructuras, donde los factores de seguridad seguían siendo bajos (0.963, 0.906, 0.952, 0.865 y 0.863), lo que señalaba la persistente inestabilidad de la ladera.

Un análisis posterior al deslizamiento reveló factores de seguridad aún más bajos (0.305, 0.295, 0.294, 0.458 y 0.458), indicando claramente la probabilidad de futuros deslizamientos si no se toman medidas de estabilización adecuadas. Los resultados del análisis de estabilidad de ladera en el proyecto "Construcción y equipamiento del complejo educativo para el fortalecimiento académico de la Facultad de Educación de la Universidad Nacional de Huancavelica - Huancavelica - Huancavelica" muestran una disminución significativa en los factores de seguridad después de la ejecución del proyecto y la introducción de infraestructuras en la zona. Esta disminución sugiere una pérdida de estabilidad en la ladera, lo que puede llevar a deslizamientos en el futuro si no se toman medidas adecuadas de estabilización.

Estudios similares realizados por diferentes entidades, destacan la necesidad de una evaluación continua de la estabilidad en zonas tras cambios significativos (Carlotto Caillaux, 2007; INGEMET & DGAR, 2022; INGEMET & DGAR, 2019). La colaboración entre entidades gubernamentales y expertos en geología, ilustra la importancia de comprender y prevenir riesgos geológicos en áreas críticas.

La complejidad y diversidad de factores que desencadenan eventos geológicos adversos se ven en varios casos de estudio (Vílchez Mata & Sosa Senticala, 2019). Desde la identificación de fracturas en el sustrato rocoso y erosión del río Pachachaca hasta evaluaciones técnicas que revelan deslizamientos debido a la morfología del área, litología, cambios en la vegetación y principalmente a condiciones climáticas y geológicas (Delgado Madera et al., 2011), estos eventos subrayan la interacción de múltiples factores en los deslizamientos.

La influencia de actividades humanas en la estabilidad de los taludes es evidente (Concha Niño de Guzmán & Araujo Huamán, 2015a, 2015b; Gomez Velásquez & Gonzales Sales, 2018; Ochoa Zubiarte & Vílchez Mata, 2012; Vílchez Mata, 2012, 2014; Vílchez Mata & Ochoa Zubiarte, 2011a, 2011b; Vílchez Mata & Sosa Senticala, 2019). Mientras la teoría tradicional se basa en un factor de seguridad, los análisis en Huancavelica y otros lugares muestran cómo la estabilidad puede cambiar debido a estas intervenciones. Estos casos demuestran que los deslizamientos no son eventos simples y pueden ser influenciados por múltiples variables, desde intervenciones humanas hasta condiciones naturales.

La importancia de considerar factores diversos más allá del simple factor de seguridad en los taludes es clave (Concha Concha Niño de Guzmán & Astete Farfán, 2018). Identificar estos elementos contribuye a comprender mejor la naturaleza multifacética y gradual de los deslizamientos, permitiendo estrategias preventivas más efectivas y medidas de estabilización anticipadas.

Estos estudios resaltan la necesidad de considerar una variedad de factores al analizar la estabilidad de laderas y taludes. También subrayan la importancia de implementar medidas de estabilización y diseño adecuado en proyectos de

construcción en áreas geográficamente desafiantes, mientras otros autores proponen la reubicación del poblado y geodinámicas para minimizar riesgos (Concha Niño de Guzmán & Astete Farfán, 2018), enfatizan la importancia del ordenamiento territorial y el manejo ambiental para mitigar riesgos geodinámicos. Además, estos hallazgos pueden influir en la formulación de políticas relacionadas con la seguridad de las construcciones en zonas vulnerables a deslizamientos.

Esto contribuye directamente a la seguridad de la infraestructura y la comunidad, mejora la planificación de proyectos de infraestructura y agrega conocimientos valiosos a la geotecnia y la gestión de riesgos naturales (Vílchez Mata & Ochoa Zubiato, 2011a). Así mismo, se resalta la importancia del monitoreo y la adaptación de infraestructuras ante amenazas geodinámicas constantes y estabilización de áreas críticas (Araujo Huamán, 2017; Nuñez Juárez & Gómez Velásquez, 2011). Estos resultados sirven como base para investigaciones futuras y políticas relacionadas con la prevención de riesgos geológicos en diferentes ubicaciones (Ochoa Zubiato & Delgado Madera, 2008).

CAPÍTULO III

CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y REFLEXIONES

3.1 Conclusiones

El análisis retrospectivo y prospectivo secuencial en el deslizamiento de ladera en la Universidad Nacional de Huancavelica revela una disminución significativa en la estabilidad de la ladera, especialmente después de la implementación del proyecto de construcción y la introducción de infraestructuras.

Antes de la concepción del proyecto en el terreno natural, se obtuvieron factores de seguridad superiores a 1, indicando que la ladera era estable. No se observaron indicios de desplazamiento en ese momento. Sin embargo, después de la ejecución del proyecto y la introducción de infraestructuras, los factores de seguridad disminuyeron significativamente, lo que sugiere una pérdida de estabilidad. Incluso al considerar la influencia de las infraestructuras, la ladera seguía siendo inestable. La influencia de las infraestructuras no mejoró la estabilidad de la ladera, ya que los factores de seguridad seguían siendo bajos. Esto resalta la persistente inestabilidad de la ladera. Después del deslizamiento de ladera, se observaron factores de seguridad aún más bajos, lo que indica una alta probabilidad de futuros deslizamientos si no se toman decisiones de estabilización adecuadas.

En síntesis, los resultados del análisis retrospectivo y prospectivo señalan claramente que la ladera en la Ciudad Universitaria experimentó una pérdida de estabilidad, particularmente después de la ejecución del proyecto y la introducción de infraestructuras.

3.2 Recomendaciones

Reevaluación de la estabilidad: Dado que los factores de seguridad disminuyeron significativamente después de la ejecución del proyecto y la introducción de infraestructuras, se recomienda una reevaluación exhaustiva de la estabilidad de la ladera. Esto debe incluir análisis actualizados de los factores de seguridad en varios escenarios, teniendo en cuenta la influencia de las infraestructuras existentes.

Monitoreo continuo: Es fundamental establecer un sistema de monitoreo continuo para detectar cualquier cambio en la estabilidad de la ladera. Esto debería incluir la medición de factores clave, como la inclinación, la humedad del suelo, la presión de agua subterránea y la actividad sísmica, que pueden influir en la estabilidad.

Medidas de estabilización: Considerando los bajos factores de seguridad en el análisis posterior al reducido, es imperativo implementar medidas de estabilización adecuadas en la ladera. Estas pueden incluir la construcción de estructuras de contención, drenaje adecuado para controlar la acumulación de agua y la compactación del suelo en áreas críticas.

Estudio geotécnico detallado: Realizar un estudio geotécnico más detallado de los suelos presentes en la zona para comprender mejor su comportamiento y características. Esto permitirá diseñar medidas de estabilización más efectivas y prevenir posibles áreas de riesgo.

Consideración de las condiciones locales: Dado que la topografía, las condiciones del flujo de agua y otros factores locales pueden influir en la estabilidad de la ladera, se recomienda un análisis más profundo de estos aspectos específicos para adaptar las medidas de estabilización a la situación particular de la zona.

Comunicación y colaboración: Mantener una comunicación activa con expertos en geotecnia y geología, así como con las partes interesadas involucradas en el proyecto, es crucial. La colaboración con profesionales que tengan experiencia en laderas y taludes inestables es esencial para tomar decisiones informadas.

Capacitación y concienciación: Capacitar al personal y a las personas involucradas en el proyecto sobre los riesgos asociados a la inestabilidad de laderas y las medidas de seguridad necesarias. La concienciación es clave para prevenir futuros problemas.

Plan de contingencia: Desarrollar un plan de contingencia que establezca procedimientos claros en caso de que se produzcan deslizamientos u otros

eventos de inestabilidad. Este plan debe incluir evacuación segura y respuesta a emergencias.

Seguimiento a largo plazo: La estabilidad de las laderas puede cambiar con el tiempo debido a diversos factores, por lo que es importante establecer un seguimiento a largo plazo para evaluar la efectividad de la estabilización y realizar ajustes según sea necesario.

Estas recomendaciones deben considerarse como parte de un enfoque integral para abordar la inestabilidad de la ladera y garantizar la seguridad a largo plazo de la zona en cuestión.

3.3 Reflexiones

Esta investigación revela un aspecto crucial, la estabilidad de una ladera no es estática, sino un proceso en constante cambio. Esto desafía la percepción convencional de estabilidad e inestabilidad, destacando la importancia de considerar la evolución temporal y los factores externos que pueden influir en ella.

Esta complejidad y diversidad de factores influyentes también se refleja en otros estudios presentados. Por ejemplo, la interacción entre la morfología del terreno, la litología, la presencia de agua subterránea y cambios en la vegetación influyó en el gradual en el centro poblado Naranjal Paltaybamba, como se documenta en la investigación de (Vílchez & Sosa, 2019).

La capacidad de prever la inestabilidad futura en laderas es un avance significativo. Esta visión anticipada puede ser fundamental para salvar la seguridad en la planificación urbana y la construcción de infraestructuras en áreas propensas a deslizamientos, permitiendo tomar medidas preventivas con anticipación.

Los resultados de esta investigación no solo son teóricos, sino que ofrecen aplicaciones prácticas para ingenieros y planificadores. Los datos y análisis proporcionados podrían mejorar significativamente la seguridad en el diseño y

la implementación de proyectos, reduciendo los riesgos asociados con deslizamientos de ladera.

Al cuestionar la simplificación convencional de la estabilidad de taludes basada únicamente en el factor de seguridad, esta investigación amplía la perspectiva teórica. Destaca la necesidad de considerar una gama más amplia de variables, ofreciendo una visión más completa y realista de la estabilidad de laderas.

En pocas palabras, esta investigación no solo enriquece el conocimiento científico sobre la estabilidad de laderas, sino que también tiene un impacto tangible en la toma de decisiones prácticas. Ofrece una mirada más holística y dinámica, brindando herramientas y conocimientos que pueden marcar la diferencia en la seguridad de las comunidades en áreas vulnerables a deslizamientos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alcántara Ayala, L. (2000). *Landslides: ¿deslizamientos o movimientos del terreno? Definición, clasificaciones y terminología*. *Investigaciones Geográficas*, 1(41), 7-25. <https://doi.org/10.14350/rig.59101>
- Alvarado Salazar, A. A., & Cornejo Guardia, A. R. (2014). *Estabilización de taludes en la Costa Verde-Callao tramo Av. Santa Rosa-Jr. Virú (1.3 Km)* [Tesis de Grado, Universidad de San Martín de Porres]. <https://hdl.handle.net/20.500.12727/1047>
- Araujo Huamán, G. E. (2017). *Área de influencia del deslizamiento de Siguas y geodinámica del Valle. Región Arequipa, provincia Caylloma y Arequipa, distrito Majes y San Juan de Siguas* (Informe Técnico N° A6772). Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/821>
- Arellano, R., Bielefeldt, J., & Correa, D. (1999). *Análisis de taludes mediante ensayos y back análisis de fallas*. <https://cutt.ly/mwCRxsxE>
- Barrera Bucio, M., & Garnica Anguas, P. (2002). *Introducción a la mecánica de suelos no saturados en vías terrestres*. Secretaría de Comunicaciones y Transportes.
- Carlotto Caillaux, V. S. (2007). *Deslizamiento de Chingo Grande Saylla (Cusco)* (Informe técnico N° A6563). Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico, 8. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/2329>
- Catanzariti, F. (13 de junio de 2016). *Estabilidad de taludes*. Software Promo. <https://cutt.ly/qwCR2p0H>
- Coliente Tlaxcalteca, A. (2010). *Inestabilidad de laderas y taludes* [Tesis de Maestría, Universidad Nacional Autónoma de México]. <https://doi.org/https://hdl.handle.net/20.500.14330/TES01000661809>
- Concha Niño de Guzmán, R. F., & Araujo Huamán, G. E. (2015a). *Evaluación geológica y geodinámica de los deslizamientos de Colcabamba, zona Retaguayo en el distrito de San Luis, provincia de Carlos Fermin Fitzcarrald, departamento de Ancash* (Informe Técnico N° A6690). Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/1318>

- Concha Niño de Guzmán, R. F., & Araujo Huamán, G. E. (2015b). *Evaluación geológica y geodinámica del deslizamiento del cerro Tishtec. Región Ancash, provincia de Yungay y distrito de Mancos* (Informe Técnico N° A6687). Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/1316>
- Concha Niño de Guzmán, R. F., & Astete Farfán, I. (2018). *Evaluación geológica y geodinámica del deslizamiento de Tulpay (distrito de Checras, provincia de Huaura, departamento de Lima)* (Informe Técnico N° A6797). Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/1202>
- Copons Llorens, R., & Tallada Masquef, A. (2009). Movimientos de ladera. *Enseñanza de Las Ciencias de La Tierra*, 17(3), 284-294. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3309150>
- Crespo Villadaz, C. (2004). *Mecánica de suelos y cimentaciones* (5th Ed.). Limusa Noriega Editores.
- De la Cruz Quispe, L. Á., & Tunque Huamán, L. M. (2015). *Inestabilidad de taludes en el sector de Santa Bárbara de la Ciudad de Huancavelica* [Tesis de Titulación, Universidad Nacional de Huancavelica]. <http://repositorio.unh.edu.pe/handle/UNH/275>
- De Matteis, Á. F. (2003). *Geología y geotecnia: Estabilidad de taludes*. Universidad Nacional de Rosario.
- Delgado Madera, G. F., Benavente Escobar, C. L., & Fidel Smoll, L. (2011). *Evaluación del deslizamiento de Huamancharpa. Distrito de Santiago, región Cusco* (Informe Técnico N° A6445). Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/1663>
- Escobar Potes, C. E., & Duque Escobar, G. (2017). Análisis de estabilidad de taludes. *Geotecnia para el Trópico Andino*, 167-235.
- Espinoza Huamani, I. I., & Rivera Casavilca, R. (2018). *Análisis retrospectivo y prospectivo secuencial de deslizamiento de laderas en la ciudad universitaria de la Universidad Nacional de Huancavelica* [Tesis de Titulación, Universidad

- Nacional de Huancavelica].
<http://repositorio.unh.edu.pe/handle/UNH/1611>
- Garibay-Perez, R., Córdova-Ceballos, A., Ibañez-Vargas, R., Genaro García, G., González Sierra, A., Salan Reyes, A., & Jimenez-Ramirez, J. (2016). Análisis de estabilidad de ladera en el Cerro del Mesón de Poza Rica. *Revista Iberoamericana de Ciencias*. 3(6), 66-73.
- Gomez Velásquez, H. D., & Gonzales Sales, J. (2018). *Deslizamiento en el sector Tankarccasa - Uñuqñahui. Región Cusco, provincia Anta, distrito Anta, paraje Compone* (Informe Técnico N° A6841). Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/1932>
- Grimarey Antunez, I. A. (2020). *Desempeño docente y deserción escolar en nivel secundario de la I.E. Guillermo Billingurhst - Barranca - 2014* [Tesis Doctoral, Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión].
<http://repositorio.unjfsc.edu.pe/handle/UNJFSC/4019>
- Gúzman Ramírez, E. (2002). *Estudio Geológico-Geotécnico de la Susceptibilidad de Deslizamientos en la Colonia El Carmen Zona 12 de la Ciudad de Guatemala* [Tesis de Titulación]. Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Pilar Baptista, L. (2014). *Metodología de la investigación* (6th Ed.). McGraw Hill Education
- Iñiguez, J. B. (2010). La aplicación del análisis inverso de deslizamientos como herramienta para la determinación de los parámetros geomecánicos del suelo. *Revista Científica Maskana*. 1(1), 17-40.
<https://doi.org/https://doi.org/10.18537/mskn.01.01.02>
- Instituto Geológico Minero y Metalúrgico & Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico. (2022). *Evaluación del deslizamiento de Mesacancha. Distrito de Vilcabamba, provincia de La Convención, departamento de Cusco.* (Opinión Técnica N° 003-2022).
<https://hdl.handle.net/20.500.12544/3617>
- Instituto Geológico Minero y Metalúrgico & Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico. (2019). *Inspección de peligros geológicos en el sector de*

- Llactabamba. Región Apurímac, provincia Andahuaylas, distrito Huancarama (Informe técnico N° A6924). <https://hdl.handle.net/20.500.12544/2253>
- Jha A. K., Bloch R. & Lamond J. (2002). *Ciudades e inundaciones*. The World Bank
- LISA Institute. (2023). *Qué es la prospectiva y el análisis prospectivo: cómo pronosticar el futuro*. <https://cutt.ly/kwCR3E9s>
- López Marinas J. M. (2002). *Geología aplicada a la ingeniería civil* (2th ed.). Cie Inversiones Editoriales Dossa
- Mallma Acuña, F. A. (2019). *Herramientas geomáticas para la evaluación de zonas urbanas amenazadas por deslizamiento de material en laderas*. [Tesis de Titulación, Universidad Ricardo Palma]. <https://hdl.handle.net/20.500.14138/2005>
- Marín Nieto, L. (1991). *Mecánica de suelos*. Universidad de Guayaquil.
- Mora Ortiz, R. S. (2009). *Efecto del humedecimiento en la estabilidad de taludes: análisis y modelación* [Tesis de Maestría, Universidad Autónoma de Querétaro]. <https://ri-ng.uaq.mx/handle/123456789/5906>
- Nieto Rodríguez, A. P., Rivas Romero, P. E., & Zacarías Callejas, N. M. del C. (2007). *Metodología para la evaluación de la vulnerabilidad en regiones propensas a deslizamiento en El Salvador* [Tesis Doctoral, Universidad de El Salvador]. <https://ri.ues.edu.sv/id/eprint/2161/>
- Núñez Juárez, S., & Gómez Velásquez, H. D. (2011). *Deslizamiento de tierras en el cerro Pucruchacra distrito San Mateo de Huanchor, provincia Huarochirí, región Lima*. (Informe técnico N° A6575). Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/1810>
- Ochoa Zubiato, M. B., & Delgado Madera, G. F. (2008). *Inspección técnica geológica en el centro poblado de Cuenca. Región Huancavelica, provincia Huancavelica y distrito Cuenca* (Informe técnico N° A6645). Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/1384>
- Ochoa Zubiato, M. B., & Vélchez Mata, M. S. (2012). *Deslizamientos rotacionales en los sectores de Jeyruycha y andenes de Chimpa – Andamarca. Distrito de Carmen de Salcedo, provincia de Lucana, región Ayacucho* (Informe técnico N° A6590).

- Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico
<https://hdl.handle.net/20.500.12544/1562>
- Tang, W. H., Stark, T. D., & Angulo, M. (2000). Confiabilidad en el análisis posterior de fallas en taludes. *Soils and Foundations*. 39(5), 73–80.
https://doi.org/https://doi.org/10.3208/sandf.39.5_73
- Toro Irureta, J. (2014). *Evaluación de la inestabilidad de taludes en la carretera las Pirias- Cruce Lambayeque, San Ignacio* [Tesis de Grado, Universidad Nacional de Cajamarca]. <http://hdl.handle.net/20.500.14074/476>
- Vílchez Mata, M. S. (2012). *Deslizamiento de Horno Huayoc. Distrito de Colcabamba, provincia Tayacaja, región Huancavelica* (Informe técnico N° A6604). Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico.
<https://hdl.handle.net/20.500.12544/1576>
- Vílchez Mata, M. S. (2014). *Evaluación de peligros geológicos en los sectores de Tiracancha Baja y Chiripata – Umachurco. Distrito de San Salvador, provincia de Calca, región Cusco* (Informe técnico N° A6653). Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/1391>
- Vílchez Mata, M. S., & Ochoa Zubiato, M. B. (2011a). *Deslizamiento y caída de rocas en el centro poblado de Cachi Baja distrito de Huando, provincia y región Huancavelica* (Informe técnico N° A6588). Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/1851>
- Vílchez Mata, M. S., & Ochoa Zubiato, M. B. (2011b). *Inspección técnica del deslizamiento en el tramo de carretera Ticrapo-Chacolla-Castrovirreyna progresivas 39+450 al 44+200. Distrito de Ticrapo, provincia de Castrovirreyna, región Huancavelica* (Informe técnico N° A6585). Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/1848>
- Vílchez Mata, M. S., & Sosa Senticala, N. L. (2019). *Deslizamiento traslacional de Kuquipata: Evaluación de peligros geológicos. Región Cusco, provincia La Convención, distrito Vilcabamba* (Informe técnico N° A6872). Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico.
<https://hdl.handle.net/20.500.12544/2022>

ANEXOS

Anexo 1

Panel fotográfico del proceso de ejecución

Fotografía 1. *Deslizamiento de marzo de 2017: Análisis de la Zona de Estudio*



Fotografía 2. *Calicata número uno al cinco, nuestro el perfil estratigráfico en esa zona.*



Fotografía 3. Calicata número cinco y seis, así mismo se muestra la trinchera número uno y dos, zona donde se extrajeron muestras de suelo para ensayos triaxiales



Fotografía 4. Trincheras número tres hasta el seis, zona donde se extrajeron muestras de suelo para ensayos triaxiales



Fotografía 5. *Muestra lista para ensayos de laboratorio*



Fotografía 6. *Muestras de suelo que pasaron completamente por el tamiz de 0,5 mm. (malla N° 40 ASTM), ensayo de limite líquido y ensayo de limite plástico*



Fotografía 7. Extracción de muestra de suelo inalterado y preparación de muestras para ensayo triaxial no consolidado no drenado



Fotografía 8. Muestra inalterada en proceso de ensayo triaxial (UU) y después de ser ensayadas



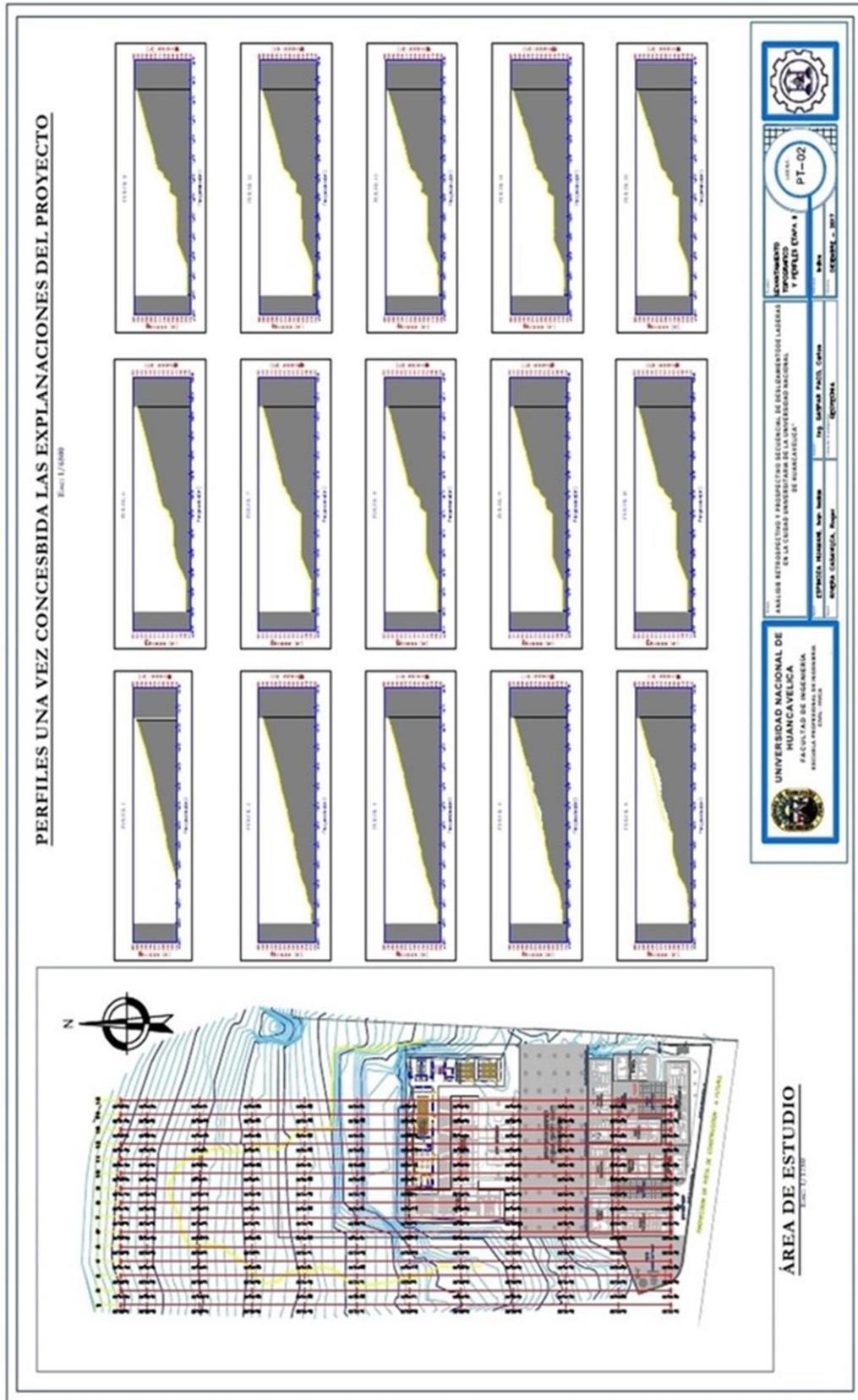
Fotografía 9. *Proceso de excavación y cimentación en algunas zonas del deslizamiento de ladera*



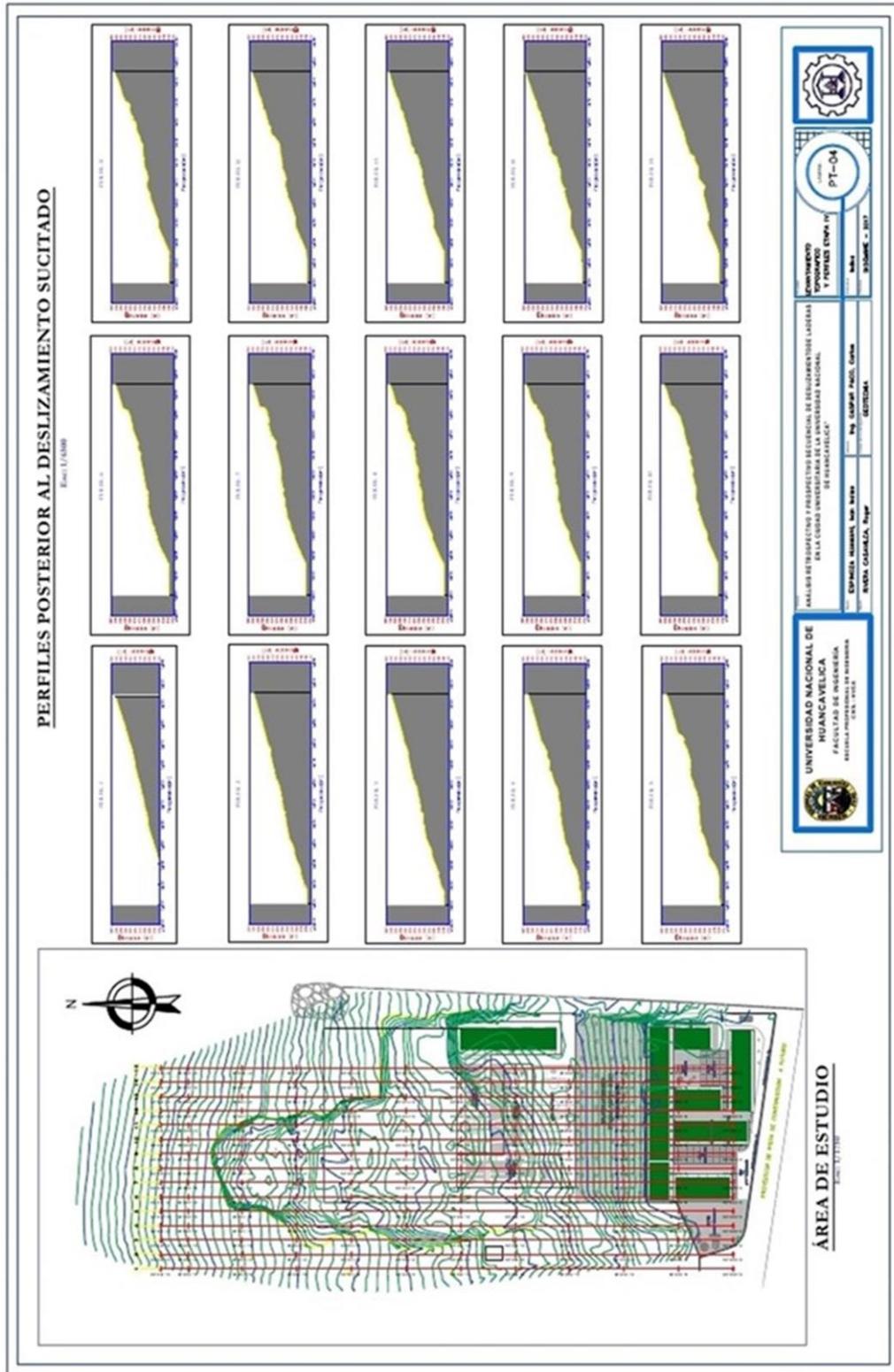
Fotografía 10. *Cimentación de la infraestructura académica de la primera plataforma*



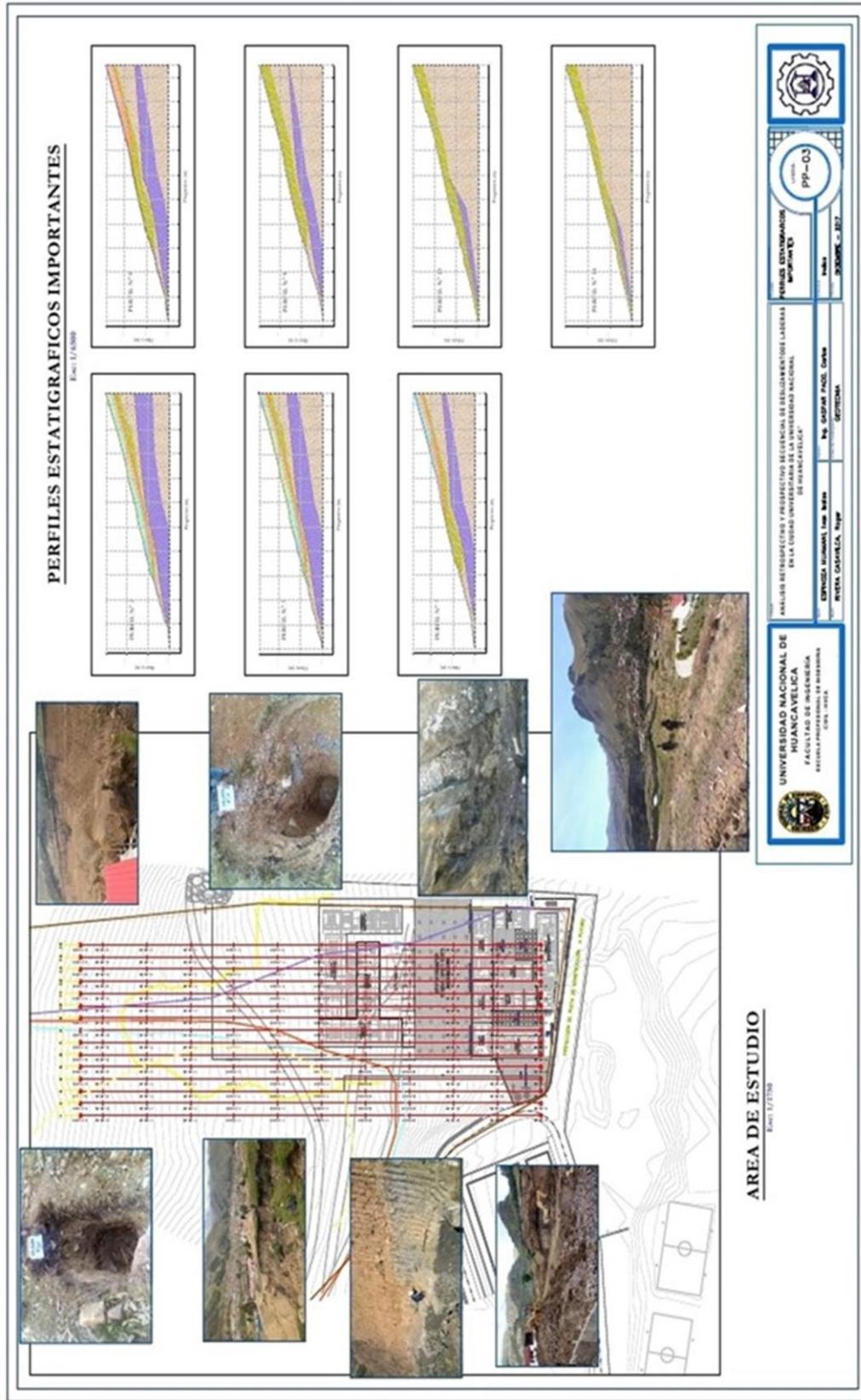
Plano 2. Perfiles una vez concebida las explanaciones del proyecto



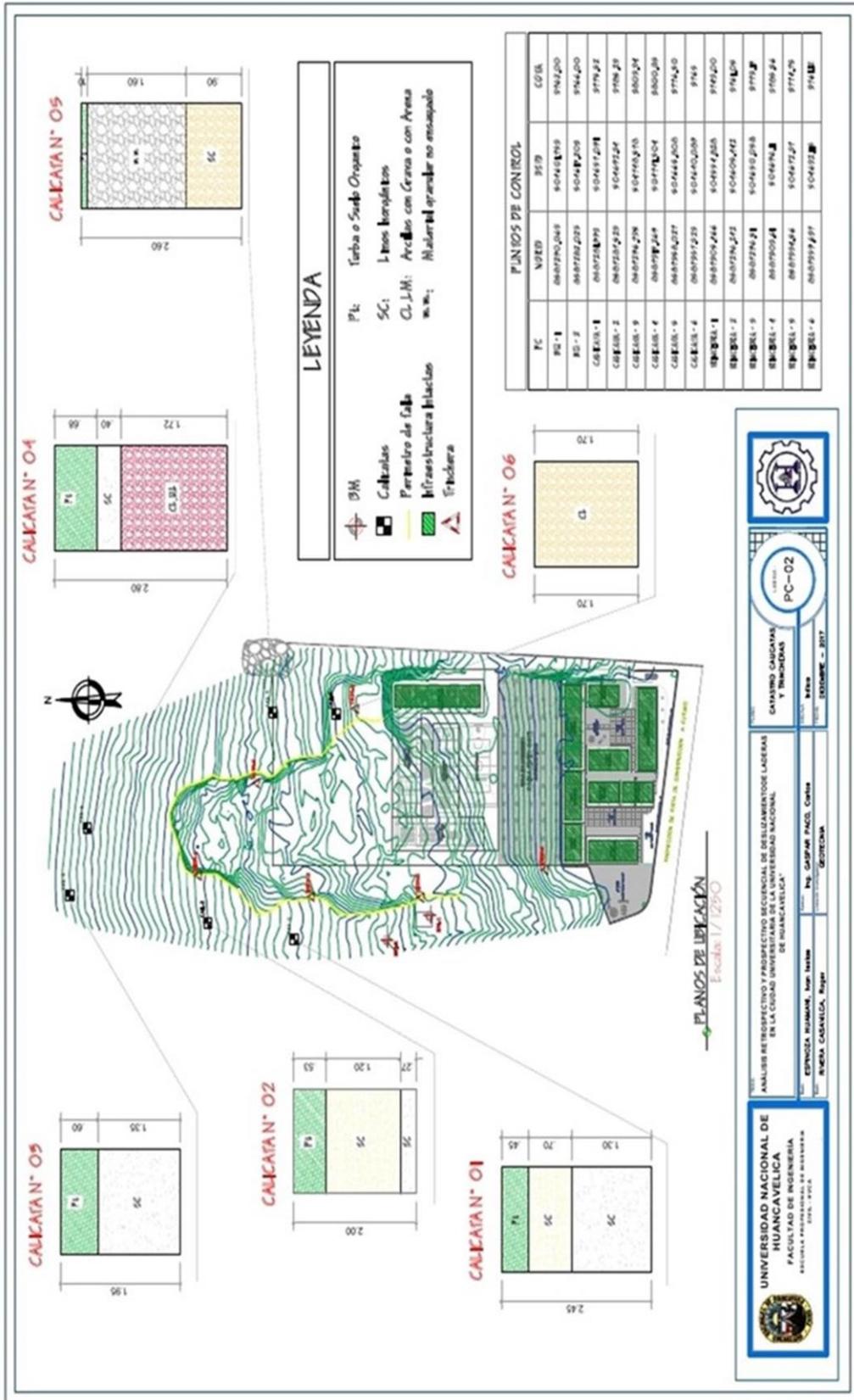
Plano 4. Perfiles posteriores al deslizamiento suscitado



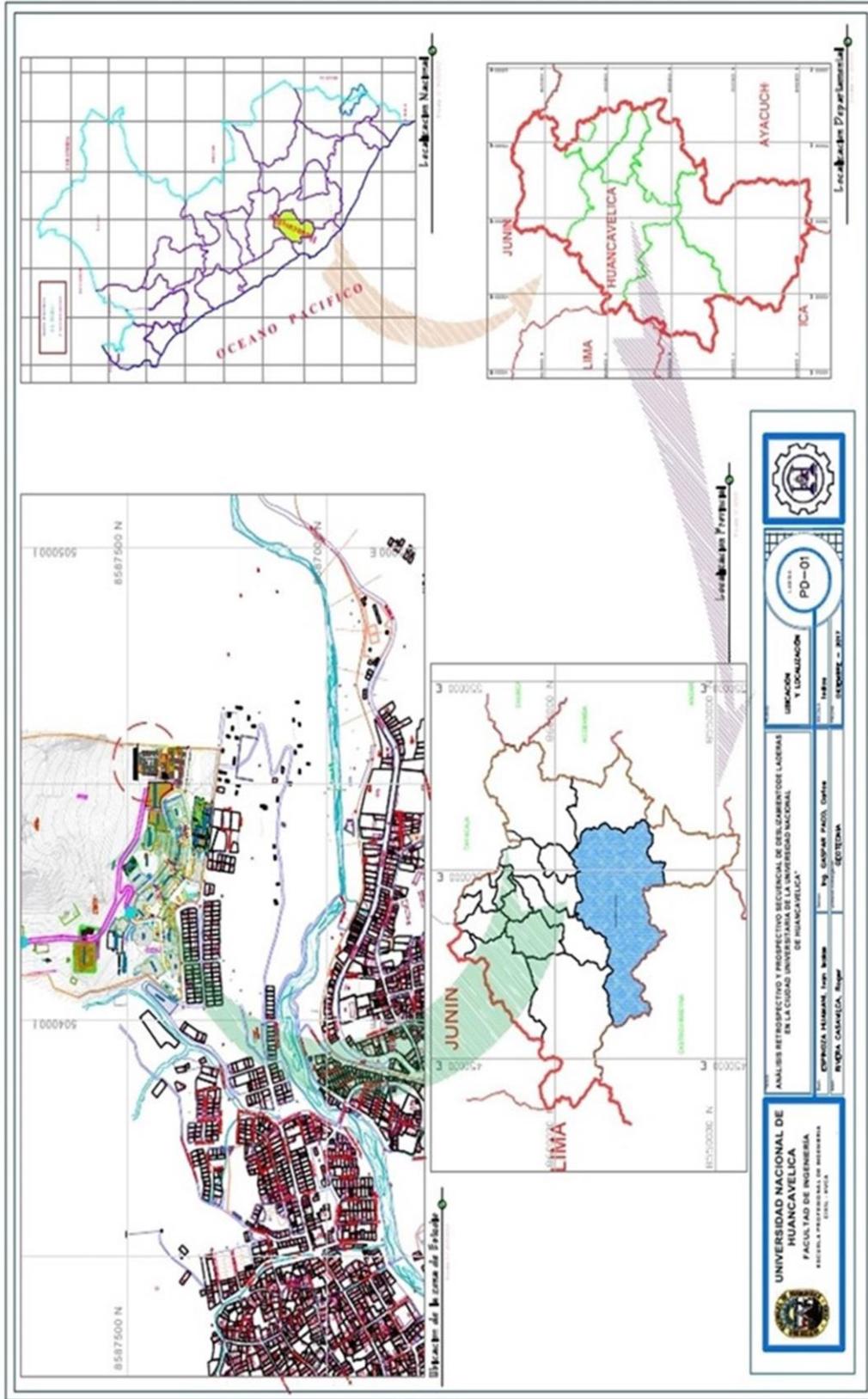
Plano 5. Perfiles estratigráficos importantes



Plano 6. Calicatas y trincheras



Plano 7. Localización y ubicación



INFORMACIÓN DEL AUTOR

Roger Rivera Casavilva



Ingeniero civil y contador público egresado de la Universidad Nacional de Huancavelica, maestro en ciencias de ingeniería, mención en ecología y gestión ambiental, segunda especialidad profesional en tecnologías de información y comunicación, estudios concluidos en la maestrías en ciencias empresariales mención en gestión pública, estudios concluidos en la maestrías en ciencias de la educación, mención en investigación y docencia superior y estudios concluidos del doctorado en ciencias de la educación en la Universidad Nacional de Huancavelica.

**Ivan Isaias Espinoza
Huamani**



Ingeniero Civil con CIP 221187, graduado de la Universidad Nacional de Huancavelica, además de haber egresado de la maestría en Ecología y Gestión Ambiental en la misma institución. Mi experiencia se centra en la consultoría y ejecución de proyectos en el ámbito de obras civiles, donde he tenido el privilegio de aplicar mis conocimientos para contribuir al éxito de diversas iniciativas.

**Javier Pablo Vargas
Martinez**



Ingeniero Civil con CIP 305501, bachiller en Ciencias de la Administración, Técnico en Computación e Informática, egresado en maestría de Gestión Ambiental y doctorado en Ciencias de la Educación, Docente universitario de la Universidad Nacional de Huancavelica.

Este libro se terminó de publicar en la editorial

**Instituto Universitario
de Innovación Ciencia y Tecnología Inudi Perú**



ISBN: 978-612-5130-13-6

