

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR  
FACULTAD DE HÁBITAT, INFRAESTRUCTURA Y CREATIVIDAD  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL



**PROYECTO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR**

“ANÁLISIS DEL NIVEL DE RIESGO ANTE MOVIMIENTO DE MASAS EN TALUDES A LO LARGO DEL CAUCE DEL RÍO MONJAS (ENTRE 783405.340E, 9992471.423N - 779577.366E, 9988643.033N) MEDIANTE AHP (ANALYTICAL HIERARCHY PROCESS)”.

**AUTOR**

DANIELA SALOMÉ SEMINARIO SALTOS  
NADIA VALENTINA ZEA REINOSO

**DIRECTOR**

ING. EDDY SÁNCHEZ

QUITO DM, ENERO DE 2026

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo a mis padres, Alicia Saltos y Agustín Seminario, quienes han luchado incansablemente por brindarme las mejores oportunidades y una educación de excelencia. Su apoyo incondicional ha sido el pilar de mi vida y en este logro se refleja cada una de sus enseñanzas; más que un mérito personal, este éxito les pertenece, pues sin su guía no habría sido posible llegar a esta meta. Este proyecto representa solo uno de los muchos triunfos que seguiré celebrando junto a ustedes.

De igual manera, dedico este trabajo a mi abuelita Lasteñita. Tuve la fortuna de que me acompañe durante gran parte de este camino y, aunque no pudo verme graduar, sé que desde el cielo me observa con el mismo amor de siempre.

Daniela Seminario.

## DEDICATORIA

A mi Amelita,  
quien, desde el amor, la paciencia y el ejemplo  
sigue acompañándome en cada paso de mi vida.  
Gracias por creer en mí incluso cuando yo dudaba;  
este logro también es suyo.

Nadia Zea.

## AGRADECIMIENTOS

A mis padres, por lo que han hecho y lo que han sacrificado para darme la vida que tengo, por su educación, valores, por el hogar que construyeron. Les agradezco profundamente por instarme siempre a perseguir mis capacidades y no la comodidad de lo sencillo, por ser honradas, humildes y una guía para todas las personas que han tenido la fortuna de tenerlos en su camino.

A mis tíos, Vero y Alex, por abrirme las puertas de su hogar con tanto cariño cuando dejé Cotacachi para iniciar mi carrera. Gracias por los consejos, por las risas, por oírme y regañarme cuando tuvieron que hacerlo. Haber contado con su apoyo desde el inicio de mi carrera y saber que sigo contando con ustedes es un regalo que llevo siempre conmigo.

Gracias a mi maestro Xavier Castellanos, por su apoyo incondicional, su preocupación constante y por brindarme mi primera oportunidad laboral; su ejemplo de integridad queda grabado no solo en mí, sino en la de todos quienes tuvimos la bendición de ser sus alumnos.

A mi mejor amiga, Erika, por ser una compañera y apoyo desde que nos conocimos en el colegio. A pesar de que la vida nos llevó por rumbos profesionales distintos y de que no han faltado los desacuerdos, no tengo palabras para expresar lo agradecida que estoy de tenerte conmigo. Gracias por ser mi confidente, por saber escucharme y aconsejarme con tanta honestidad; tu presencia, incluso a la distancia, fue el soporte que me permitió superar los momentos más críticos de estos cuatro años.

A compañeros y amigos de Hidroplan, por la calidez con la que me recibieron y por abrirme las puertas de su experiencia. Valoro inmensamente la disposición que han tenido para guiarme y por permitirme crecer profesionalmente. Gracias por la paciencia, por las enseñanzas diarias y por hacer sentir la oficina como un hogar.

A James, por ser un gran apoyo durante toda la carrera. Gracias por tu paciencia y por ser ese aliento necesario, especialmente durante este último semestre, donde tu compañía fue clave para no rendirme.

Finalmente, gracias a Nadia, mi roomie y compañera en esta tesis. Gracias por la paciencia, el cariño y todo lo que vivimos juntas. Aunque nuestros caminos tomen rumbos distintos ten la certeza de que siempre habrá un hogar esperándote y aquel espacio que, sin importar el tiempo o la distancia, llevará siempre tu nombre.

Daniela Seminario.

## AGRADECIMIENTOS

A mis padres, Diana y René, mi más profundo agradecimiento por su amor incondicional, su apoyo constante y por ser el pilar fundamental de mi formación personal y académica. Gracias por cada sacrificio, por la confianza que depositan en mí día a día y por acompañarme en cada etapa de este camino, incluso cuando las fuerzas parecían agotarse.

A mis hermanos, André y Mathías, gracias por su compañía y apoyo a lo largo de este proceso. A André, por su complicidad, por las risas, las bromas y por ser un refugio en mis momentos de desánimo; y a Mathías, quien con su corta edad y con su ternura llenó mis días de alegría y me recordó la importancia de seguir adelante con una sonrisa.

A mi familia, en especial a mis abuelitos René, Esther y Mario, y a mis tíos Javier, Marcela, Fernanda y Allison, gracias por su cariño incondicional, sus consejos y su apoyo constante. A Leo, por su presencia, su apoyo sincero y por ser un respaldo importante en este camino. La compañía de cada uno de ustedes y sus palabras han sido un sostén fundamental a lo largo de mi vida.

A mis amigos y compañeros de la carrera, gracias por su amistad sincera, por el apoyo mutuo y por todas las experiencias compartidas dentro y fuera de las aulas. Cada desvelo, cada reto y cada logro vivido junto a ustedes convirtieron este proceso en una etapa inolvidable que atesoraré siempre.

Un agradecimiento especial a mi tutor, el Ing. Eddy Sánchez, por su guía y disposición para compartir sus conocimientos durante el desarrollo de este trabajo.

Finalmente, agradezco con especial cariño a todos los docentes de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador que formaron parte de mi proceso académico. Gracias por

su dedicación, vocación y compromiso con la enseñanza, por compartir no solo sus conocimientos, sino también su experiencia y valores.

Nadia Zea.

## Tabla de contenidos

RESUMEN .....	17
ABSTRACT.....	18
Capítulo I. Generalidades.....	19
1.1.    Justificación .....	19
1.2.    Planteamiento del Problema .....	20
1.3.    Objetivos.....	21
1.3.1.  Objetivo General.....	21
1.3.2.  Objetivos Específicos.....	21
1.4.    Alcance .....	22
2.    Capítulo II. Marco Teórico y Referencial.....	22
2.1.    Conceptos Generales Sobre Estabilidad de Taludes.....	22
2.1.1.  Esfuerzos Efectivos.....	23
2.1.2.  Condición de Drenaje y Generación de Presiones Intersticiales .....	23
2.1.3.  Resistencia al Corte.....	24
2.2.    Antecedentes de Estudios en la Zona.....	24
2.3.    Factores Condicionantes y Detonantes de los Deslizamientos .....	26
2.4.    Variables de Análisis Consideradas en el Estudio.....	27
2.5.    Variables Geomorfológicas y Geotécnicas .....	27
2.5.1.  Altura del Talud — Unidad: m .....	27
2.5.2.  Pendiente del Talud — Unidad: ° .....	28
2.5.3.  Longitud del Talud — Unidad: m.....	28
2.5.4.  Litología — Unidad: SUCS.....	28
2.6.    Variables Estructurales y Antrópicas.....	33
2.6.1.  Distancia del Elemento Posiblemente Afectado a la Cresta del Talud — Unidad: m	33
2.6.2.  Carga de la Infraestructura en la Cresta del Talud — Unidad: Ton .....	34

2.7.	Variables Hidrológicas.....	34
2.7.1.	Distancia del Río a la Base del Talud — Unidad: m .....	35
2.7.2.	Caudal del Río — Unidad: m <sup>3</sup> /s.....	35
2.8.	Variables Socio - Territoriales .....	35
2.8.1.	Número de Elementos Posiblemente Afectados — Unidad: # .....	36
2.8.2.	Área de Protección Ecológica dentro del Predio — Unidad: m <sup>2</sup> .....	36
2.9.	Fundamentos Conceptuales del Riesgo .....	36
2.9.1.	Amenaza .....	37
2.9.2.	Exposición.....	37
2.9.3.	Peligro .....	37
2.9.4.	Susceptibilidad.....	37
2.9.5.	Vulnerabilidad.....	38
2.9.6.	Riesgo .....	38
2.10.	Proceso Analítico Jerárquico (AHP).....	39
2.10.1.	Fundamento Teórico del AHP .....	39
2.10.2.	Construcción de la Matriz de Comparación por Pares.....	39
2.10.3.	Normalización de la Matriz de Comparación .....	41
2.10.4.	Cálculo del Vector de Pesos .....	42
2.10.5.	Cálculo del Valor Propio Máximo ( $\lambda_{máx}$ ).....	42
2.10.6.	Índice de Consistencia (CI).....	43
2.10.7.	Índice de Consistencia Relativa (CR).....	43
2.11.	Sistemas de Información Geográfica (SIG) y Percepción Remota.....	44
2.11.1.	Sistemas de Información Geográfica (SIG).....	44
2.11.2.	Percepción Remota .....	45
3.	Capítulo III. Caracterización del Área de Estudio .....	45
3.1.	Localización y Delimitación del Tramo Analizado del Río Monjas .....	45
3.2.	Características Geomorfológicas y Geológicas del Sector .....	46

3.2.1.	Geomorfología General del Área.....	46
3.2.2.	Geología del Sector.....	46
3.3.	Características Hidrológicas y Climáticas del Sector .....	47
3.3.1.	Hidrología .....	47
3.3.2.	Clima.....	49
3.4.	Infraestructura y Ocupación del Suelo en el Entorno del Cauce .....	49
3.4.1.	Presión Urbana Sobre el Borde del Talud.....	51
4.	Capítulo IV. Metodología .....	53
4.1.	Enfoque General del Estudio .....	53
4.1.1.	Fase 1 .....	53
4.1.2.	Fase 2 .....	53
4.1.3.	Fase 3 .....	54
4.2.	Identificación y Descripción de Variables del Análisis Multicriterio .....	54
4.2.1.	Número de Elementos Posiblemente Afectados .....	56
4.2.2.	Distancia del Elemento Posiblemente Afectado a la Cresta del Talud...59	
4.2.3.	Carga de la Infraestructura en la Cresta del Talud.....	60
4.2.4.	Altura del Talud .....	61
4.2.5.	Pendiente del Talud.....	62
4.2.6.	Litología.....	64
4.2.7.	Distancia de la Base al Río .....	66
4.2.8.	Caudal del Río.....	67
4.2.9.	Longitud del Talud.....	68
4.2.10.	Área de Protección Ecológica dentro del Predio .....	68
4.3.	Obtención y Procesamiento de Datos en QGIS .....	69
4.3.1.	Número de Elementos Posiblemente Afectados .....	69
4.3.2.	Distancia del Elemento Posiblemente Afectado a la Cresta del Talud...71	
4.3.3.	Carga de la Infraestructura en la Cresta del Talud.....	72

4.3.4.	Altura del Talud .....	77
4.3.5.	Pendiente del Talud.....	78
4.3.6.	Litología.....	79
4.3.7.	Distancia del Río a la Base del Talud .....	80
4.3.8.	Caudal del Río.....	80
4.3.9.	Longitud del Talud.....	84
4.3.10.	Área de Protección Ecológica dentro del Predio .....	84
4.4.	Construcción de la Matriz de Comparación por Pares (AHP).....	85
4.5.	Determinación de Pesos de Criterios .....	87
4.6.	Verificación del Índice de Consistencia (CR) .....	88
4.7.	Validación de Resultados Mediante Inspección de Campo.....	89
4.7.1.	Levantamiento Fotogramétrico con Dron.....	89
5.	Capítulo V. Análisis de Resultados .....	90
5.1.	Presentación de Resultados.....	90
5.1.1.	Resultados del Análisis AHP y Pesos de las Variables .....	90
5.1.2.	Identificación de los Puntos con Mayor Riesgo de Deslizamiento.....	91
5.2.	Verificación de Resultados .....	94
5.2.1.	Resultados en la Observación de Campo.....	94
5.2.2.	Mapa de Riesgos .....	99
5.2.3.	Discusión de Resultados .....	100
6.	Capítulo VI. Conclusiones y Recomendaciones.....	102
6.1.	Conclusiones .....	102
6.2.	Recomendaciones .....	104
7.	Referencias Bibliográficas .....	106
8.	Anexos .....	114
	Anexo A. <i>Fichas de calificación correspondientes a los 114 taludes</i> .....	114
	Anexo B. <i>Ensayos de laboratorio para clasificación SUCS</i> .....	117

Anexo C. <i>Resultados de clasificación de suelos mediante el SUCS</i> .....	119
Anexo D. <i>Fotografía del dron DJI Phantom 4 Pro</i> .....	121
Anexo E. <i>Polígonos delimitados en Map Pilot para obtención de la fotogrametría</i> .....	122
Anexo F. <i>Ortofotos y curvas de nivel del talud No. 73</i> .....	123
Anexo G. <i>Deslizamientos presenciados en el talud No.15</i> .....	125

## Índice de figuras

<b>Figura 1</b> <i>Confluencia de la quebrada Carretas con el tramo analizado del río Monjas</i> .....	48
<b>Figura 2</b> <i>Canal cuadrado cubierto que descarga directamente en el río Monjas</i> .....	48
<b>Figura 3</b> <i>Canal abierto de sección rectangular que descarga en el río Monjas</i> .....	49
<b>Figura 4</b> <i>Mapa de uso de suelo y edificabilidad</i> .....	50
<b>Figura 5</b> <i>Viviendas construidas sobre taludes del río Monjas sin respetar la franja de protección</i> .....	52
<b>Figura 6</b> <i>Ejemplos típicos de fallas de taludes según la categoría de riesgo para la vida</i> ....	57
<b>Figura 7</b> <i>Ejemplos típicos de fallas de taludes según la categoría de riesgo para la economía</i> .....	57
<b>Figura 8</b> <i>Intervalos de vulnerabilidad para la evaluación de riesgo</i> .....	58
<b>Figura 9</b> <i>Categorización propuesta del terreno en función de la pendiente</i> .....	63
<b>Figura 10</b> <i>Valores típicos de coeficientes de permeabilidad en suelos saturados</i> .....	65
<b>Figura 11</b> <i>Obtención del número de elementos posiblemente afectados</i> .....	70
<b>Figura 12</b> <i>Obtención de la distancia del elemento posiblemente afectado a la cresta del talud</i> .....	72
<b>Figura 13</b> <i>Obtención de la carga de la infraestructura en la cresta del talud</i> .....	77
<b>Figura 14</b> <i>Obtención de la altura del talud</i> .....	78
<b>Figura 15</b> <i>Obtención de la distancia del río a la base del talud</i> .....	80
<b>Figura 16</b> <i>Caudales para un periodo de retorno de 100 años en cuencas tributarias del río Monjas</i> .....	81
<b>Figura 17</b> <i>Cuencas aportantes del río Monjas</i> .....	82
<b>Figura 18</b> <i>Curva de regresión polinómica para estimación del caudal</i> .....	83
<b>Figura 19</b> <i>Obtención del área de protección ecológica dentro del predio</i> .....	85
<b>Figura 20</b> <i>Matriz de Comparación por pares de los 10 criterios</i> .....	87

<b>Figura 21</b> <i>Resultados de la normalización de la matriz</i> .....	87
<b>Figura 22</b> <i>Índice de Riesgo por Deslizamiento (LRI) correspondiente a los 114 taludes analizados</i> .....	91
<b>Figura 23</b> <i>Representación cartográfica del talud No. 73</i> .....	92
<b>Figura 24</b> <i>Representación cartográfica del talud No. 15</i> .....	93
<b>Figura 25</b> <i>Índices de Riesgo por Deslizamiento tras corrección de datos</i> .....	96
<b>Figura 26</b> <i>Modificaciones efectuadas en el trazado</i> .....	97
<b>Figura 27</b> <i>Mapa de riesgo por deslizamiento</i> .....	100

## Índice de tablas

<b>Tabla 1</b> <i>Símbolos y descripción del Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS)</i> .30	.30
<b>Tabla 2</b> <i>Interpretación de la escala de Saaty</i> .....40	40
<b>Tabla 3</b> <i>Índice Aleatorio</i> .....43	43
<b>Tabla 4</b> <i>Variables consideradas en el análisis de riesgo por deslizamiento</i> .....55	55
<b>Tabla 5</b> <i>Categorización para el número de elementos posiblemente afectados</i> .....58	58
<b>Tabla 6</b> <i>Áreas de protección de taludes y quebradas</i> .....59	59
<b>Tabla 7</b> <i>Categorización de la distancia del elemento posiblemente afectado a la cresta del talud</i> .....60	60
<b>Tabla 8</b> <i>Categorización de la carga de la infraestructura en la cresta del talud</i> .....61	61
<b>Tabla 9</b> <i>Altura del talud</i> .....62	62
<b>Tabla 10</b> <i>Clasificación del relieve en función de la pendiente</i> .....62	62
<b>Tabla 11</b> <i>Categorización de la pendiente del talud</i> .....63	63
<b>Tabla 12</b> <i>Clasificación de la litología</i> .....64	64
<b>Tabla 13</b> <i>Categorización de la distancia del río a la base del talud</i> .....67	67
<b>Tabla 14</b> <i>Categorización del caudal del río</i> .....68	68
<b>Tabla 15</b> <i>Categorización de la longitud del talud</i> .....68	68
<b>Tabla 16</b> <i>Categorización del área de protección ecológica dentro del predio</i> .....69	69
<b>Tabla 17</b> <i>Peso aproximado por metro cuadrado de vigas</i> .....73	73
<b>Tabla 18</b> <i>Cálculo del peso aproximado por metro cuadrado de columnas</i> .....74	74
<b>Tabla 19</b> <i>Cálculo del peso aproximado por metro cuadrado de losa alivianada y bovedillas</i> .....74	74
<b>Tabla 20</b> <i>Estimación de la carga muerta</i> .....75	75
<b>Tabla 21</b> <i>Cargas mayoradas</i> .....75	75
<b>Tabla 22</b> <i>Distribución de viviendas según el número de pisos</i> .....76	76

<b>Tabla 23</b> <i>Síntesis de los caudales representativos para el estudio</i> .....	81
<b>Tabla 24</b> <i>Distribución de las cuencas tributarias según la distancia acumulada</i> .....	83
<b>Tabla 25</b> <i>Determinación de relevancia conforme a criterios técnicos</i> .....	86
<b>Tabla 26</b> <i>Pesos de cada variable</i> .....	88
<b>Tabla 27</b> <i>Ficha de calificación preliminar del talud No. 73</i> .....	93
<b>Tabla 28</b> <i>Ficha de calificación preliminar del talud No. 15</i> .....	94
<b>Tabla 29</b> <i>Ficha de calificación ajustada del talud No. 73</i> .....	98
<b>Tabla 30</b> <i>Ficha de calificación ajustada del talud No. 15</i> .....	98

## RESUMEN

El presente trabajo evalúa el nivel de riesgo por movimientos de masa en los taludes del cauce del río Monjas, en un tramo de 7.18 km localizado en el Distrito Metropolitano de Quito. El área de estudio presenta una compleja dinámica geomorfológica y un crecimiento urbano acelerado que ha vulnerado los límites de protección definidos en los instrumentos de planificación territorial.

Para abordar esta problemática, la investigación propone un análisis fundamentado en el Proceso de Análisis Jerárquico (AHP) e integrado a Sistemas de Información Geográfica (SIG). Esta metodología permite cuantificar el riesgo mediante la ponderación de diez variables geomorfológicas, hidrológicas, estructurales y socio-territoriales. El estudio se complementa con la validación de datos en campo y levantamientos fotogramétricos con dron, asegurando una caracterización técnica precisa que sirva como base para la planificación territorial y la futura implementación de medidas de mitigación y gestión de riesgos en la zona.

**Palabras clave:** Riesgo de deslizamiento, río Monjas, Proceso de Análisis Jerárquico (AHP), estabilidad de taludes, vulnerabilidad social, fotogrametría.

## ABSTRACT

This project evaluates the risk level of mass movements on the slopes of the Monjas river channel, along a 7.18 km section within the Metropolitan District of Quito. The study area is characterized by complex geomorphological dynamics and accelerated urban growth that has disregarded the protection limits defined in territorial planning instruments.

To address this issue, the research proposes an analysis based on the Analytic Hierarchy Process (AHP) coupled with Geographic Information Systems (GIS). This methodology allows for the quantification of risk by weighing ten geomorphological, hydrological, structural, and socio-territorial variables. The study is complemented by field data validation and drone-based photogrammetric surveys, ensuring an accurate technical characterization that serves as a foundation for territorial planning and the future implementation of risk management and mitigation measures in the area.

**Keywords:** Landslide risk, Monjas river, Analytic Hierarchy Process (AHP), slope stability, social vulnerability, Photogrammetry.

## Capítulo I. Generalidades

### 1.1. Justificación

La estabilidad de taludes representa un factor crítico en la ingeniería civil, especialmente en zonas urbanas donde coinciden factores antrópicos, como la expansión urbana sin planificación y la construcción informal (Cabrera, 2021), junto con características del entorno, como las propiedades del suelo, el régimen de precipitaciones y el relieve, que favorecen la ocurrencia de movimientos de masa (Albarracín & Aucay, 2024). En Ecuador, los deslizamientos de tierra constituyen una amenaza recurrente debido a su topografía montañosa y a las condiciones hidrológicas que generan abundantes precipitaciones; a ello se suma el riesgo sísmico derivado de la ubicación del país en una zona de alta actividad sísmica (Clavijo & Malavé, 2020).

En el presente proyecto se emplea el Proceso de Análisis Jerárquico (AHP), metodología adecuada para categorizar problemas complejos mediante comparación de pares (Vargas, 1990), con la cual se ponderaron variables geomorfológicas, geotécnicas, hidrológicas y socio territoriales. El análisis se apoya en QGIS para la obtención, procesamiento y representación cartográfica de datos, ofreciendo un procedimiento claro y transparente en la asignación de pesos. Los resultados se verifican mediante inspección de campo, lo que permite contrastar las calificaciones iniciales con las observaciones directas en el terreno.

El estudio tiene como propósito evaluar el riesgo por deslizamientos en los taludes a lo largo del cauce del río Monjas desde la coordenada UTM (783405.340E, 9992471.423N) hasta la coordenada (779577.366E, 9988643.033N); siendo en total 7.178 km de tramo analizado, mediante el método AHP y herramientas SIG, considerando las condiciones físicas y de ocupación del suelo. Los resultados, verificados en campo, permitirán identificar las

zonas más vulnerables y proponer recomendaciones técnicas para la prevención y gestión del riesgo, aportando información valiosa para la planificación territorial y la protección de la población e infraestructuras.

## **1.2. Planteamiento del Problema**

El problema principal del cauce del río Monjas es su alto riesgo a deslizamientos de taludes debido a condiciones complejas de origen natural, como la acción erosiva en la base de los taludes por acción del agua, pendientes críticas que en algunos tramos llegan a ser casi verticales y litología compuesta principalmente por suelos arenosos e inestables (Cabrera, 2021). Lo mencionado anteriormente se agrava por la incidencia de factores antrópicos como la construcción de viviendas e infraestructuras dentro de las áreas de protección de taludes establecidas por el Distrito Metropolitano de Quito (2024) a través de la Ordenanza Metropolitana No. 072-2024, lo que provoca una sobrecarga estática y altera el estado natural del suelo.

Esta situación eleva el grado de vulnerabilidad, exponiendo a la población a consecuencias graves como afectaciones a viviendas, vías e incluso a su integridad personal como ya se ha evidenciado en eventos registrados por el Servicio Nacional de Gestión de Riesgos y Emergencias [SNGRE], 2020.

Ante la falta de estudios y planes de gestión integrales se requiere profundizar en el análisis de los deslizamientos asociados a la actividad fluvial (Aguirre Paladines, 2023). Por ello, se plantea la necesidad de aplicar metodologías multicriterio, como el Análisis Jerárquico de Proceso (AHP), herramienta que ha demostrado ser robusta y fiable en contextos geográficos similares en Ecuador (Cargua et al., 2024). Este método permite integrar variables

geomorfológicas, hidrológicas, estructurales, antrópicas y socio-territoriales para evaluar de manera cuantitativa y cualitativa el riesgo en los taludes del río Monjas.

### **1.3. Objetivos**

#### ***1.3.1. Objetivo General***

Evaluar el nivel de riesgo ante deslizamiento de taludes en el cauce del río Monjas, específicamente en el tramo comprendido entre las coordenadas UTM (783405.340E, 9992471.423N) y (779577.366E, 9988643.033N), mediante la aplicación del método AHP (Analytic Hierarchy Process) en conjunto con herramientas de Sistemas de Información Geográfica (SIG), imágenes satelitales obtenidas mediante Google Earth Pro y el análisis de fuentes de información secundaria.

#### ***1.3.2. Objetivos Específicos***

- Establecer el contexto, la relevancia y los fundamentos del problema de deslizamientos en el río Monjas, delimitando los objetivos y el alcance del estudio.
- Analizar los conceptos, antecedentes y factores que influyen en la estabilidad de taludes para la identificación de las variables críticas a considerar en el análisis multicriterio.
- Caracterizar las condiciones geomorfológicas, geológicas, hidrológicas, climáticas y de ocupación del suelo en el tramo analizado de estudio.
- Aplicar la metodología del Análisis Multicriterio (AHP) apoyada en herramientas SIG, para establecer la ponderación de variables y el procedimiento de evaluación del riesgo de deslizamientos.
- Interpretar los resultados del análisis AHP y la verificación en campo, con el fin de identificar y representar cartográficamente los taludes con mayor nivel de riesgo y representarlos cartográficamente.

- Sintetizar los hallazgos principales del estudio y proponer recomendaciones técnicas y de gestión orientadas a la prevención del riesgo en el cauce del río Monjas.

#### **1.4. Alcance**

El presente estudio se limita a evaluar el nivel de riesgo por deslizamientos en los taludes del cauce del río Monjas, específicamente en el tramo comprendido entre las coordenadas UTM (783405.340E, 9992471.423N) y (779577.366E, 9988643.033N). El propósito es identificar los taludes que representan mayor peligro, considerando factores geotécnicos, hidrológicos, geomorfológicos, estructurales y antrópicos. La información se obtiene de fuentes secundarias y del procesamiento en softwares especializado como QGIS, verificando los resultados mediante observaciones de campo. Cabe precisar que este trabajo no contempla el diseño ni la implementación de medidas de estabilización o mitigación.

## **2. Capítulo II. Marco Teórico y Referencial**

### **2.1. Conceptos Generales Sobre Estabilidad de Taludes**

Un talud se define como una superficie inclinada del terreno, ya sea natural o artificial. Según Duncan, Wright, & Brandon (2014), la estabilidad de un talud viene dada por la resistencia del material y su configuración geométrica la cual se ve afectada ante cambios en las condiciones de carga.

Geométricamente, un talud se compone de tres partes: la cresta que corresponde al punto superior o límite entre la superficie estable y la pendiente, la base o pie del talud que es el punto inferior del talud y la superficie de falla que se define como la zona donde podría producirse el deslizamiento de masa (Duncan et al., 2014).

Sin embargo, la geometría no es el único factor determinante; la estabilidad del talud depende de la interacción entre las fuerzas desestabilizadoras, derivadas principalmente del

peso del material y la pendiente, y las fuerzas resistentes del terreno. González de Vallejo et al. (2002) afirman que este equilibrio está influenciado por la geología, hidrogeología y geotecnia del sitio. Por lo tanto, para evaluar el comportamiento mecánico del talud ante cambios en las condiciones de carga, es indispensable analizar como la presencia de agua y la velocidad de aplicación de las cargas modifican el estado de tensión interno. Esto implica entender los tres fundamentos particulares de la geomecánica que explican el principio de tensión efectiva, las condiciones de drenaje y la resistencia al corte.

### ***2.1.1. Esfuerzos Efectivos***

El fundamento para comprender el comportamiento mecánico de los suelos es el principio de tensión efectiva postulado por Terzaghi et al. (1996). Este principio establece que, en un medio poroso saturado, la tensión total  $\sigma$  se divide en dos componentes, la presión intersticial o neutra  $u$  que actúa sobre el agua en todas las direcciones con igual intensidad, y la tensión efectiva  $\sigma'$ , que representa la presión transmitida exclusivamente entre las partículas sólidas del suelo.

La relación fundamental de dicho postulado se expresa en la Ecuación 1.

$$\sigma' = \sigma - u \quad (1)$$

Es crucial comprender que cualquier cambio medible en el suelo es producto de las variaciones en los esfuerzos efectivos, mas no en los esfuerzos totales. Asimismo, el agua no soporta esfuerzos cortantes, por lo que estos son absorbidos íntegramente por la estructura del suelo.

### ***2.1.2. Condición de Drenaje y Generación de Presiones Intersticiales***

La distinción entre condiciones drenadas y no drenadas depende de la relación entre la velocidad de aplicación de cargas y la permeabilidad del material.

- **Condición No Drenada:** Ocurre cuando la carga se aplica rápidamente en suelos de baja permeabilidad, como las arcillas, lo que impide la evacuación del agua de los poros. Como el agua no se comprime y el volumen no cambia inmediatamente, el incremento de carga se transmite al fluido y genera un exceso de presión intersticial sin aumentar la tensión efectiva (Terzaghi et al., 1996).
- **Condición Drenada:** Se produce cuando el agua logra salir de los poros, fenómeno común en suelos arenosos o en procesos de carga lenta en arcillas, lo que permite que el exceso de presión intersticial se disipe y la carga esté soportada por la estructura sólida del suelo (Terzaghi et al., 1996).

### 2.1.3. Resistencia al Corte

La resistencia al corte es la propiedad que permite al suelo mantener su estabilidad y soportar cargas sin sufrir roturas, siendo esta consecuencia directa de los esfuerzos efectivos y las condiciones de drenaje. El criterio más común para definir esta resistencia es el de Mohr-Coulomb, el cual relaciona el esfuerzo cortante  $\tau$  con el esfuerzo normal efectivo en el plano de falla y se expresa como indica la Ecuación 2.

$$\tau = c' + \sigma' \tan (\varphi') \quad (2)$$

Donde  $c'$  es la cohesión efectiva y  $\varphi''$  corresponde al ángulo de fricción efectiva.

## 2.2. Antecedentes de Estudios en la Zona

El río Monjas ha sido objeto de varios estudios en los que se evidencia la compleja geomorfología e hidrología del sector, así como el suceso recurrente de procesos de inestabilidad en los taludes. Los proyectos desarrollados en esta área facilitan la comprensión de la dinámica fluvial, los mecanismos de erosión, la evolución del cauce y los factores que

contribuyen en la ocurrencia de movimientos de masa. Esta información es indispensable para la gestión del riesgo y la planificación territorial, además de sustentar el desarrollo de soluciones técnicas para la estabilidad de taludes de la zona.

Según el Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional (IGEPN, 2016), el Distrito Metropolitano presenta más de 200 eventos documentados de deslizamientos, muchos de los cuales se concentran en los barrios del norte de la ciudad. Estos registros incluyen zonas circundantes al tramo urbano del río Monjas, lo que corrobora que el sector presenta un historial documentado de inestabilidad en sus taludes.

Aguirre Paladines (2023) realizó un análisis en el tiempo que relaciona la incidencia de la dinámica fluvial en el río Monjas con el aumento de la erosión lateral del cauce, fenómeno que incrementa la energía del flujo y provoca eventos recurrentes de deslizamientos de taludes. Respecto a los procesos vinculados con la dinámica fluvial, este estudio identifica que los tramos con depósitos coluviales y aluviales poco consolidados son susceptibles a la pérdida de soporte y a deslizamientos repetidos.

Hen-Jones et al. (2025) explican que la expansión de zonas urbanas a áreas donde existen quebradas con pendientes pronunciadas ha elevado la inestabilidad en los taludes de la ciudad. Los autores mencionan que factores como la litología y la sobrecarga provocada por asentamientos irregulares generan condiciones propicias para la ocurrencia de movimientos de masa. Este trabajo representa un antecedente importante, ya que demuestra cómo el crecimiento urbano, formal o informal ha aumentado la carga en taludes dentro de la ciudad. Dicha información concuerda con los informes técnicos elaborados por el Municipio del Distrito Metropolitano de Quito (2019), institución que ha generado mapas de habitabilidad del suelo donde se definen a los taludes como zonas de protección con un índice de condición de uso de suelo y edificabilidad de cero pues define como zonas inestables a

sectores cercanos a crestas de quebradas y sus riberas recalcando la necesidad de estudios detallados para evitar un alto impacto ambiental y a su vez asegurar que las estructuras que vayan a levantarse no corran ningún tipo de riesgo.

Finalmente, se encontraron similitudes con el análisis de Puente Sotomayor et al. (2021), quienes señalan que las zonas con fuertes pendientes, suelos volcánicos poco consolidados, proximidad a cauces y modificaciones antrópicas del terreno presentan un alto riesgo ante deslizamientos. El estudio muestra que la morfología del relieve y la dinámica hídrica juegan un papel determinante en la estabilidad, condiciones que guardan relación directa con las condiciones presentes en las laderas del río Monjas.

### **2.3. Factores Condicionantes y Detonantes de los Deslizamientos**

La ocurrencia de deslizamientos está influenciada por dos grupos de factores. En primer lugar, tenemos a aquellos denominados condicionantes o pasivos, los cuales corresponden a las características intrínsecas del terreno, como su naturaleza, composición, forma y estructura (Cobos & Lima, 2019). Estos factores no provocan directamente el deslizamiento, pero influyen en la inestabilidad ante la presencia de agentes externos. Aspectos como la pendiente, geometría del relieve, litología y propiedades geomecánicas forman parte de este grupo e influyen en la distribución de esfuerzos y en la carga que soporta el terreno, así como en la respuesta del suelo frente a procesos de saturación o deformación.

Por otro lado, los factores detonantes o activos constituyen a las acciones externas que modifican la estabilidad inicial de los taludes y desencadenan el deslizamiento. Estos factores no solo provocan el inicio del movimiento, sino que también influyen en su magnitud y velocidad (Clavijo & Malavé, 2020). Entre los más relevantes se encuentran las

precipitaciones y aplicación de cargas estáticas o dinámicas las cuales debilitan la estructura y favorecen procesos de colapso progresivo (González de Vallejo et al., 2002).

#### **2.4. Variables de Análisis Consideradas en el Estudio**

Para determinar el riesgo ante deslizamientos en los taludes que conforman el cauce del río Monjas se estableció un conjunto de diez variables que integran aspectos físicos, geomorfológicos, hidrológicos y antrópicos característicos de la zona de estudio. La selección de dichas variables busca reflejar todos estos aspectos y proporcionar una base robusta para la aplicación del modelo multicriterio AHP, lo que permite evaluar el riesgo de forma metodológica y fundamentada a partir de condiciones reales observadas en el terreno.

#### **2.5. Variables Geomorfológicas y Geotécnicas**

Los factores geomorfológicos más influyentes son la pendiente, la altura y la longitud del talud. Una mayor inclinación aumenta la tendencia del suelo a desplazarse cuesta abajo debido a su propio peso, mientras que la altura y la longitud condicionan el volumen de material que se movilizará en caso de un posible deslizamiento (Duncan et al., 2014).

Por otro lado, los factores geotécnicos agrupan las propiedades del suelo o roca que determinan su resistencia al corte representados en este estudio mediante la variable litología.

##### **2.5.1. *Altura del Talud — Unidad: m***

La altura del talud es un parámetro geomorfológico que influye directamente en el tamaño potencial de la superficie de falla. Según Cobos y Lima (2019), taludes con alturas significativamente altas tienden a desarrollar fallas profundas debido a la mayor masa de suelo involucrada en el proceso de movimiento. En la cuenca del río Monjas, informes técnicos del Municipio DMQ (2019) indican la presencia de taludes que superan los 20 a 30 metros de altura, factor que incrementa del nivel de riesgo.

### **2.5.2. Pendiente del Talud — Unidad: °**

La inclinación del talud es uno de los factores más influyentes en la estabilidad. Pendientes pronunciadas aumentan las componentes de fuerza deslizando, entendida como el peso del suelo que tiende a moverse pendiente abajo, y reducen la resistencia disponible del suelo, que corresponde a la capacidad del material para oponerse al movimiento. Estas condiciones generan escenarios propicios para fallas superficiales y profundas. Según Duncan et al. (2014), el ángulo del talud controla en gran medida la relación entre los esfuerzos actuantes, que son las fuerzas que intentan provocar el deslizamiento, y la resistencia al corte, que es la capacidad del suelo para resistir dicho deslizamiento a lo largo de una superficie potencial de falla.

### **2.5.3. Longitud del Talud — Unidad: m**

Según Cobos y Lima (2019), taludes extensos pueden desarrollar fallas y deslizamientos de gran magnitud debido a variaciones geomorfológicas a lo largo del perfil. En la cuenca del río Monjas, los procesos fluviales han generado que grandes zonas de taludes presenten erosión continua en las crestas.

### **2.5.4. Litología — Unidad: SUCS**

La litología es una variable definida mediante la clasificación Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS), puesto a que permite diferenciar los suelos según su composición granulométrica y su plasticidad, lo que permite evaluar de manera más precisa su comportamiento frente a cargas estructurales, variaciones en su contenido de humedad y acciones antrópicas. Fuentes secundarias y ensayos de laboratorio realizados en los taludes del río Monjas indican que los materiales predominantes corresponden a suelos tipo SM

(arenas limosas), que se caracteriza por tener una estructura granular media a gruesa, humedad baja y plasticidad nula (HIDROPLAN, 2025).

La identificación litológica es fundamental para comprender las propiedades físicas y mecánicas que condicionan el comportamiento de los suelos. A continuación, se detalla la teoría relacionada con la clasificación SUCS como marco de referencia para la interpretación de los ensayos realizados.

#### **2.5.4.1. Determinación Litológica.**

##### **2.5.4.1.1. Clasificación del Suelo.**

Se puede encontrar una diversa clasificación de suelos dependiendo de la profundidad, el lugar en donde se encuentren, origen geológico, composición granulométrica, contenido orgánico y grado de plasticidad. Para facilitar la clasificación de estos, se emplea principalmente el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) (Aguilar, Figueras, & Quezada, 2014). El Sistema SUCS se fundamenta en el análisis granulométrico del suelo, así como en los límites de Atterberg en caso de existir material fino (Narsilio & Santamaria, 2008).

Este sistema clasifica los suelos mediante prefijos, generalmente de dos letras: la primera indica si la granulometría es fina o gruesa, mientras que la segunda hace referencia a propiedades como la plasticidad (Aguilar, Figueras y Quezada, 2014). A partir de este criterio, los suelos se agrupan en cinco clases principales, identificadas por los siguientes prefijos: gravas (G), arenas (S), arcillas (C), limos (M) y material orgánico (O).

El proceso incluye un análisis granulométrico, mediante el cual los suelos se diferencian como finos o gruesos. En el caso de los suelos finos, se realizan ensayos conforme a la normativa ASTM, los cuales permiten determinar los límites de consistencia

del suelo, específicamente el límite líquido y el límite plástico (Civil Jungle, s.f.). Con base en estos resultados, se emplea la carta de plasticidad para su clasificación.

La Tabla 1 sintetiza los conceptos fundamentales necesarios para la categorización de los suelos según sus características granulométricas y de plasticidad.

**Tabla 1**

*Símbolos y descripción del Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS)*

<b>Unidad</b>	<b>Símbolo</b>	<b>Descripción</b>	<b>Traducción</b>
<b>Primarios</b>	G	Gravel	Grava
	S	Sand	Arena
	M	Silt	Limo
	C	Clay	Arcilla
	O	Organic	Orgánico
	Pt	Peat	Turba
	<b>Secundarios</b>	W	Well Graded
P		Poorly Graded	Mal Gradado
M		Non Plastic Fines	Finos no Plásticos
C		Plastic Fines	Finos Plásticos
L		Low Plasticity	Baja Plasticidad
H		High Plasticity	Alta Plasticidad

*Nota.* Adaptado de Unified Soil Classification System (USCS), por Civil Jungle, 2024, disponible en <https://civiljungle.org/unified-soil-classification-system/>

#### **2.5.4.1.2. Ensayos de Laboratorio Para la Clasificación de Suelos.**

Para la caracterización y clasificación del suelo se requiere la ejecución ensayos de laboratorio. Estos ensayos permiten identificar las propiedades físicas fundamentales del suelo y establecer su comportamiento geotécnico.

#### **2.5.4.1.2.1. Granulometría.**

El ensayo de granulometría se realiza mediante tamizado y determina el tamaño de las partículas de suelo mediante su paso a través de una serie de tamices que están ordenados de manera decreciente. En este estudio, el ensayo se realizó a partir del tamiz de ½” aunque el material no superó 3/8" (9.5 mm), lo cual permitió identificar la proporción de gravas y arenas presentes en las muestras analizadas (ASTM International, 2017).

El procedimiento se ejecutó de acuerdo con la norma ASTM D6913/D6913M que establece el método estándar para el análisis granulométrico de suelos.

#### **2.5.4.1.2.2. Contenido de Humedad.**

El ensayo de contenido de humedad natural determina la cantidad de agua presente en el suelo en su estado natural, expresada como un porcentaje del peso seco. La determinación se efectúa mediante el secado de la muestra en horno a temperatura controlada hasta alcanzar masa constante (ASTM International, 2017). Este parámetro es clave para interpretar el estado del suelo en campo, ya que influye directamente en su resistencia, compresibilidad y estabilidad, especialmente en suelos finos y cohesivos. El procedimiento del ensayo se basa en la norma ASTM D2216.

#### **2.5.4.1.2.3. Límites de Atterberg.**

La determinación del límite líquido se utiliza la copa de Casagrande y define la humedad en la cual un suelo transita del estado plástico al estado líquido. Este ensayo es aplicable a suelos finos y proporciona información sobre su plasticidad. El límite líquido, junto con el límite plástico, permite calcular el índice de plasticidad, parámetro fundamental para la clasificación del suelo (ASTM International, 2017) . La ejecución se lleva a cabo siguiendo la norma ASTM D4318.

El límite líquido se define como el contenido de humedad expresado como porcentaje en peso seco, en el que el suelo pasa de un estado plástico a un estado semilíquido. En la normativa ASTM (2017) se define como el contenido de humedad correspondiente al punto en que una ranura de 12.7 mm de ancho realizada en una pasta de suelo se cierra por una distancia de 13 mm cuando se somete a 25 golpes en la copa de Casagrande.

El límite plástico, en cambio, es el contenido de humedad en el que un suelo comienza a desmoronarse o a agrietarse al ser moldeado en hilos de aproximadamente 3 mm de diámetro (ASTM International, 2017).

El índice de plasticidad se define como la diferencia entre el límite líquido y el límite plástico (Ecuación 3).

$$IP = LL - LP \quad (3)$$

Para obtener el límite líquido, se selecciona una muestra representativa de suelo fino, se somete a secado y se tamiza por la malla de 0.425 mm (Número 40). Luego, se va añadiendo agua gradualmente hasta obtener una pasta homogénea. La pasta se coloca en la copa de Casagrande, se nivela y se le realiza un corte de 12.7 mm de ancho. Se enciende la copa que mediante la repetición de golpes el surco se cierre una distancia de 13 mm, se registra el número de golpes registrados en la copa y se toma muestras para hallar el contenido de humedad correspondiente. Este procedimiento se repite tres veces para distintos contenidos de humedad, con lo cual se construye la curva de humedad versus número de golpes. El límite líquido (LL) se determina como el contenido de humedad correspondiente a 25 golpes, obtenido por interpolación en la curva (ASTM International, 2017).

## 2.6. Variables Estructurales y Antrópicas

Dentro de las variables estructurales consideradas en el análisis de los taludes del río Monjas se incorpora la evaluación de las condiciones físicas del terreno y de las intervenciones humanas que pueden influir en su comportamiento. Estas variables permiten comprender cómo un fenómeno potencialmente dañino puede generar distintos niveles de afectación en función de las características del medio y de los elementos expuestos. En este contexto, la carga aplicada en la cresta del talud constituye un aspecto clave, ya que la incorporación de edificaciones, vías u otro tipo de infraestructuras incrementa las acciones que actúan sobre el suelo. Asimismo, factores como los asentamientos ilegales y la falta de planificación urbana pueden intensificar estas acciones hasta comprometer la estabilidad de toda la masa de suelo.

Las variables analizadas están determinadas principalmente por factores físicos, como la pendiente del terreno, la litología y la socavación; sin embargo, el grado de impacto que estos generan depende en gran medida de las características sociales, económicas y constructivas de las poblaciones asentadas en las zonas de talud.

En el tramo analizado, entre el Centro Comercial El Condado y la confluencia con la quebrada Carretas se identifican condiciones de vulnerabilidad que justifican la inclusión de variables socio-territoriales dentro del análisis multicriterio AHP, entre las que se encuentran:

### **2.6.1. Distancia del Elemento Posiblemente Afectado a la Cresta del Talud — Unidad:**

*m*

La reducción de la distancia entre una estructura y la cresta del talud incrementan la probabilidad de que la vivienda o la infraestructura sufran daños ante una falla del talud.

Informes del Municipio del Distrito Metropolitano de Quito (2019) sobre riesgos en laderas

del norte de la ciudad documentan afectaciones en edificaciones situadas a pocos metros de bordes inestables, lo cual incluye grietas, asentamientos diferenciales y pérdida de cimentación.

### ***2.6.2. Carga de la Infraestructura en la Cresta del Talud — Unidad: Ton***

La carga debido a infraestructura (edificaciones, muros de contención, vías y otras) incrementa los esfuerzos actuantes en la parte superior del talud. De acuerdo con Duncan, Wright y Brandon (2014), la sobrecarga aumenta las tensiones normales y cortantes en el plano potencial de falla en un talud. En Quito, reportes periodísticos y técnicos, como los publicados por El Comercio, (2018), señalan que la presencia de construcciones irregulares en bordes de quebradas y riberas ha generado sobrecargas críticas que han contribuido a procesos de inestabilidad. Esta variable representa la magnitud aproximada del peso adicional debido a las edificaciones que actúa directamente sobre la masa del talud.

## **2.7. Variables Hidrológicas**

Las variables hidrológicas asociados a la estabilidad de taludes se refieren a procesos de erosión, socavación y saturación de materiales en la base de las laderas. Estas variables permiten caracterizar la interacción entre el cauce y los taludes adyacentes, así como identificar condiciones que favorecen la pérdida de soporte en el pie del talud.

Si bien el presente estudio no desarrolla un análisis hidrológico del río, resulta necesario incorporar variables hidrológicas dentro del análisis multicriterio AHP, debido a su influencia como factor detonante de riesgo a deslizamiento en los taludes.

Las variables hidrológicas consideradas en este estudio se centran en:

### **2.7.1. Distancia del Río a la Base del Talud — Unidad: m**

La proximidad entre el río y la base del talud determina el grado de socavación lateral, uno de los principales detonantes de inestabilidad de taludes cercanos a cauces. El SNGRE (2020) reporta varios incidentes de socavación en sectores del río Monjas, donde eventos de crecida reducen la estabilidad del pie del talud, lo cual incrementa la posibilidad de fallas por pérdida de soporte.

### **2.7.2. Caudal del Río — Unidad: m<sup>3</sup>/s**

Las crecidas del río Monjas generan un impacto directo sobre los taludes adyacentes al cauce, debido a que provocan debilitamiento y erosión basal que incrementan la probabilidad de deslizamientos. Para esta variable se determinó el uso del caudal asociado a un periodo de retorno es de 100 años, entendido como aquel que puede ser igualado o superado al menos una vez en dicho intervalo, o que presenta una probabilidad de ocurrencia del 1% en cualquier año, en función de las condiciones del régimen hidrológico (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2017). La incorporación de este parámetro permite representar condiciones extremas y estimar escenarios de alta peligrosidad.

## **2.8. Variables Socio - Territoriales**

Diversos autores coinciden en que el riesgo resulta de la interacción entre la amenaza física y la vulnerabilidad social, entendida como la capacidad limitada de ciertos grupos para anticipar, resistir y recuperarse de un evento adverso (Birkmann, 2006; Wisner et al., 2004). Por consiguiente, se incluyen variables que integran la posible afectación que produzca el fenómeno de deslizamiento.

### **2.8.1. Número de Elementos Posiblemente Afectados — Unidad: #**

Esta variable cuantifica el número de elementos ubicados en el área de influencia del deslizamiento, tales como viviendas, vías, infraestructura de servicios y áreas comunitarias (parqueaderos, parques, estadios, canchas). Según Birkmann (2006), la vulnerabilidad aumenta proporcionalmente a la densidad de elementos ubicados dentro de una zona inestable, ya que la concentración de infraestructura incrementa el potencial impacto de un evento. De acuerdo con el Municipio del Distrito Metropolitano de Quito (2019), los barrios que bordean la cuenca del río Monjas presentan un elevado número de viviendas muy cerca de taludes erosionados, lo que incrementa los niveles de exposición y, por tanto, el riesgo. Esta variable permite estimar la magnitud del daño potencial en caso de falla de ladera.

### **2.8.2. Área de Protección Ecológica dentro del Predio — Unidad: m<sup>2</sup>**

Esta variable cuantifica el área del predio que se vuelve inutilizable debido a la inestabilidad del talud, específicamente delimita la franja comprendida entre la cresta y la base próxima al cauce del río. Este indicador refleja el nivel de afectación directa que podría sufrir un predio ante un deslizamiento, ya que las zonas ubicadas dentro de esta franja suelen presentar restricciones de uso, afectación estructural y riesgo para la seguridad de los habitantes.

## **2.9. Fundamentos Conceptuales del Riesgo**

El análisis del riesgo de deslizamientos requiere comprender la relación entre amenaza, exposición, peligro, susceptibilidad, vulnerabilidad y riesgo. Esto permite integrar los factores físicos y sociales que condicionan la inestabilidad en los taludes del río Monjas. Estos conceptos han sido ampliamente desarrollados en los estudios de gestión de riesgos a nivel internacional y en investigaciones locales aplicadas al contexto ecuatoriano.

### **2.9.1. Amenaza**

Amenaza es un evento, fenómeno o proceso con potencial de causar daño directa o indirectamente a la vida o infraestructuras, sea de origen natural o antrópico. Según la Ley Orgánica para la Gestión Integral del Riesgo de Desastres (2024), la amenaza es el detonante externo que, al interactuar con la vulnerabilidad y exposición, activa la condición de riesgo.

### **2.9.2. Exposición**

Este concepto se define como la presencia de personas, bienes, infraestructuras, actividades económicas y ecosistemas en áreas susceptibles a una amenaza. En el presente estudio, la exposición constituye el grado en que dichos elementos se encuentran espacialmente vinculados al área de influencia del talud, lo que determina su posibilidad de sufrir daños o pérdidas. En el marco de la Ley Orgánica para la Gestión Integral del Riesgo de Desastres (2024), la exposición es uno de los componentes esenciales del riesgo, pues sin elementos expuestos la amenaza no se traduce en una potencial afectación.

### **2.9.3. Peligro**

El peligro se entiende como la probabilidad de que una amenaza ocurra en un lugar y momento determinados, generando consecuencias negativas sobre la población, las infraestructuras, las actividades económicas o el ambiente (Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres, 2014). Mientras la amenaza describe el fenómeno en sí, en este caso el deslizamiento de un talud, el peligro se refiere a la probabilidad de ocurrencia y a la generación de efectos adversos.

### **2.9.4. Susceptibilidad**

La susceptibilidad representa el grado de predisposición que presenta un terreno a ser afectado por una amenaza, considerando únicamente los factores condicionantes del medio,

es decir, sin tomar en cuenta la presencia de población o bienes expuestos (CENEPRED, 2014). En el caso del deslizamiento de taludes, la susceptibilidad se determina por factores como la pendiente, la litología, la altura y la longitud del talud.

#### **2.9.5. Vulnerabilidad**

La Vulnerabilidad es el grado de fragilidad que muestra un elemento a sufrir daños ante la ocurrencia de una amenaza. El análisis de la vulnerabilidad es fundamental, dado que los elementos expuestos van a presentar diferentes niveles de daño según las condiciones de la localidad para enfrentar el evento (D'Ercole & Trujillo, 2003).

#### **2.9.6. Riesgo**

Según lo establecido en la Ley Orgánica para la Gestión Integral del Riesgo de Desastres (2024), el riesgo es un proceso complejo que surge de la interacción entre las características físicas del territorio y las condiciones sociales. En los deslizamientos de taludes el riesgo se configura por la inestabilidad del terreno, condicionada por su susceptibilidad y por la presencia de factores detonantes, sumada a la exposición de comunidades e infraestructura.

A esta dimensión física se suma la exposición de comunidades e infraestructuras ubicadas en el área de influencia. Finalmente, la vulnerabilidad de estos elementos determina la magnitud de las pérdidas potenciales que pueden generarse ante la ocurrencia del evento. Así, para el presente estudio se logra un entendimiento más integral del riesgo, el cual combina todos los elementos antes descritos.

## **2.10. Proceso Analítico Jerárquico (AHP)**

### ***2.10.1. Fundamento Teórico del AHP***

El AHP fue desarrollado por Thomas L. Saaty (1980) como un método para descomponer problemas complejos mediante una jerarquía de objetivos, criterios y alternativas, lo cual permite realizar comparaciones pareadas y la asignación de pesos relativos. En la evaluación de riesgo por deslizamientos, el método permite integrar variables de naturaleza distinta.

La estructura jerárquica típica se compone de: objetivo general para evaluar riesgo, criterios que son las variables seleccionadas, posibles subcriterios y unidad de análisis, en este caso los taludes aledaños al tramo del río. Se aplican comparaciones pareadas mediante la escala de valoración (1-9) propuesta por Saaty, el fin de obtener un vector de pesos normalizados que represente la importancia relativa de cada criterio en la evaluación global.

### ***2.10.2. Construcción de la Matriz de Comparación por Pares***

La matriz de comparación por pares está compuesta por celdas, cada una compara dos criterios (i, j) para determinar su valor de importancia relativa. Los valores recíprocos (1/3, 1/5, etc.) representan la menor importancia relativa. Esta estructura permite combinar variables heterogéneas en una única escala cuantitativa.

Cada casilla refleja la importancia relativa del criterio i respecto al criterio j. Para ello, la Tabla 2 presenta la escala de Saaty (1980).

**Tabla 2***Interpretación de la escala de Saaty*

<b>Grado de importancia</b>	<b>Definición</b>	<b>Interpretación</b>
<b>1</b>	Igual importancia	Dos actividades contribuyen de igual forma al objetivo
<b>3</b>	Moderada importancia	La experiencia y el juicio favorecen levemente a una actividad sobre la otra
<b>5</b>	Importancia fuerte	La experiencia y el juicio favorecen fuertemente una actividad sobre la otra
<b>7</b>	Muy fuerte o demostrada	Una actividad es mucho más favorecida que la otra, su dominancia se demostró en la práctica
<b>9</b>	Extrema	La evidencia que favorece una actividad sobre otra; es absoluta y totalmente clara
<b>Escala 2, 4, 6 y 8</b>	Valores intermedios	Cuando se necesita un compromiso de las partes entre valores adyacentes
<b>Recíprocos</b>	$A_{ij} = 1 / a_{ji}$	Hipótesis del método

*Nota.* Adaptado de *El Proceso de Análisis Jerárquico (AHP) y la Toma de Decisiones*

*Multicriterio. Ejemplo de Aplicación* por J. Osorio y J. Orejuela, 2008, p. 249.

(<https://www.redalyc.org/pdf/849/84920503044.pdf>)

En la construcción de esta matriz, cada variable es comparada con las demás en términos de su importancia relativa respecto al objetivo del estudio. Se emplea la escala fundamental de Saaty (1980), la cual asigna valores entre 1 y 9 según el grado de preferencia de una variable sobre otra, incluyendo valores recíprocos cuando la importancia es inversa.

Cada elemento  $a_{ij}$  de la matriz representa la importancia de la variable  $i$  frente a la variable  $j$ , bajo la propiedad de reciprocidad detallada en la Ecuación 4.

$$a_{ij} = \frac{1}{a_{ji}} \quad (4)$$

La diagonal principal de la matriz toma siempre el valor de 1, ya que una variable comparada consigo misma tiene igual importancia. El resultado genera una matriz cuadrada de orden  $n$ , donde  $n$  corresponde al número total de variables analizadas (Saaty, 1980).

### **2.10.3. Normalización de la Matriz de Comparación**

Una vez construida la matriz de comparación por pares, se procede a su normalización. Este proceso consiste en dividir cada elemento de la matriz entre la suma de los elementos de su columna correspondiente. Matemáticamente, la normalización se expresa mediante la Ecuación 5.

$$a^*_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^n a_{ij}} \quad (5)$$

Donde:

$a^*_{ij}$  es el valor normalizado,

$a_{ij}$  es el valor original de la matriz,

$n$  es el número total de variables.

La normalización permite que la suma de cada columna sea igual a 1, facilitando el cálculo posterior de los pesos relativos.

#### 2.10.4. Cálculo del Vector de Pesos

El vector de pesos o prioridades representa la importancia relativa de cada variable. Este vector se mediante el promedio aritmético de cada fila de la matriz normalizada, según la Ecuación 6.

$$w_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n a^*_{ij} \quad (6)$$

Donde:

$w_i$  es el peso de la variable  $i$ ,

$a^*_{ij}$  son los valores normalizados de la fila  $ij$ ,

$n$  es el número de variables.

El conjunto de pesos obtenidos conforma un vector cuya suma total es igual a 1, condición necesaria para su uso en modelos de evaluación multicriterio.

#### 2.10.5. Cálculo del Valor Propio Máximo ( $\lambda_{m\acute{a}x}$ )

Para evaluar la coherencia de las comparaciones realizadas, se calcula el valor propio máximo de la matriz. Se multiplica la matriz de comparación por pares con el vector de pesos previamente obtenido, generando un nuevo vector  $M$ . Posteriormente, cada componente de este vector se dividió para su peso correspondiente, obteniéndose así una estimación de  $\lambda$  para cada variable, tal como se muestra en la Ecuación 7.

$$\lambda_i = \frac{M_i}{w_i} \quad (7)$$

El valor propio máximo se calcula como el promedio de los valores  $\lambda_i$ .

$$\lambda_{m\acute{a}x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \lambda_i \quad (8)$$

### 2.10.6. Índice de Consistencia (CI)

El Índice de Consistencia (CI) mide la coherencia interna de las comparaciones. Se calcula a partir del valor propio máximo y el número de variables, según la Ecuación 9.

$$CI = \frac{\lambda_{m\acute{a}x} - n}{n - 1} \quad (9)$$

### 2.10.7. Índice de Consistencia Relativa (CR)

Para evaluar si el nivel de inconsistencia es aceptable, el CI se compara con el Índice Aleatorio (RI), el cual depende del tamaño de la matriz y ha sido determinado empíricamente por Saaty. Dichos valores se detallan en la Tabla 3.

**Tabla 3**

*Índice Aleatorio*

<b>n</b>	<b>RI</b>
<b>1</b>	0
<b>2</b>	0
<b>3</b>	0.58
<b>4</b>	0.9
<b>5</b>	1.12
<b>6</b>	1.24
<b>7</b>	1.32
<b>8</b>	1.41
<b>9</b>	1.45
<b>10</b>	1.49
<b>11</b>	1.51

*Nota.* Adaptado de *El Proceso de Análisis Jerárquico (AHP) y la Toma de Decisiones Multicriterio. Ejemplo de Aplicación* por J. Osorio y J. Orejuela, 2008, p. 251.

(<https://www.redalyc.org/pdf/849/84920503044.pdf>)

El Índice de Consistencia Relativa (CR) se calcula mediante la Ecuación 10.

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (10)$$

De acuerdo con Saaty (1980), una matriz se considera consistentemente aceptable si,

$$CR < 0.10 \quad (11)$$

## **2.11. Sistemas de Información Geográfica (SIG) y Percepción Remota**

### ***2.11.1. Sistemas de Información Geográfica (SIG)***

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) constituyen una herramienta esencial para la evaluación de movimientos de masa, ya que permiten gestionar, procesar y modelar información espacial vinculada a la topografía, geología, hidrología y ocupación del territorio. El uso de SIG facilita la integración de datos provenientes de diversas fuentes y la representación cartográfica en forma de mapas temáticos como pendiente, distancia al cauce y litología.

En esta investigación se emplea el software QGIS debido a su capacidad para manejar datos ráster y vectoriales, realizar análisis espaciales, reclasificar variables y aplicar álgebra de mapas. Diversos estudios en Ecuador han validado el uso de este programa y SIG como herramientas fundamentales para mapas de susceptibilidad (Salcedo et al, 2018; Cargua et al., 2024).

### **2.11.2. Percepción Remota**

La percepción remota complementa el análisis SIG mediante el uso de imágenes satelitales y ortofotos para la interpretación visual de cambios morfológicos. Google Earth Pro se empleó en este estudio porque permite identificar erosión activa, zonas de socavación, evolución de asentamientos humanos, retrocesos del talud y cambios en la cobertura vegetal.

## **3. Capítulo III. Caracterización del Área de Estudio**

### **3.1. Localización y Delimitación del Tramo Analizado del Río Monjas**

El río Monjas es uno de los principales drenajes del sistema hidrográfico del Distrito Metropolitano de Quito (DMQ). Su cuenca drena las laderas del volcán Pichincha y atraviesa zonas urbanizadas del norte de la ciudad, siendo este un elemento clave en la dinámica geomorfológica. Debido a su carácter urbano y a la presencia de pendientes pronunciados, este río presenta procesos constantes de erosión, socavación y movimientos de masa que afectan infraestructura y viviendas cercanas a su cauce.

El tramo analizado en esta investigación se localiza entre el Centro Comercial El Condado y un punto situado pocos metros aguas abajo de la unión del río Monjas con la quebrada Carretas, en el sector de Carcelén Bajo. Esta zona presenta taludes de considerable altura, depósitos volcánicos (cenizas, tobas y materiales piroclásticos) y coluviales poco consolidados (acumulaciones de arenas, gravas y bloques provenientes del desprendimiento de laderas) así como evidencias de erosión fluvial activa.

La delimitación del tramo se realizó mediante interpretación en Google Earth Pro, cartografía oficial del MDMQ (escala 1:5000) y verificación en campo. El segmento analizado tiene una longitud aproximada de 7.18 km y abarca ambos márgenes del cauce.

Para su georreferenciación, el tramo está comprendido entre las siguientes coordenadas (sistema de referencia WGS84 / UTM 17S):

- Extremo superior del tramo (sector El Condado):  
E 783405.340 – N 9992471.423
- Extremo inferior del tramo (después de la confluencia con la quebrada Carretas, Carcelén Bajo):  
E 779577.366 – N 9988643.033

### **3.2. Características Geomorfológicas y Geológicas del Sector**

La zona de análisis se encuentra en el valle Interandino que se caracteriza por depósitos volcánicos del cuaternario producto de caída de piroclastos (Chamba Rosillo, 2022).

#### **3.2.1. Geomorfología General del Área**

El tramo estudiado se caracteriza por taludes pronunciados, caudal variable con zonas de erosión activa, sectores urbanizados donde la ocupación del suelo ha avanzado hasta el borde y pendiente de los taludes. Adicional, se observan sectores de sobre excavación natural y antrópica, vinculados a la construcción de vías, accesos y plataformas.

#### **3.2.2. Geología del Sector**

La geología del área está dominada por materiales volcánicos generados por la actividad del complejo volcánico Pichincha (Andrade & Mora, 2015). En la zona se presentan los siguientes depósitos:

**a) Depósitos piroclásticos:** materiales volcánicos que presentan baja cohesión y son susceptibles a perder resistencia cuando se saturan. En el sector de estudio están presentes cenizas volcánicas, tobas poco consolidadas y piedra pómez

**b) Depósitos coluviales:** materiales muy heterogéneos, con estructura débil, lo cual los asocia procesos de inestabilidad como deslizamientos de roca o suelos, formados por gravas sueltas y arenas volcánicas

**c) Depósitos aluviales:** localizados en el fondo del cauce, cuya presencia evidencia que el río Monjas transporta sedimentos y modifica el perfil longitudinal por socavación. Se observan gravas redondeadas, arenas fluviales y limos arenosos.

### **3.3. Características Hidrológicas y Climáticas del Sector**

#### **3.3.1. Hidrología**

Los estudios realizados en la zona han permitido delimitar valles aluviales asociados a las quebradas Almeida, Colegio y Carretas (Figura 1). El caudal del río Monjas presenta variaciones asociadas a los patrones de precipitación de Quito. En épocas secas, el caudal disminuye, dado que el río recibe únicamente aportes naturales continuos, como deshielos u ojos de agua, y antrópicos provenientes del alcantarillado sanitario (Figuras 2 y 3). Por el contrario, en la época lluviosa, particularmente entre marzo y mayo y entre octubre y noviembre, el caudal tiende a incrementar al sumarse las precipitaciones a los aportes previamente mencionados.

Gracias a la presencia de edificaciones y redes viales cercanas a la cuenca del río, existe un alto grado de impermeabilización del suelo, lo que ha reducido significativamente la infiltración natural del agua en el terreno (Yáñez Ortiz, 2025). Este fenómeno de sellado del suelo urbano también incrementa los caudales pico y la velocidad del flujo (Forman & Alexander, 1998).

**Figura 1**

*Confluencia de la quebrada Carretas con el tramo analizado del río Monjas*



*Nota.* Imagen adaptada del visor cartográfico del Geoportal del Municipio del Distrito Metropolitano de Quito (2015). Elaboración propia.

**Figura 2**

*Canal cuadrado cubierto que descarga directamente en el río Monjas*



*Nota:* Fotografía de autoría propia.

### Figura 3

*Canal abierto de sección rectangular que descarga en el río Monjas.*



*Nota:* Fotografía de autoría propia.

#### 3.3.2. *Clima*

El río Monjas es una subcuenca del río Guayllabamba que presenta tres tipos de climas que varían dependiendo de la variación altitudinal. En la zona baja, correspondiente a San Antonio de Pichincha, las altitudes oscilan entre 1000 a 2000 m.s.n.m., con temperaturas de 16° a 24°C y precipitaciones anuales entre 40 y 700mm. En la planicie de Quito, situada entre los 2000 y 3000 m.s.n.m., las precipitaciones varían de 700 a 1500mm al año, distribuidas en dos épocas lluviosas, mientras que las temperaturas medias se ubican entre 12° a 20°C. Finalmente, en las cordilleras que rodean a la cuenca, a altitudes superiores a 3000 m.s.n.m., se registran precipitaciones de 1000 a 1600mm/año y temperaturas inferiores a 8°C (Rivera, 2016a).

#### 3.4. **Infraestructura y Ocupación del Suelo en el Entorno del Cauce**

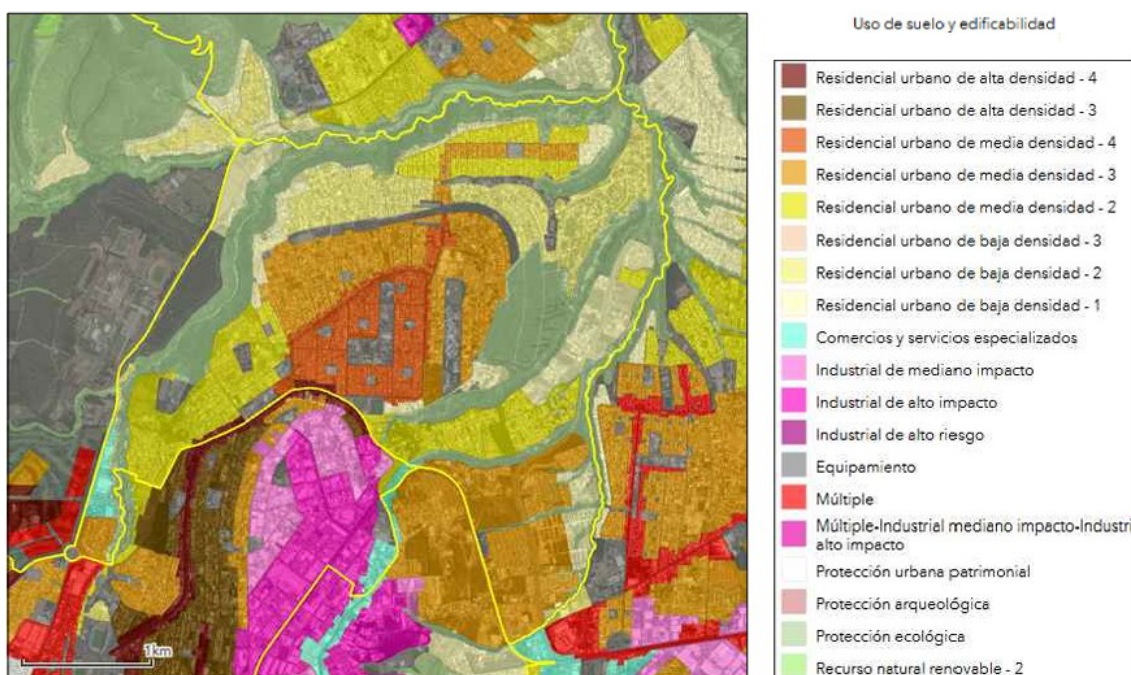
El tramo del río Monjas analizado presenta un intenso crecimiento urbano. Loachamín (2017) señala que del 2005 al 2015 la expansión urbana redujo las zonas para uso

agrícola y zonas de protección ecológica mientras crecieron aceleradamente zonas industriales y residenciales. La proximidad entre estas áreas y los escarpes de taludes ha generado un patrón de ocupación que incrementa la vulnerabilidad ante procesos de deslizamientos.

De acuerdo con la Dirección Metropolitana de Planeamiento y Política de Suelo (s.f.), el uso y ocupación de suelo establece las disposiciones de uso general que rigen un predio, clasificándolo en cuatro categorías de uso: principal, complementario, restringido o prohibido.

#### Figura 4

*Mapa de uso de suelo y edificabilidad*



*Nota:* Mapa adaptado del Geoportal del Municipio del Distrito Metropolitano de Quito (2015). Elaboración propia.

Como se presenta en la Figura 4, los taludes adyacentes al Río Monjas son zonas de protección ecológica. Dicha categoría incluye quebradas, por lo tanto, restringe la subdivisión

de lotes. Sobre los taludes, pasada la cresta, se han delimitado *zonas residenciales urbanas*, las cuales poseen coeficientes de ocupación mayores o iguales a 35%. Para el caso de los predios ubicados junto a las crestas, al ser muy próximos a la quebrada, se asigna una edificabilidad básica de dos pisos.

En suelos vulnerables, el coeficiente de ocupación del suelo disminuye entre el 10 y 25% para bajar el riesgo en la población que habite en la zona. Es importante resaltar que en zonas de protección ecológica se prohíbe cualquier tipo de construcción.

#### ***3.4.1. Presión Urbana Sobre el Borde del Talud***

La presencia de edificaciones a escasa distancia del borde del talud deriva de la expansión urbana hacia laderas, un problema ampliamente documentado en Quito, donde la ocupación de pendientes ha ocurrido sin criterios y consideraciones adecuadas (D'Ercole & Trujillo, 2003). Este tipo de construcciones genera diversos efectos adversos sobre la estabilidad de los taludes, entre los que se incluyen el incremento de la carga en la cresta del talud, la reducción progresiva de la distancia entre la infraestructura y el borde inestable, y la alteración de las condiciones naturales de drenaje superficial, lo que favorece la concentración de escorrentía e infiltración en sectores debilitados del talud, incrementando la probabilidad de falla.

De acuerdo con la normativa vigente del Distrito Metropolitano de Quito, la distancia mínima de construcción desde la cresta del talud está regulada mediante áreas de protección obligatorias. El Código Orgánico Municipal en su artículo 2205, establece que para taludes con pendientes comprendidas entre 45° y 60° debe respetarse una franja de protección mínima de 10 m medida horizontalmente desde la cresta del talud, mientras que para pendientes mayores a 60° la franja aumenta 15 m (Municipio del Distrito Metropolitano de Quito, 2023).

En la Figura 5 se identifican edificaciones implantadas bajo la cresta del talud que incumplen la franja de protección definida por la normativa municipal.

### **Figura 5**

*Viviendas construidas sobre taludes del río Monjas sin respetar la franja de protección*



*Nota.* Fotografía de autoría propia que evidencia construcciones localizadas en la cresta del talud del río Monjas, sin cumplir la franja de protección establecida por la normativa municipal.

Estos fundamentos técnicos se reflejan en la normativa vigente del Distrito Metropolitano de Quito. La Ordenanza Metropolitana No. 172 establece que las quebradas, riberas y taludes inestables constituyen zonas de protección, en las cuales se prohíbe la construcción y se restringe cualquier intervención sin estudios geotécnicos especializados y autorización municipal ( Municipio del Distrito Metropolitano de Quito , 2019). Estas

disposiciones responden al historial de eventos adversos registrados en las laderas de Quito, donde la ocupación de zonas de riesgo ha generado pérdidas materiales y amenazas recurrentes a la población.

## **4. Capítulo IV. Metodología**

### **4.1. Enfoque General del Estudio**

La metodología integra enfoques cuantitativos, espaciales y multicriterio que permiten evaluar el nivel de riesgo ante deslizamiento en taludes que se encuentran junto al cauce del río Monjas. El proceso se desarrolló en tres etapas que integran herramientas de análisis geoespacial (QGIS) y el método Analytic Hierarchy Process (AHP) y la validación mediante inspecciones de campo. Este procedimiento establece una valoración integral que aporte a la comprensión del riesgo en las zonas cercanas al río Monjas y sirva como base para futuras investigaciones. Por consiguiente, se detallan las fases empleadas en el proceso.

#### ***4.1.1. Fase 1***

Se recopiló información proveniente de fuentes oficiales y estudios técnicos con la finalidad de verificar la calidad y disponibilidad de datos. En base a la información obtenida, se definieron las que iban a ser las variables de análisis, diez en total, que se categorizaron en cuatro clases: geomorfológicas, hidrológicas, estructurales y socio territoriales.

#### ***4.1.2. Fase 2***

Esta fase se orientó a transformar la información obtenida de fuentes secundarias y del análisis espacial en QGIS en una caracterización detallada de cada variable para los diferentes taludes. Posteriormente, mediante la aplicación del método AHP, se jerarquizaron los criterios y se identificaron los taludes más críticos, así como las variables con mayor incidencia en su estabilidad.

### **4.1.3. Fase 3**

Los resultados que se obtuvieron mediante el procesamiento de datos en QGIS se comprobaron mediante una inspección de campo, durante la cual se recolectó información topográfica actualizada mediante el uso de un dron. Con estos datos, se efectuaron correcciones para determinar el nivel de riesgo de deslizamiento.

## **4.2. Identificación y Descripción de Variables del Análisis Multicriterio**

Subsiguiente a la revisión de la información compilada, se seleccionaron las variables a estudiarse en el presente trabajo, procurando que coincidan con los factores de mayor relevancia en la zona de estudio y de los datos disponibles en diferentes fuentes bibliográficas.

Para sintetizar las variables utilizadas en el análisis multicriterio se ha utilizado la Tabla 4, en la cual se incorporan aspectos claves tales como su definición, unidades de medida y las fuentes de origen. Este recurso busca facilitar la reproducibilidad del estudio y sustentar las ponderaciones y el procedimiento empleado.

**Tabla 4***Variables consideradas en el análisis de riesgo por deslizamiento*

<b>Variable</b>	<b>Indicadores</b>	<b>Unidades</b>	<b>Fuente</b>
<b>Número de elementos posiblemente afectados</b>	Conteo del número de infraestructuras, vías, puentes, áreas verdes y parqueaderos ubicadas en el área de influencia del talud	#	Google Open Buildings y Google Earth Pro
<b>Distancia del elemento vulnerable a la cresta del talud</b>	Medición espacial desde la infraestructura hasta la cresta del talud	m	Google Earth Pro - QGIS
<b>Carga de la infraestructura en cresta del talud</b>	Peso total de las edificaciones	Ton	Visor Geográfico del Servicio Nacional de Gestión de Riesgos y Emergencias (SNGRE) NEC-SE-DS y NEC-SE-CG
<b>Altura del talud</b>	Diferencia altimétrica entre cresta y base	m	Google Earth Pro y QGIS
<b>Pendiente del talud</b>	Ángulo de inclinación calculado entre base y cresta	°	Google Earth Pro y QGIS
<b>Litología</b>	Clasificación de suelos según SUCS y descripción geológica local	SUCS / descripción	Ensayos de laboratorio y fuentes bibliográficas
<b>Distancia río a la base del talud</b>	Medición espacial entre la línea de base del talud y el cauce activo del río	m	Google Earth Pro y QGIS
<b>Caudal del río (máximo estacional)</b>	Caudal promedio estimado con base en	m <sup>3</sup> /s	Fuentes bibliográficas y curva extrapolada

	caudales de cuencas del sector		
<b>Longitud del talud</b>	Extensión lineal del talud paralela al cauce	m	Google Earth Pro y QGIS
<b>Área de protección ecológica dentro del predio</b>	Área del predio inutilizable comprendida entre la cresta del talud y el río	m <sup>2</sup>	Catastro Municipal, Google Earth Pro y QGIS

*Nota.* Elaboración propia.

La categorización se elaboró tomando en cuenta criterios coherentes con los indicados en los párrafos anteriores, suplementando con un ajuste fundamentado en los resultados que se obtuvieron en el tramo analizado. Estos principios se exponen en detalle en las secciones posteriores.

#### **4.2.1. Número de Elementos Posiblemente Afectados**

La cuantificación de los elementos expuestos se fundamenta en criterios de exposición reconocidos en la literatura técnica. Según el Civil Engineering and Development Department (2011) de Hong Kong, el nivel de riesgo se clasifica en función de las posibles pérdidas humanas y económicas, señalando que con mayor número de edificios habitados mayor será la severidad del impacto. Esto se ejemplifica en la Figuras 6 y 7.

## Figura 6

*Ejemplos típicos de fallas de taludes según la categoría de riesgo para la vida*

Example	Risk to Life		
	Negligible	Low	High
(1) Failure affecting country parks and lightly used open-air recreation areas.	✓		
(2) Failures affecting roads with low traffic density.	✓		
(3) Failures affecting storage compounds (non-dangerous goods).	✓		
(4) Failures affecting densely used open spaces and recreational facilities (e.g. sitting-out areas, playgrounds, car parks).		✓	
(5) Failures affecting roads with high vehicular or pedestrian traffic density.		✓	
(6) Failures affecting public waiting areas (e.g. railway platforms, bus stops, petrol stations).		✓	
(7) Failures affecting occupied buildings (e.g. residential, educational, commercial, industrial).			✓
(8) Failures affecting buildings storing dangerous goods.			✓

*Nota.* Tomado de *Geotechnical Manual for Slopes* por Civil Engineering and Development Department de Hong Kong, 2011, p. 184.

([https://www.cedd.gov.hk/filemanager/eng/content\\_91/egms.pdf](https://www.cedd.gov.hk/filemanager/eng/content_91/egms.pdf))

## Figura 7

*Ejemplos típicos de fallas de taludes según la categoría de riesgo para la economía*

Table 5.3 - Typical Examples of Slope Failures in Each Economic Risk Category

Example	Economic Risk		
	Negligible	Low	High
(1) Failures affecting country parks.	✓		
(2) Failures affecting rural (B), feeder, district distributor and local distributor roads which are not sole accesses.	✓		
(3) Failures affecting open-air car parks.	✓		
(4) Failures affecting rural (A) or primary distributor roads which are not sole accesses.		✓	
(5) Failures affecting essential services which could cause loss of that service for a temporary period (e.g. power, water and gas mains).		✓	
(6) Failures affecting rural or urban trunk roads or roads of strategic importance.			✓
(7) Failures affecting essential services, which could cause loss of that service for an extended period.			✓
(8) Failures affecting buildings, which could cause excessive structural damage.			✓

Note : These examples are for guidance only. The designer must decide for himself the degree of economic risk and must balance the potential economic risk in event of a failure against the increased construction costs required to achieve a higher factor of safety.

*Nota.* Tomado de *Geotechnical Manual for Slopes* por Civil Engineering and Development Department de Hong Kong, 2011, p. 184.

([https://www.cedd.gov.hk/filemanager/eng/content\\_91/egms.pdf](https://www.cedd.gov.hk/filemanager/eng/content_91/egms.pdf))

De manera complementaria, el Grupo de Evaluación de Riesgos (2014) de la Agencia de Medio Ambiente de Cuba establece niveles de vulnerabilidad aplicados a distintos desastres naturales en el territorio, los cuales diferencian entre escenarios de vulnerabilidad baja, media o alta en función del número de viviendas expuestas, los cuales se presentan en la Figura 8.

### Figura 8

*Intervalos de vulnerabilidad para la evaluación de riesgo*

**Rangos de vulnerabilidad**

(0 - 33) Vulnerabilidad Baja  
 (34 - 66) Vulnerabilidad Media  
 (67 - 100) Vulnerabilidad Alta

*Nota.* Tomado de *Metodologías para la Determinación de Riesgos de Desastres Naturales a Nivel Territorial* por Grupo de Evaluación de Riesgos de Cuba, 2014, p. 28.

(<https://dipecholac.net/docs/files/475-libro-metodologia-riesgo-ama.pdf>)

En concordancia con estos parámetros, se adoptaron intervalos progresivos que reflejan un aumento gradual en el nivel de peligro. Dichos intervalos se encuentran adaptados en la Tabla 5.

### Tabla 5

*Categorización para el número de elementos posiblemente afectados*

Variable	Unidad	Categorías	Criterio	Valor
Número de elementos posiblemente afectados	#	< 25	Peligro muy bajo	1
		$25 \leq x < 48$	Peligro bajo	2
		$48 \leq x < 80$	Peligro medio	3
		$80 \leq x \leq 120$	Peligro alto	4
		> 120	Peligro muy alto	5

*Nota.* Elaboración propia.

#### 4.2.2. *Distancia del Elemento Posiblemente Afectado a la Cresta del Talud*

La distancia del elemento posiblemente afectado a la cresta del talud constituye un factor determinante en el nivel de riesgo asociado con el deslizamiento, tal como señala Donoso (2017), el peso adicional de las construcciones ubicadas en los bordes influye directamente en el comportamiento del talud, incrementando tensiones y favoreciendo procesos de inestabilidad. En concordancia con esto, el Municipio del Distrito Metropolitano de Quito (2024), mediante el Art. 2574 y el Art. 2575 de la Ordenanza Metropolitana No. 072, establece disposiciones específicas para las áreas de protección de quebradas y taludes dependiendo de su pendiente. Dicha normativa define la distancia mínima desde la cresta desde donde deben iniciar las construcciones, cuyos valores se resumen en la Tabla 6.

**Tabla 6**

*Áreas de protección de taludes y quebradas*

<b>Taludes</b>	
<b>Descripción</b>	<b>Área de protección</b>
Taludes de 45 a 60 grados	10 metros desde el borde superior
Taludes mayores a 60 grados	15 metros desde el borde superior
<b>Quebradas</b>	
<b>Descripción</b>	<b>Área de protección</b>
Para pendientes menores a 10 grados	6 metros desde la cresta
Para pendientes de 10 a 60 grados	10 metros desde la cresta
Para pendientes mayores a 60 grados	15 metros desde la cresta

*Nota.* Tomado de *Ordenanza Metropolitana No. 072-2024* por Municipio del Distrito Metropolitano de Quito, 2024, p.985-986

(<https://www.gob.ec/sites/default/files/regulations/2024->

11/CODIGO\_MUNICIPAL\_ORDE072-2024\_pag\_1-300.pdf)

De manera complementaria, Rivera (2016b) clasifica la vulnerabilidad de las estructuras en función de su proximidad a los movimientos de masa en cuatro categorías (Baja, Media, Alta y Muy Alta) que reflejan que, a mayor cercanía, se incrementa la exposición y por lo tanto el nivel de peligro. En este sentido, la categorización adoptada es progresiva y se dispuso de forma que los resultados tengan relación con los lineamientos municipales establecidos previamente y a las necesidades del proyecto.

**Tabla 7**

*Categorización de la distancia del elemento posiblemente afectado a la cresta del talud*

Variable	Unidad	Categorías	Criterio	Valor
Distancia del elemento posiblemente afectado a la cresta del talud	m	$> 150$	Peligro muy bajo	1
		$50 \leq x \leq 150$	Peligro bajo	2
		$15 \leq x < 50$	Peligro medio	3
		$5 \leq x < 15$	Peligro alto	4
		$< 5$	Peligro muy alto	5

*Nota.* Elaboración propia.

#### **4.2.3. Carga de la Infraestructura en la Cresta del Talud**

La carga que las edificaciones ejercen sobre un talud se relaciona directamente con su estabilidad. Se considera que dicha carga depende de varios factores estructurales como los materiales empleados, los sistemas constructivos, el número de pisos, entre otros (Donoso, 2017). Por ejemplo, una estructura construida con hormigón transmite una carga mayor al suelo que una construida con madera o caña; estos elementos condicionan el peso transmitido al terreno.

Para esta variable se incorporó evidencia empírica (véase el Anexo A) derivada del análisis espacial realizado con QGIS debido a la falta de información disponible en fuentes

secundarias. El resultado de este procesamiento permite la categorización como se presenta en la Tabla 8.

**Tabla 8**

*Categorización de la carga de la infraestructura en la cresta del talud*

<b>Variable</b>	<b>Unidad</b>	<b>Categorías</b>	<b>Criterio</b>	<b>Valor</b>
Carga de la infraestructura en la cresta del talud	Ton	< 5000	Peligro muy bajo	1
		$5000 \leq x < 12000$	Peligro bajo	2
		$12000 \leq x < 20000$	Peligro medio	3
		$20000 \leq x \leq 30000$	Peligro alto	4
		> 30000	Peligro muy alto	5

*Nota.* Elaboración propia.

#### **4.2.4. Altura del Talud**

La altura de un talud es un indicador geométrico esencial dentro de la caracterización geotécnica. Como mencionan Lambe & Whitman (2004), un talud de menor altura tiende a presentar condiciones más estables por lo que generalmente no requiere medidas de control y de protección tan rigurosas.

Los valores referenciales se obtuvieron a partir de estudios técnicos sobre las alturas aproximadas de los taludes del río Monjas (Rivera, 2016a) y resultados en QGIS (véase el Anexo A), como se indica en la Tabla 9.

**Tabla 9***Altura del talud*

Variable	Unidad	Categorías	Criterio	Valor
Altura del talud	m	< 15	Peligro muy bajo	1
		$15 \leq x \leq 30$	Peligro bajo	2
		$30 < x \leq 70$	Peligro medio	3
		$70 < x \leq 120$	Peligro alto	4
		> 120	Peligro muy alto	5

*Nota.* Elaboración propia.

#### 4.2.5. Pendiente del Talud

La determinación de los niveles de peligro se tuvo como referencia a la propuesta por Rivera (2016), donde describe categorías de pendientes relacionados a tipos de relieves propios de la zona. Se establece que inclinaciones más pronunciadas demandan una gestión del riesgo y la planificación territorial más estrictas. Aquellos rangos se detallan en la Tabla 10.

**Tabla 10***Clasificación del relieve en función de la pendiente*

Relieve	Pendiente (°)
Montañoso	Superior a 35°
Escarpado	Entre 25° y 35°
Ondulado	Entre 15° y 25°
Moderadamente ondulado	Entre 6° y 15°
Planas y relativamente planas	Menor a 5°

*Nota.* Adaptado de *Consultoría para la Elaboración del Plan de Gestión Integral de Riesgos de la Cuenca del Río Monjas – Informe Final* por M. Rivera, 2016, p. 32.

(<https://goo.su/2Mx04hw>)

De igual forma, Rodrigo (2017) propone una tabla con otra clasificación que fue aplicada en un estudio de estabilidad de taludes como se muestra a continuación en la Figura 9.

### Figura 9

*Categorización propuesta del terreno en función de la pendiente*

PENDIENTES (°)	TERRENO
<1	Llano
1-5	Inclinado con suave pendiente
5-15	Pendiente moderada
15-25	Pendiente fuerte
25-45	Pendiente escarpada
>45	Terrenos muy escarpados

*Nota.* Tomado de *Análisis de Estabilidad de Taludes en la Carretera Lajas – Ajipampa* por L. Rodrigo, 2017, p.21.

(<https://repositorio.unc.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14074/1411/TESIS.pdf?sequence=1>)

Ambas fuentes sirvieron como base para lograr la categorización que mejor se ajustó a las condiciones reales del área de estudio (Tabla 11).

### Tabla 11

*Categorización de la pendiente del talud*

Variable	Unidad	Categorías	Criterio	Valor
Pendiente del talud	°	< 10	Peligro muy bajo	1
		$10 \leq x < 20$	Peligro bajo	2
		$20 \leq x < 30$	Peligro medio	3
		$30 \leq x \leq 45$	Peligro alto	4
		> 45	Peligro muy alto	5

*Nota.* Elaboración propia.

#### 4.2.6. Litología

Los suelos más susceptibles a deslizamientos son aquellos conformados por materiales finos y blandos, con alto contenido de materia orgánica (González et al., 2002). Bajo este criterio, para la clasificación presentada en la Tabla 12 se seleccionó la permeabilidad del suelo, ya que ésta altera la presión de poros y reduce la resistencia a corte, posicionándose como uno de los factores que influye directamente en cuán estable es un talud.

**Tabla 12**

*Clasificación de la litología*

Variable	Unidad	Categorías	Criterio	Valor
Litología	SUCS	Arenas (SW, SP), Gravas (GW, GP)	Peligro muy bajo	1
		Arenas con finos (SM, SC, SW-SM, SP-SM, SW-SC, SP-SC y SC-SM), Gravas con finos (GM, GC, GW-GM, GP-GM, GP-GC, GW-GC y GC-GM)	Peligro bajo	2
		Limo de baja plasticidad (ML), Limos de alta plasticidad (MH)	Peligro medio	3
		Arcillas de alta plasticidad (CH), Arcilla de baja plasticidad (CL) y Arcillo limosa (CL-ML)	Peligro alto	4
		Materia orgánica (PT, OL y OH)	Peligro muy alto	5

*Nota.* Elaboración propia.

De esta forma, se utilizó como base la Figura 10, la cual establece los coeficientes de permeabilidad de diferentes tipos de suelo. El coeficiente de permeabilidad mide la velocidad de infiltración que tiene un medio poroso y depende tanto del fluido como del material y sus propiedades (Das & Sobhan, 2018).

## Figura 10

*Valores típicos de coeficientes de permeabilidad en suelos saturados*

Soil type	<i>k</i>	
	cm/sec	ft/min
Clean gravel	100–1.0	200–2.0
Coarse sand	1.0–0.01	2.0–0.02
Fine sand	0.01–0.001	0.02–0.002
Silty clay	0.001–0.00001	0.002–0.00002
Clay	<0.000001	<0.000002

*Nota.* Tomado de *Principles of Geotechnical Engineering* por B. M. Das y K. Sobhan, 2018, p. 192, Cengage Learning.

La permeabilidad de los suelos granulares (GW, GP, SW y SP) es elevada, lo que significa que implica una alta capacidad de drenaje y menor acumulación de agua. Al estar constituida por partículas gruesas, el agua circula libre y rápidamente por los vacíos intergranulares (González et al., 2002). Esta característica beneficia a la estabilidad al limitar la generación de presiones internas asociadas a la saturación.

Cuando los suelos granulares contienen partículas finas, como limos o arcillas, la permeabilidad disminuye sustancialmente. Según Quevedo & Ramírez (2024), esto reduce la capacidad de drenaje e incrementa la compresibilidad. Se ubican en un nivel de peligro bajo porque el comportamiento de este tipo de suelos se vuelve más sensibles a la saturación.

Los suelos MH y ML manifiestan un nivel de peligro medio. Aquellos de tipo MH presentan una permeabilidad muy baja, lo cual facilita la retención de agua. Como se explicó en la Sección 2.1.2, los suelos con esas características tienen un flujo muy lento, condición que provoca que las cargas a las que están sometidos se transmitan a través del agua contenida en sus poros. Consecuentemente, las fallas estructurales se manifiestan después de un tiempo debido al retraso en el drenaje. Por otro lado, los limos de baja plasticidad (ML) tienen una permeabilidad relativamente mayor, produciendo un drenaje un poco más rápido y

reduce la acumulación de presiones intersticiales. Sin embargo, esta condición los hace más susceptibles a la erosión superficial y pérdida de cohesión cuando están expuestos a flujos de agua. Las fallas en este tipo de suelos suelen presentarse de manera más inmediata. En consecuencia, se consideran de peligro medio en la categorización.

Las arcillas de clase CH, CL y CL-ML se clasifican dentro de un nivel de peligro alto por su comportamiento crítico frente a la saturación y cambios de humedad. En el caso de las CH, su elevada plasticidad y baja permeabilidad generan expansiones y contracciones significativas; las CL presentan una cohesión limitada y alta susceptibilidad al reblandecimiento bajo condiciones de lluvia intensa y, finalmente los suelos CL-ML combinan las desventajas de ambos materiales, ya que permiten la infiltración de agua y carecen de resistencia estructural Terzaghi et al. (1996).

Por último, aquellos suelos con contenido orgánico (PT, OL y OH) presentan una baja resistencia y alta permeabilidad. Según Terzaghi et al. (1996) estos materiales muestran un coeficiente de permeabilidad alto en estado fibroso y tienden a colapsar conforme se saturan. La presencia de materia orgánica provoca una baja resistencia al corte, por lo que no se consideran idóneos para soportar cargas estructurales. Esta condición genera escenarios desfavorables para las infraestructuras asentadas sobre los taludes. Debido a lo anterior, se consideran de peligro muy alto dentro de la categorización.

#### ***4.2.7. Distancia de la Base al Río***

La distancia entre la base del talud y el río es un factor determinante en su estabilidad, pues la acción erosiva del agua tiende a erosionar las bases, lo que reduce la capacidad de soporte y acelerando la pérdida de equilibrio. El Municipio del Distrito Metropolitano de Quito (2024) establece una franja de protección de 50 metros desde el margen del río debido a que la proximidad incrementa el riesgo de afectación. De acuerdo con el informe de Rivera

(2016b), en el tramo analizado se han identificado procesos erosivos de gran magnitud en las bases de los taludes que han alcanzado desgastes de hasta 20 metros respecto al antiguo borde del cauce. A partir de normativas locales como los datos obtenidos del presente estudio (véase el Anexo A), se definieron los rangos exhibidos en la Tabla 13.

**Tabla 13**

*Categorización de la distancia del río a la base del talud*

<b>Variable</b>	<b>Unidad</b>	<b>Categorías</b>	<b>Criterio</b>	<b>Valor</b>
Distancia del río a la base del talud	m	$> 50$	Peligro muy bajo	1
		$30 \leq x \leq 50$	Peligro bajo	2
		$15 \leq x < 30$	Peligro medio	3
		$5 \leq x < 15$	Peligro alto	4
		$< 5$	Peligro muy alto	5

*Nota.* Elaboración propia.

#### **4.2.8. Caudal del Río**

El caudal del río es fundamental en el análisis de riesgo por deslizamiento de taludes, ya que como menciona el Concejo Metropolitano de Quito (2024), valores altos de caudal en el cauce de río provocan erosión hídrica. La categorización se ejecutó en base al informe realizado por Rivera (2016), el cual recolecta los caudales para un periodo de retorno de 100 años de distintas cuencas aportantes del río Monjas. La Tabla 14 muestra los rangos determinados para cada nivel de peligro.

**Tabla 14***Categorización del caudal del río*

Variable	Unidad	Categorías	Criterio	Valor
Caudal del río (máximo estacional)	m <sup>3</sup> /s	< 130	Peligro muy bajo	1
		$130 \leq x < 160$	Peligro bajo	2
		$160 \leq x < 200$	Peligro medio	3
		$200 \leq x \leq 235$	Peligro alto	4
		> 235	Peligro muy alto	5

*Nota.* Elaboración propia.

#### 4.2.9. Longitud del Talud

La longitud del talud se clasificó de acuerdo con los resultados obtenidos a través del procesamiento de datos en QGIS (véase el Anexo A), teniendo como objetivo distribuir de manera equitativa los valores para los distintos niveles de peligro, tal como se evidencia en la Tabla 15.

**Tabla 15***Categorización de la longitud del talud*

Variable	Unidad	Categorías	Criterio	Valor
Longitud del talud	m	< 60	Peligro muy bajo	1
		$60 \leq x < 95$	Peligro bajo	2
		$95 \leq x < 130$	Peligro medio	3
		$130 \leq x \leq 165$	Peligro alto	4
		> 165	Peligro muy alto	5

*Nota.* Elaboración propia.

#### 4.2.10. Área de Protección Ecológica dentro del Predio

El criterio adoptado para la categorización de esta variable se fundamentó en las disposiciones de ordenamiento territorial del Distrito Metropolitano de Quito, que indican que se consideran áreas no utilizables a aquellas ubicadas dentro de las franjas de protección

de taludes y/o que superen una pendiente del 36%, condiciones presentes en los taludes que conforman el tramo de análisis (Concejo Metropolitano de Quito, 2024). En conjunto con los resultados obtenidos de QGIS (véase el Anexo A), los lineamientos ya mencionados fueron la base para proponer una clasificación como la que se muestra en la Tabla 16.

**Tabla 16**

*Categorización del área de protección ecológica dentro del predio*

Variable	Unidad	Categorías	Criterio	Valor
Área de protección ecológica dentro del predio	m <sup>2</sup>	< 1000	Peligro muy bajo	1
		$1000 \leq x < 5000$	Peligro bajo	2
		$5000 \leq x < 15000$	Peligro medio	3
		$15000 \leq x \leq 30000$	Peligro alto	4
		> 30000	Peligro muy alto	5

*Nota.* Elaboración propia.

### 4.3. Obtención y Procesamiento de Datos en QGIS

El análisis de las variables se apoyó en el software QGIS que permitió integrar la información cartográfica y realizar mediciones espaciales con el fin de generar los insumos necesarios para la evaluación multicriterio. El procedimiento se organizó en fases, cada una orientada a la construcción de una variable específica dentro del análisis multicriterio.

#### 4.3.1. Número de Elementos Posiblemente Afectados

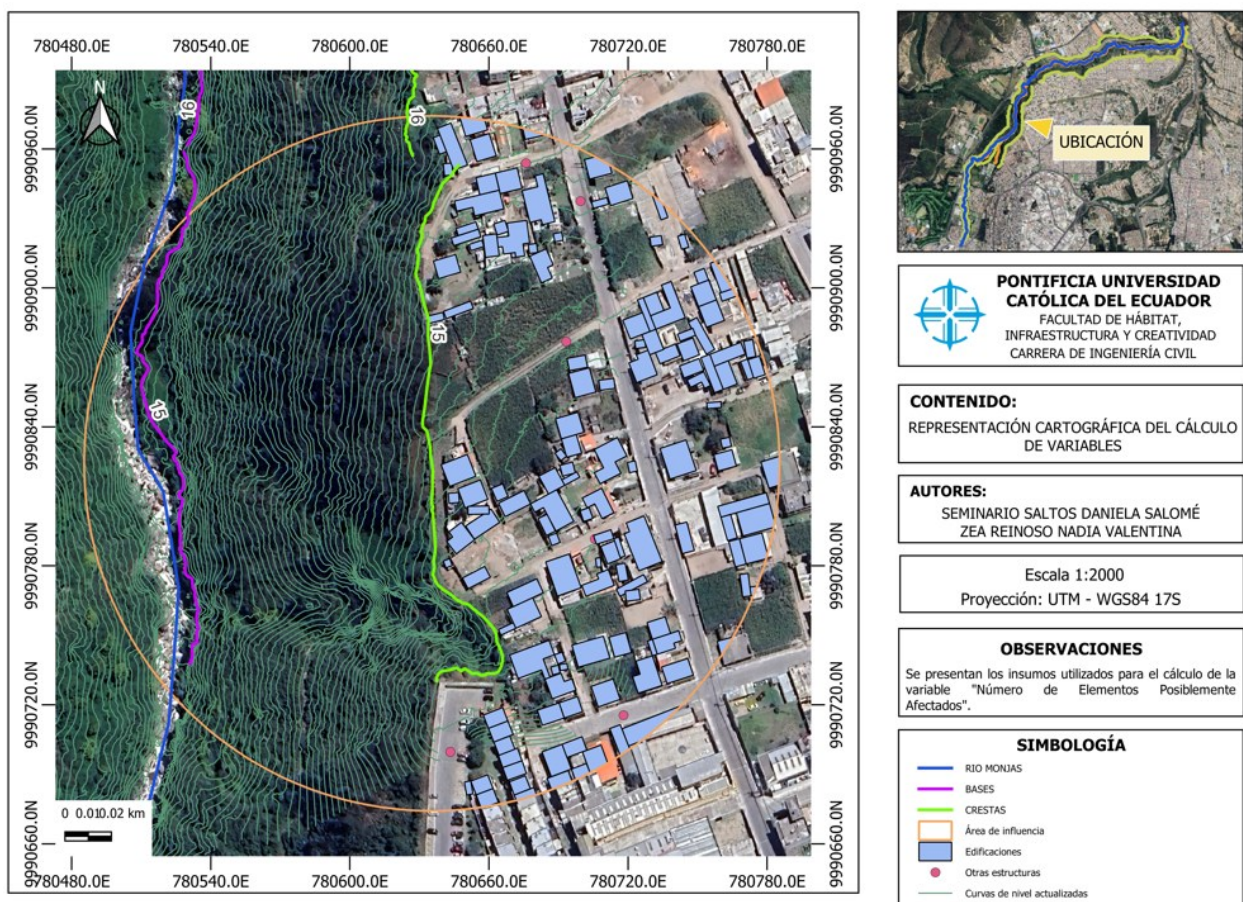
Para estimar el número de elementos posiblemente afectados se empleó una capa de polígonos descargada de Open Buildings, la cual contiene la información geométrica de cada edificación, representada por su contorno en planta (Sirko et al., 2021). Como se mencionó en la Sección 2.6, no se toman en cuenta solamente las edificaciones, sino que también es necesario cuantificar otro tipo de infraestructuras como vías, parques, parqueaderos, entre otros. Para integrar estos elementos se creó una capa de puntos y se los ubicaron gráficamente

por medio del complemento Google Satellite en el entorno QGIS, permitiendo obtener una cuantificación más precisa.

Una vez incorporados todos los elementos dentro del análisis, se identificaron aquellos que se encontraban en un radio de 150 metros, medidos desde el centro de la cresta del talud mediante un buffer circular. Para los sistemas de taludes, no se consideraron los elementos de la cresta más baja, debido a que los pocos elementos identificados sobre su superficie ya se encontraban considerados dentro del área de influencia de la cresta superior.

## Figura 11

*Obtención del número de elementos posiblemente afectados*



*Nota.* Elaboración propia.

#### 4.3.2. *Distancia del Elemento Posiblemente Afectado a la Cresta del Talud*

Mediante un análisis visual se identificaron los elementos más próximos a la cresta de cada uno de los taludes. A partir de estas observaciones se generaron capas de puntos de referencia en la infraestructura que se encontraba más cercana a la cresta y otra capa adicional de puntos en la intersección con la misma. El propósito fue obtener las cotas de cada punto a partir de un Modelo Digital de Elevaciones (MDE), del cual se obtuvieron curvas de nivel con una resolución de 10x10, proporcionadas por el Instituto Geográfico Militar (IGM). Se trazó una línea perpendicular desde el punto de referencia hasta su intersección con la cresta del talud.

Finalmente, se calculó la distancia entre ambos puntos usando la Ecuación 12.

$$d = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta h^2} \quad (12)$$

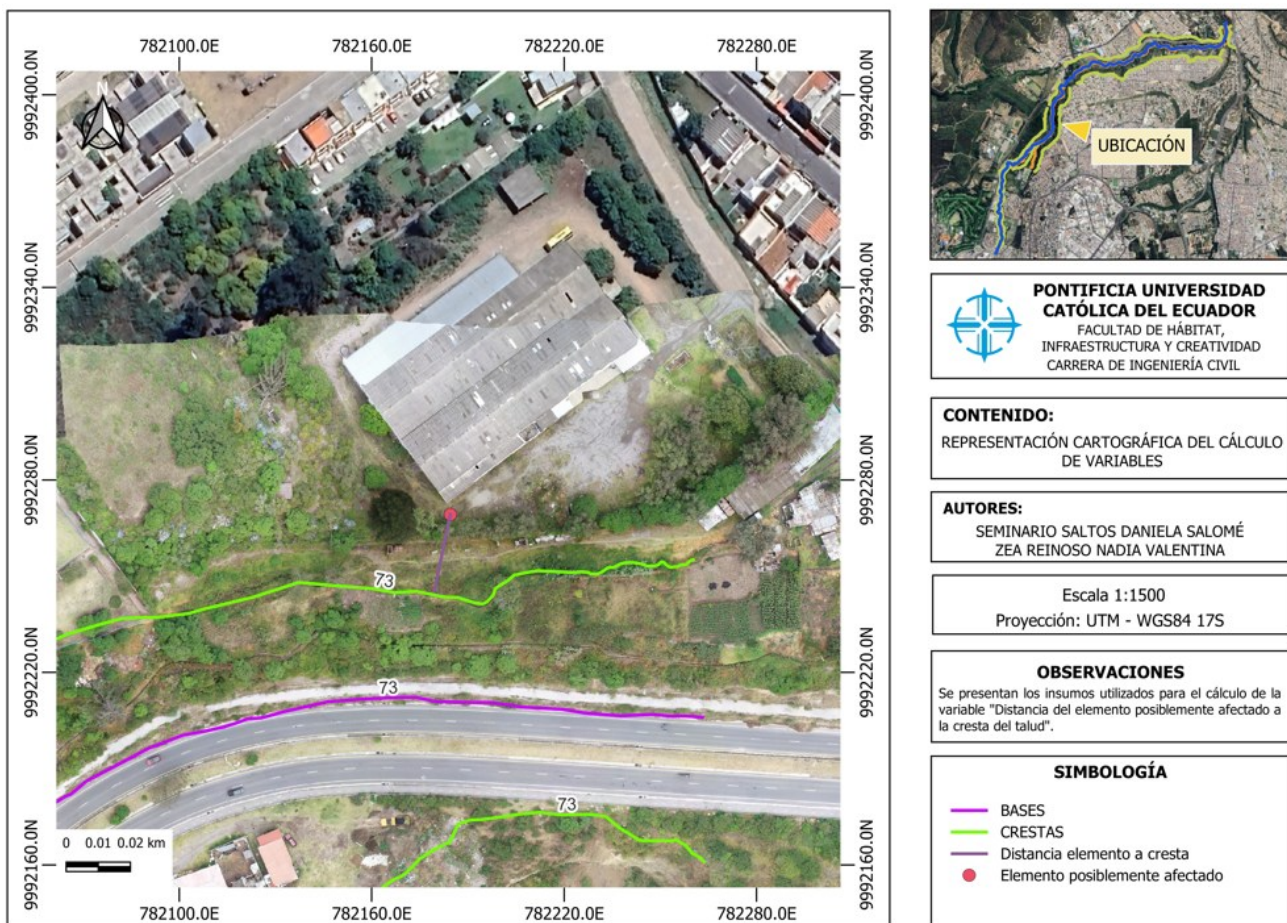
En donde:

- $\Delta x$  corresponde a la distancia horizontal entre el punto de referencia del elemento más cercano y la cresta del talud.
- $\Delta h$  es la diferencia de cotas entre el elemento y la cresta del talud.

En los sistemas de taludes, este proceso se realizó exclusivamente en el talud superior, por presentar los elementos con mayor proximidad a la cresta.

**Figura 12**

*Obtención de la distancia del elemento posiblemente afectado a la cresta del talud*



*Nota.* Elaboración propia.

### 4.3.3. Carga de la Infraestructura en la Cresta del Talud

La determinación del valor referencial se fundamentó en el cálculo del peso por metro cuadrado de una vivienda unifamiliar, con una disposición típica de los elementos estructurales, tales como vigas, losas y columnas.

Cabe señalar que se hizo una generalización, ya que la carga evaluada corresponde únicamente edificaciones de uso habitacional y no contempla otro tipo de infraestructura. Esta decisión responde al área de influencia de los taludes analizados, las construcciones que predominan son viviendas y otras tipologías estructurales presentan una presencia reducida.

De esta manera, se estimó el peso por metro cuadrado de cada uno de los elementos mencionados teniendo como referencia a la NEC – SE – CG (Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, 2014), la cual brinda pesos específicos de distintos materiales de construcción.

En el caso de las vigas, se escogieron vigas principales de 0.40m x 0.20m y vigas secundarias de 0.20m x 0.20m, dispuestas de forma típica en las construcciones dentro de la ciudad. El resultado de la carga total de las vigas se muestra en la Tabla 17.

**Tabla 17**

*Peso aproximado por metro cuadrado de vigas*

<b>Elemento</b>	<b>Volumen (m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Peso Específico (Ton/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Carga (Ton/m<sup>2</sup>)</b>
Viga principal	0.096	2.4473	0.2349
Viga secundaria	0.0532	2.4473	0.1302
<b>Peso total de vigas</b>			<b>0.3651</b>

*Nota.* Elaboración propia.

Para las columnas se definieron dos secciones, la primera con dimensiones de 0.40m x 0.30m y la segunda con dimensiones de 0.15m x 0.15m. Para ambas, se consideró una altura estándar de 2.5m. Con las dimensiones expuestas, se realizó una estimación de la cantidad de columnas y, finalmente, se obtuvo la carga total correspondiente. Los resultados de este cálculo se detallan en la Tabla 18.

**Tabla 18**

*Cálculo del peso aproximado por metro cuadrado de columnas*

<b>Elemento</b>	<b>Volumen (m3)</b>	<b>Peso Específico (Ton/m3)</b>	<b>Carga (Ton/m2)</b>
Columna 0.40m x 0.30m	0.3500	2.4473	0.0814
Columna 0.15m x 0.15m	0.0563	2.4473	0.0058
<b>Peso total de vigas</b>			<b>0.0872</b>

*Nota.* Elaboración propia.

El último elemento estructural considerado corresponde a la losa alivianada, diseñada con un espesor de 0.18m y nervios de 0.20m de ancho. El sistema de alivianamiento se conformó mediante bovedillas de hormigón de 0.60m x 0.20m. A partir de estas características, se obtuvo la carga para ambos elementos, cuyos valores se resumen en la Tabla 19.

**Tabla 19**

*Cálculo del peso aproximado por metro cuadrado de losa alivianada y bovedillas*

<b>Elemento</b>	<b>Volumen (m3)</b>	<b>Peso Específico (Ton/m3)</b>	<b>Carga (Ton/m2)</b>
Losa (1m x 1m x 0.18m)	0.1800	2.4473	0.2878
Bovedilla (0.20m x 0.60m x 0.13m)	0.0156	2.4473	0.0166

*Nota.* Elaboración propia.

Una vez estimadas las cargas correspondientes a cada elemento estructural que conforman la edificación, se realizó la sumatoria de dichos valores para determinar el valor de la carga muerta.

**Tabla 20***Estimación de la carga muerta*

<b>Elemento</b>	<b>Carga (Ton/m<sup>2</sup>)</b>
Vigas	0.3651
Columnas	0.0872
Losa (1m x 1m x 0.18m)	0.2878
Bovedilla (0.20m x 0.60m x 0.13m)	0.0166
<b>Carga muerta</b>	<b>0.7568</b>

*Nota.* Elaboración propia.

La carga viva para viviendas unifamiliares y bifamiliares adquiere un valor de 2 kN/m<sup>2</sup>, según lo establecido en la NEC – SE – CG (Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, 2014). Los valores obtenidos de carga muerta y viva se sometieron a una mayoración de cargas conforme a las disposiciones de la ACI 318-25, aplicando las combinaciones de carga más representativas en el caso de estudio. Se escogió el resultado más desfavorable de ambas combinaciones, es decir 1.23 Ton/m<sup>2</sup>.

**Tabla 21***Cargas mayoradas*

<b>Carga</b>	<b>Carga (Ton/m<sup>2</sup>)</b>
Muerta (D)	0.7568
Viva (L)	0.2039
<b>Combinación de carga</b>	<b>Carga mayorada</b>
1.4D	1.0595
1.2D + 1.6L	1.2345

*Nota.* Elaboración propia.

Posteriormente, se determinó el área acumulada relativa a cada talud considerando las mismas estructuras que intervinieron en el cálculo del número de elementos posiblemente

afectados (Sección 4.2.1). El área se obtuvo en QGIS mediante la calculadora de campos, mientras que la sumatoria se realizó con una tabla dinámica en Excel.

Debido a la variabilidad en el número de plantas de las edificaciones, se seleccionó una muestra de 123 viviendas para determinar el porcentaje de estructuras de dos, tres y cuatro pisos, utilizando la plataforma VisorShot del Distrito Metropolitano de Quito. Los resultados se detallan en la Tabla 22.

**Tabla 22**

*Distribución de viviendas según el número de pisos*

Número de pisos	Número de casas	Porcentaje (%)
Dos	15	12.20
Tres	89	72.36
Cuatro	19	15.45

*Nota.* Elaboración propia.

Para el cálculo de la carga en la cresta de cada talud de análisis, se empleó la Ecuación 13.

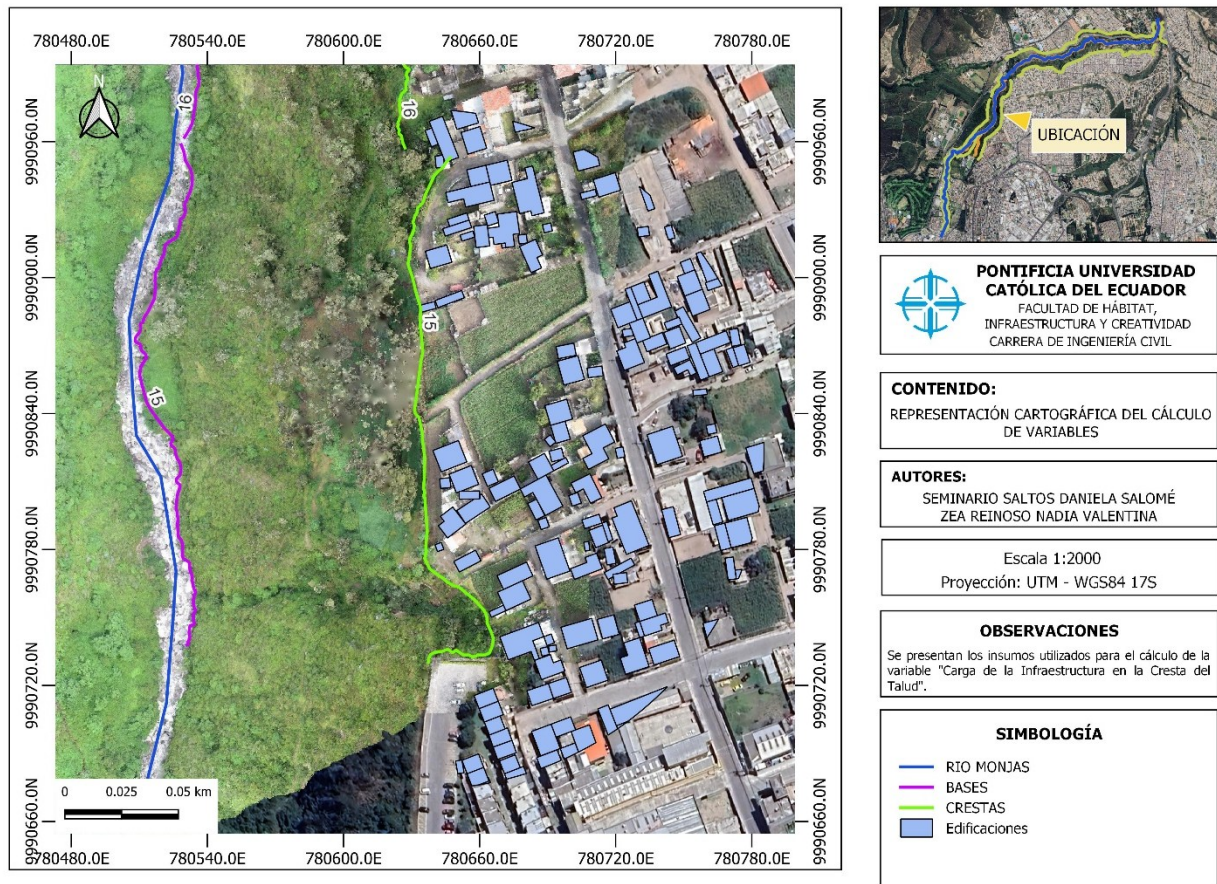
$$Carga\ por\ talud = A * 1.23 \frac{Ton}{m^2} * (p_1 * \%p_1 + p_2 * \%p_2 + p_3 * \%p_3) \quad (13)$$

Donde:

- A es el valor del área acumulada sobre cada talud.
- $p_i$  hace referencia al número de pisos.
- $\%p_i$  indica la fracción porcentual de viviendas según el número de pisos.

**Figura 13**

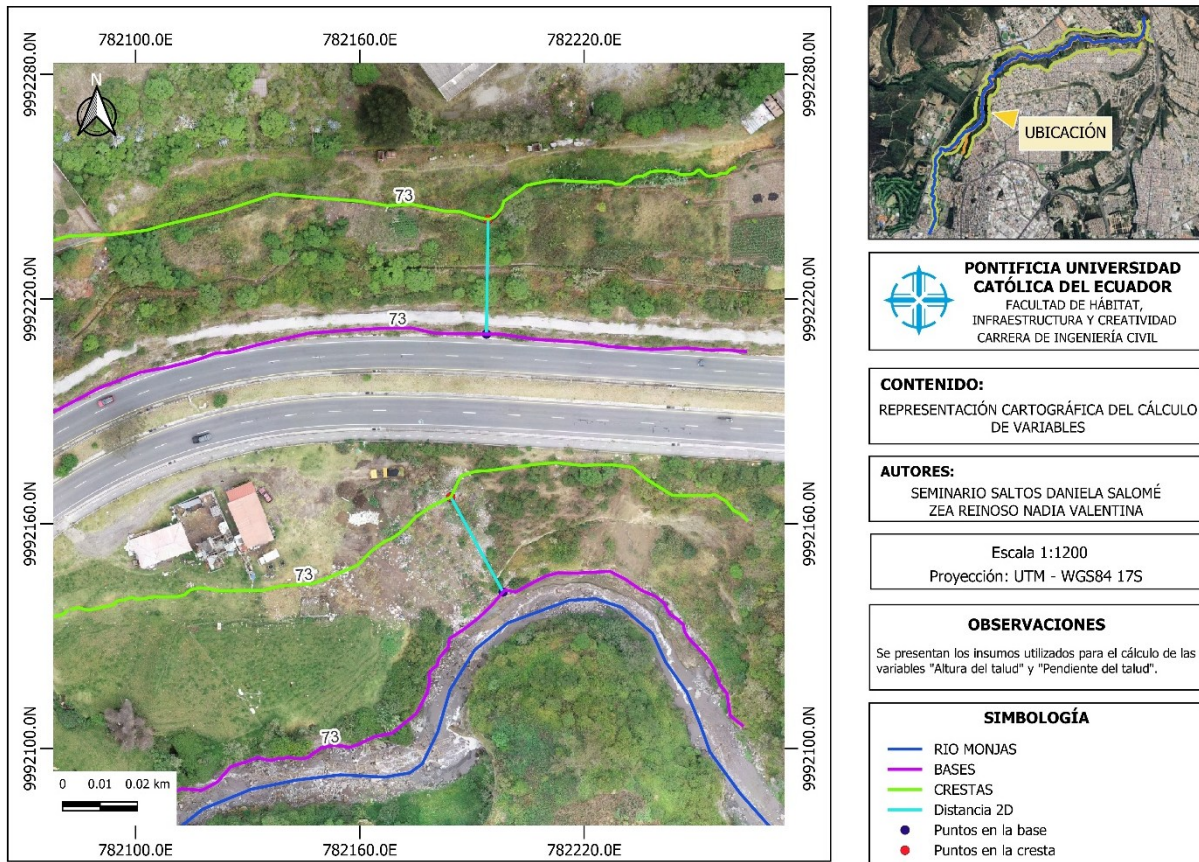
*Obtención de la carga de la infraestructura en la cresta del talud*



*Nota.* Elaboración propia.

#### 4.3.4. *Altura del Talud*

La altura del talud se determinó a partir de la diferencia de cotas entre dos puntos, el primero en el valor más bajo en la línea de base y el segundo en el valor máximo de cota en la línea de la cresta. Ambos se seleccionaron de forma colineal, con el objetivo de precisar la mayor altura posible. En el caso de sistemas conformados por varios taludes, se calculó el promedio de las alturas representativas.

**Figura 14***Obtención de la altura del talud*

*Nota.* Elaboración propia.

#### 4.3.5. Pendiente del Talud

Esta variable está relacionada con la altura (descrita en la Sección 4.3.4). Una vez definida la altura del talud, resulta necesario establecer la longitud. Esta medida se obtuvo mediante una línea que conecta el punto de la base con el de la cresta de cada talud. Con ambos parámetros se utilizó la Ecuación 14 para conocer la pendiente en grados.

$$\text{Pendiente } (^{\circ}) = \tan^{-1}\left(\frac{\text{Altura}}{\text{Longitud}}\right) \quad (14)$$

En los sistemas de taludes se promediaron los resultados individuales de cada uno para poder obtener el valor representativo del conjunto.

#### **4.3.6. Litología**

La litología se generalizó para todo el tramo debido a la escasez de datos de campo. En tramos extensos, como el analizado, realizar ensayos es complejo por la gran cantidad de muestras requeridas y los elevados costos. El Civil Engineering and Development Department (2011) menciona que es posible definir un tipo de suelo una vez se verifique en campo condiciones semejantes de textura y granulometría, lo que permite identificar un material predominante en la zona.

Inicialmente, se utilizó la información de estudios realizados en la zona para distintos proyectos, como es el caso de la vía alterna a la Av. Jaime Roldós Aguilera. En dicho proyecto se realizaron ensayos a calicatas extraídas de distintos puntos dentro del tramo de análisis, determinándose que el suelo predominante correspondía al tipo SM (arenas limosas). Con base a este resultado, se asignó una calificación generalizada de 2 (peligro bajo) a todos los puntos evaluados.

Posteriormente, para el segundo cálculo se verificaron los resultados iniciales mediante ensayos de laboratorio, aplicados específicamente en los taludes críticos (taludes No. 73 y No. 15). Los ensayos realizados incluyeron la granulometría del suelo (ASTM D6913), límites de Atterberg (ASTM D4318) y la clasificación SUCS (ASTM D2487). Las evidencias correspondientes se presentan en el Anexo B, mientras que los informes de los resultados de los ensayos de laboratorio se encuentran en el Anexo C.

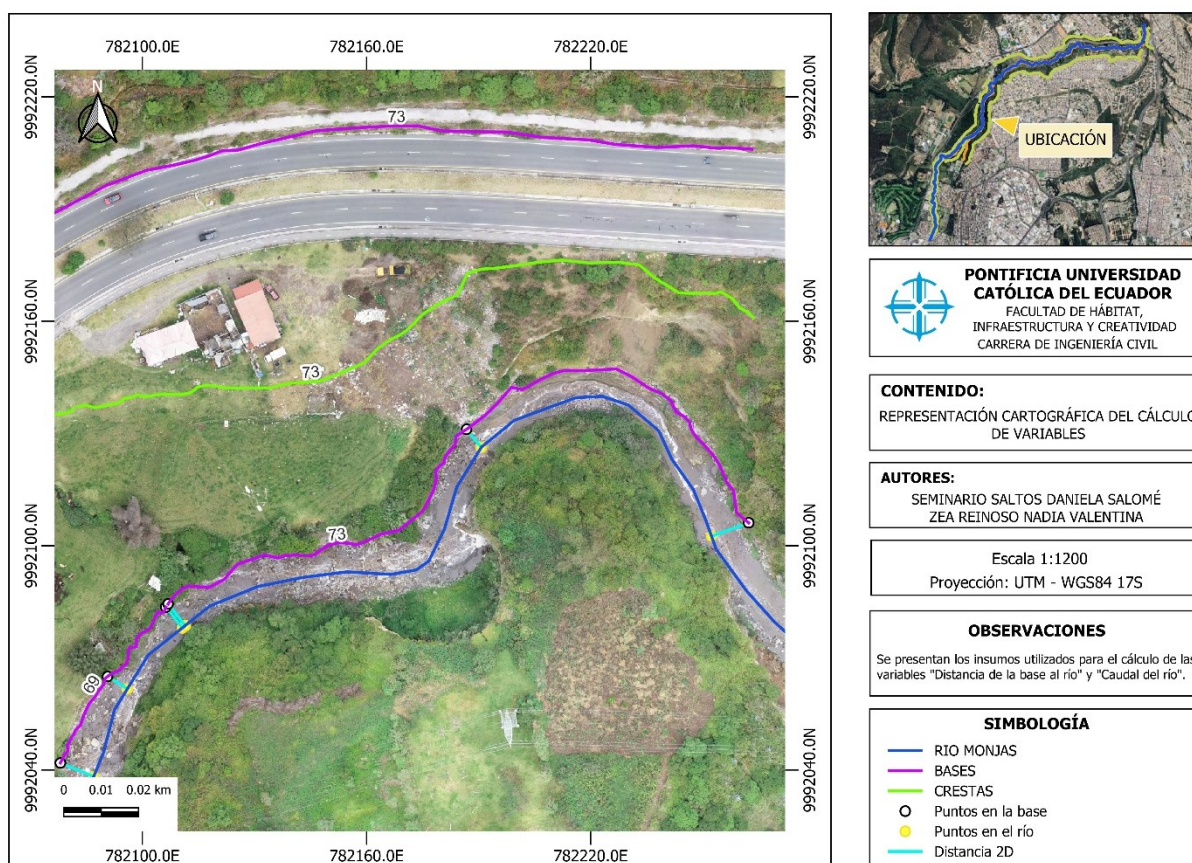
Con la información recopilada se concluyó que el tipo de suelo predominante en la zona es un SM (arenas limosas), caracterizados por una baja cohesión, permeabilidad media y una sensibilidad elevada a procesos de saturación.

#### 4.3.7. Distancia del Río a la Base del Talud

En las bases previamente delimitadas de los taludes se establecieron tres puntos de referencia que corresponden al inicio, centro y al final de la base de cada talud. De estos puntos se extrajeron sus respectivas cotas mediante las curvas de nivel y a partir de ellos se proyectaron líneas perpendiculares hasta intersectar con el río. El cálculo de la distancia entre puntos se realizó siguiendo el mismo proceso descrito en la Sección 4.3.2, aplicando la Ecuación 12, la cual considera el relieve del terreno.

### Figura 15

*Obtención de la distancia del río a la base del talud*



*Nota.* Elaboración propia.

#### 4.3.8. Caudal del Río

Se tomó como referencia la Figura 16, que establece valores de caudal aproximados a lo largo del río Monjas para un periodo de retorno de 100 años. Dichos valores corresponden

al aporte de las distintas cuencas que descargan en el río. De todos los registros disponibles, se seleccionaron únicamente aquellos relevantes para el tramo analizado, cuya longitud total es de 21.40 km. Los datos seleccionados se resumen en la Tabla 23.

### Figura 16

*Caudales para un periodo de retorno de 100 años en cuencas tributarias del río Monjas*

Cuenca	Q (m <sup>3</sup> /s)
El Colegio	98,28
Parcayacu	121,43
Einstein	125,44
Pusuquí	151,03
Corazón de Jesús	157,05
Q. Carretas	167,35
San José 1	172,13
San José 2	177,23
Curiquingue	183,15
Sta. Teresa	189,03
Pacorrumi	194,84
Quijarhuaycu	201,27
Cantera Sta. Rosa	204,92
San Cayetano	205,55
Las Lojanas	210,7
Pofasa	217,2
Humbolt	224,57
Santa Ana	255,83

*Nota.* Tomado de *Consultoría para la Elaboración del Plan de Gestión Integral de Riesgos de la Cuenca del Río Monjas – Informe Final* por M. Rivera, 2016, p. 36

(<https://goo.su/2Mx04hw>)

### Tabla 23

*Síntesis de los caudales representativos para el estudio*

Cuenca	Q (m <sup>3</sup> /s)
Q. Carretas	167.35
San José 2	177.23
Sta. Teresa	189.03
Pacorrumi	194.84
Quijarhuaycu	201.27
Las Lojanas	210.70

*Nota.* Elaboración propia.

Debido a que la información recopilada no incluía las coordenadas de cada punto, se realizó en QGIS un trazado semejante al presentado en el estudio de referencia. Esta representación se presenta en la Figura 17.

### Figura 17

#### *Cuencas aportantes del río Monjas*

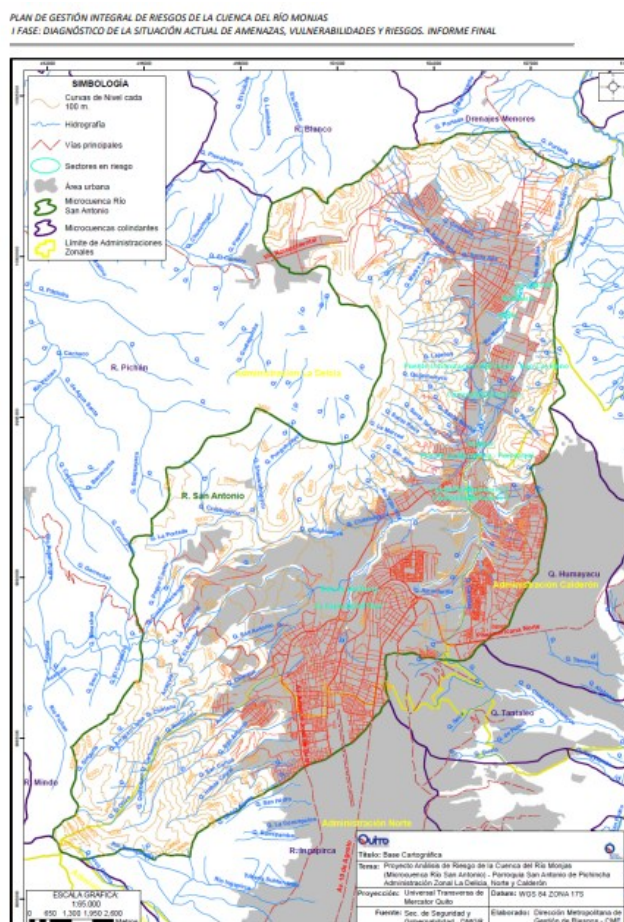


Figura 3.2. Cuenca del Río Monjas. Área urbanizada en color gris. Fuente DMGR

*Nota.* Tomado de *Consultoría para la Elaboración del Plan de Gestión Integral de Riesgos de la Cuenca del Río Monjas – Informe Final* por M. Rivera, 2016, p. 65

(<https://goo.su/2Mx04hw>)

A partir del trazado, se calcularon las longitudes acumuladas de cada cuenca aportante respecto al inicio del tramo. Estos valores se expresan en función de la longitud total del río

considerada, que como se mencionó anteriormente es de 21.40 km y, se presentan en la Tabla 24.

**Tabla 24**

*Distribución de las cuencas tributarias según la distancia acumulada*

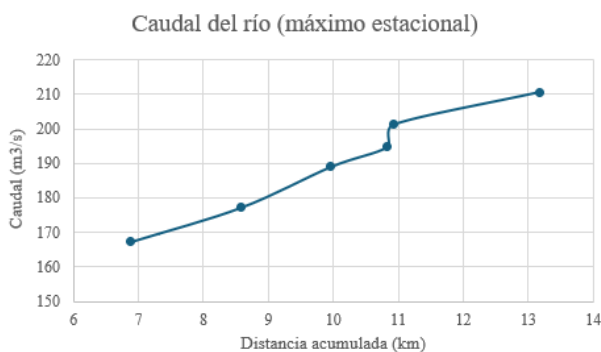
<b>Cuenca</b>	<b>Distancia acumulada (Km)</b>
Q. Carretas	6.8835
San José 2	8.5752
Sta. Teresa	9.9596
Pacorrumi	10.8326
Quijarhuaycu	10.9244
Las Lojanas	13.1809

*Nota.* Elaboración propia.

A partir de estos resultados, se construyó una curva de regresión polinómica, que permitió estimar valores de caudal en otros puntos del río a partir del conjunto de datos disponibles. La curva ajustada se incluye en la Figura 18 y corresponde a la Ecuación 15.

**Figura 18**

*Curva de regresión polinómica para estimación del caudal*



*Nota.* Elaboración propia.

$$y = -0.617x^2 + 10.457x + 101.87 \quad (15)$$

Para determinar los caudales asociados a cada talud, se emplearon los tres puntos definidos en la Sección 4.2.7 para la variable de la distancia de la base al río. Dichos puntos fueron proyectados a través de líneas perpendiculares desde los mismos hasta el cauce. Estos valores fueron sustituidos en la Ecuación 15, generando tres resultados por talud. El caudal representativo para cada caso se consideró como el promedio de estos valores.

#### **4.3.9. Longitud del Talud**

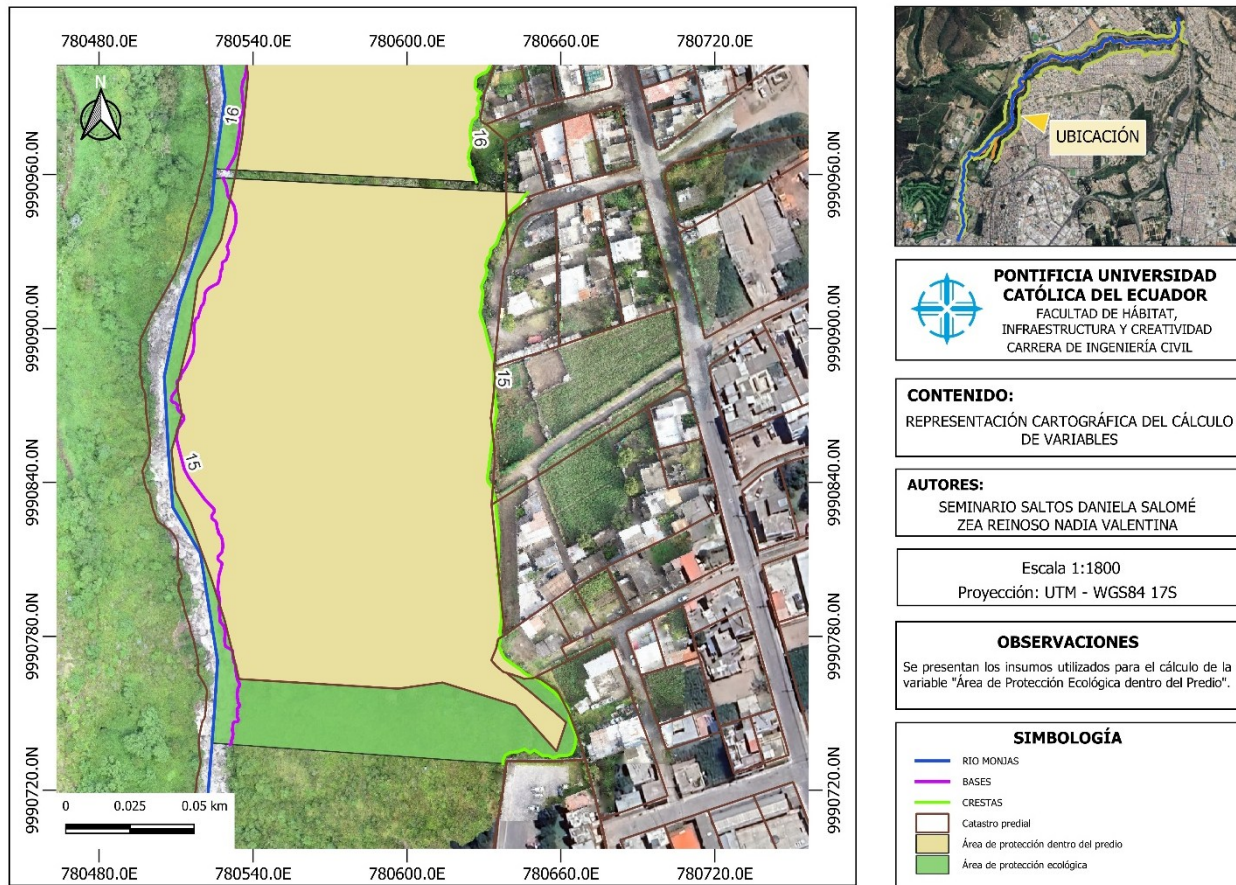
La longitud del talud se midió a partir del trazado de la cresta, limitando su extensión máxima de 300 metros para mantener concordancia con el área de influencia empleada en otras variables, como el número de elementos posiblemente afectados (Sección 4.3.1). El valor final se determinó con las herramientas de medición de QGIS (\$length en la calculadora de campos).

#### **4.3.10. Área de Protección Ecológica dentro del Predio**

La fuente de información principal para esta variable fue el archivo shape del catastro predial del Distrito Metropolitano de Quito, facilitado por el MDMQ. El análisis permitió cuantificar el área inutilizable de los predios, entendida como el área que está comprendida dentro del propio talud.

Para esto se construyó una capa de polígonos, que abarcaba el espacio entre el río y la cresta del talud. Debido a la presencia de múltiples predios parcialmente expuestos, los resultados se sistematizaron mediante tablas dinámicas para consolidar áreas comprometidas en cada talud.

Dicha sistematización fue la que arrojó el valor final y se la llevó a cabo mediante la generación de una tabla dinámica en Excel, en la cual se consolidaron las áreas comprometidas para cada talud.

**Figura 19***Obtención del área de protección ecológica dentro del predio*

*Nota.* Elaboración propia.

#### 4.4. Construcción de la Matriz de Comparación por Pares (AHP)

Como se explicó en la Sección 2.10.2, la matriz de comparación de orden 10 x 10 requirió de la jerarquización de las variables, la cual se fundamentó en los criterios técnicos sobre la incidencia de cada factor, asignando un nivel de importancia a cada variable en función de su incidencia en el riesgo por deslizamiento, expresado en la Tabla 25.

**Tabla 25***Determinación de relevancia conforme a criterios técnicos*

<b>Orden de Importancia</b>	<b>Código Asignado</b>	<b>Variable</b>
<b>1</b>	C1	Número de elementos posiblemente afectados
<b>2</b>	C3	Carga de la infraestructura en la cresta del talud
<b>3</b>	C5	Pendiente del talud
<b>4</b>	C4	Altura del talud
<b>5</b>	C2	Distancia del elemento posiblemente afectado a la cresta del talud
<b>6</b>	C6	Litología
<b>7</b>	C7	Distancia de la base al río
<b>8</b>	C8	Caudal del río (máximo estacional)
<b>9</b>	C9	Longitud del talud
<b>10</b>	C10	Área de protección ecológica dentro del predio

*Nota.* Elaboración propia.

Los valores asignados a las variables dentro de la matriz fueron definidos conforme a la escala de Saaty, que se explica a mayor profundidad en la Tabla 2. En base a dicha metodología, en la Figura 20 se presenta la matriz de comparación realizada en Excel.

**Figura 20**

*Matriz de Comparación por pares de los 10 criterios*

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10
C1	1.000	4.000	1.000	2.000	2.000	2.000	3.000	3.000	4.000	7.000
C2	0.250	1.000	0.333	0.500	0.500	2.000	2.000	3.000	5.000	3.000
C3	1.000	3.000	1.000	3.000	2.000	2.000	2.000	2.000	4.000	5.000
C4	0.500	2.000	0.333	1.000	1.000	1.000	2.000	2.000	3.000	7.000
C5	0.500	2.000	0.500	1.000	1.000	1.000	2.000	3.000	3.000	5.000
C6	0.500	0.500	0.500	1.000	1.000	1.000	2.000	2.000	3.000	5.000
C7	0.333	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	1.000	2.000	3.000	5.000
C8	0.333	0.333	0.500	0.500	0.333	0.500	0.500	1.000	2.000	4.000
C9	0.250	0.200	0.250	0.333	0.333	0.333	0.333	0.500	1.000	3.000
C10	0.143	0.333	0.200	0.143	0.200	0.200	0.200	0.250	0.333	1.000
SUMA	4.810	13.867	5.117	9.976	8.867	10.533	15.033	18.750	28.333	45.000

*Nota.* Elaboración propia.

#### 4.5. Determinación de Pesos de Criterios

El peso de cada criterio se obtuvo mediante la normalización de la matriz que, como se explica en la Sección 2.10.3, se realiza dividiendo cada elemento por la suma de su respectiva columna, como se muestra en la Ecuación 4. De esta forma, la suma de cada columna da como resultado 1, como se muestra en la Figura 21.

**Figura 21**

*Resultados de la normalización de la matriz*

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10
C1	0.208	0.288	0.195	0.200	0.226	0.190	0.200	0.160	0.141	0.156
C2	0.052	0.072	0.065	0.050	0.056	0.190	0.133	0.160	0.176	0.067
C3	0.208	0.216	0.195	0.301	0.226	0.190	0.133	0.107	0.141	0.111
C4	0.104	0.144	0.065	0.100	0.113	0.095	0.133	0.107	0.106	0.156
C5	0.104	0.144	0.098	0.100	0.113	0.095	0.133	0.160	0.106	0.111
C6	0.104	0.036	0.098	0.100	0.113	0.095	0.133	0.107	0.106	0.111
C7	0.069	0.036	0.098	0.050	0.056	0.047	0.067	0.107	0.106	0.111
C8	0.069	0.024	0.098	0.050	0.038	0.047	0.033	0.053	0.071	0.089
C9	0.052	0.014	0.049	0.033	0.038	0.032	0.022	0.027	0.035	0.067
C10	0.030	0.024	0.039	0.014	0.023	0.019	0.013	0.013	0.012	0.022
	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

*Nota.* Elaboración propia.

Con base a los resultados derivados de la normalización de la matriz, se elaboró la Tabla 26, la cual presentan los pesos relativos de los criterios dispuestos en el orden de importancia.

**Tabla 26***Pesos de cada variable*

<b>Código asignado</b>	<b>Variable</b>	<b>Peso</b>
<b>C1</b>	Número de elementos posiblemente afectados	0.196
<b>C3</b>	Carga de la infraestructura en la cresta del talud	0.183
<b>C5</b>	Pendiente del talud	0.116
<b>C4</b>	Altura del talud	0.112
<b>C2</b>	Distancia del elemento posiblemente afectado a la cresta del talud	0.102
<b>C6</b>	Litología	0.100
<b>C7</b>	Distancia de la base al río	0.075
<b>C8</b>	Caudal del río (máximo estacional)	0.057
<b>C9</b>	Longitud del talud	0.037
<b>C10</b>	Área de protección ecológica dentro del predio	0.021

*Nota.* Elaboración propia.

#### **4.6. Verificación del Índice de Consistencia (CR)**

Para garantizar la consistencia de los juicios emitidos en la matriz de comparación por pares (Figura 20), se calcularon el índice de consistencia (CI) y el índice de consistencia relativo (CR), siguiendo el procedimiento descrito en las Secciones 2.10.6 y 2.10.7.

Para poder verificar la coherencia se inició con el cálculo del vector M, producto entre la matriz de comparación y el vector de pesos relativos. Cada componente del vector resultante se divide para el peso relativo de cada variable y se promedian los resultados, obteniendo de esta forma  $\lambda_{m\acute{a}x}$ , valor que representa el máximo propio de la matriz. Con este resultado se procedió a calcular el índice de consistencia (CI) mediante la Ecuación 9.

El índice de consistencia se dividió para el índice aleatorio (RI), que, para el presente estudio, al haberse consideraron diez variables, el RI correspondiente fue de 1.49. De esta

manera, el CR obtenido fue de 4.42%, cuyo valor menor al 10% establecido por el método indica que los juicios propuestos inicialmente tienen un nivel aceptable de consistencia.

Finalmente, una vez comprobada la consistencia de la matriz de comparación por pares, se definió el Índice de Riesgo por Deslizamiento (LRI). Este indicador combina componentes físicos propios de cada talud y componentes antrópicos a los que se encuentra sujeto, tales como las cargas por infraestructura. El cálculo se realizó mediante la Ecuación 16.

$$LRI = \sum_{i=1}^n W_i * V_i \quad (16)$$

En donde:

$W_i$  corresponde al peso relativo de cada variable.

$V_i$  representa el valor de la categorización asignado a cada variable, en una escala del 1 al 5.

## **4.7. Validación de Resultados Mediante Inspección de Campo**

### **4.7.1. Levantamiento Fotogramétrico con Dron**

Con el fin de garantizar la veracidad de los resultados obtenidos en el presente proyecto, se realizó una verificación en campo mediante el uso de un dron DJI Phantom 4 Pro (Anexo D). En primer lugar, se realizó una inspección de campo, en la cual se evaluó la accesibilidad del terreno y se seleccionaron las zonas más adecuadas para la operación del equipo. La elección de dichos sitios consideró la necesidad de contar con zonas libres de obstáculos, como cables o vegetación, y con superficies planas que permitieran un despegue y aterrizaje seguros.

En total se realizaron dos vuelos, los cuales fueron planificados con el aplicativo Map Pilot y en donde se delimitaron polígonos que abarcaban principalmente la extensión de los

taludes críticos, asegurando la captura de imágenes aéreas con la resolución necesaria para el estudio (Anexo E).

El procesamiento de las imágenes obtenidas se realizó con el software Agisoft PhotoScan Pro, a través del cual se obtuvo el Modelo Digital de Elevación (MDE) y, en consecuencia, las ortofotos y las curvas de nivel actualizadas (Anexo F). Estos productos constituyeron un insumo fundamental para la corrección de los distintos parámetros de análisis, que influyen directamente en la evaluación del riesgo.

## **5. Capítulo V. Análisis de Resultados**

En este capítulo se presentan y analizan los resultados obtenidos en cada una de las variables a partir de la aplicación del análisis multicriterio AHP en conjunto con el uso de herramientas SIG. Dichos insumos permiten identificar las zonas con mayor riesgo a deslizamiento en el tramo analizado.

Los resultados se estructuran en tres etapas: la obtención de los pesos de las variables mediante AHP, la identificación de los puntos con mayor riesgo y la verificación de los resultados a través de observaciones de campo.

### **5.1. Presentación de Resultados**

#### ***5.1.1. Resultados del Análisis AHP y Pesos de las Variables***

Los resultados del método AHP indicaron que variables como el número de elementos posiblemente afectados y la carga de la infraestructura en la cresta del talud presentan un mayor peso dentro del modelo, mientras que otras como la longitud del talud reflejan una influencia menor, como se puede visualizar en la Tabla 26.

A partir del procesamiento de los datos obtenidos en QGIS para cada talud y la aplicación del método AHP, se obtuvo una calificación final la cual toma el nombre de *Índice*

de Riesgo de Deslizamiento (LRI). En la Figura 22 se encuentran descritos el número del talud y su respectivo LRI.

**Figura 22**

*Índice de Riesgo por Deslizamiento (LRI) correspondiente a los 114 taludes analizados*

Previo a la salida de campo					
N° de Talud	Índice de Riesgo por Deslizamiento (LRI)	N° de Talud	Índice de Riesgo por Deslizamiento (LRI)	N° de Talud	Índice de Riesgo por Deslizamiento (LRI)
1	3.15	39	2.46	77	3.59
2	3.30	40	2.57	78	3.92
3	2.59	41	2.93	79	3.70
4	2.66	42	2.72	80	3.96
5	3.11	43	3.04	81	3.70
6	2.71	44	2.82	82	4.01
7	2.95	45	3.32	83	3.59
8	2.56	46	2.76	84	3.56
9	1.82	47	3.28	85	3.74
10	2.17	48	2.74	86	3.68
11	2.83	49	3.26	87	3.84
12	2.98	50	2.36	88	3.87
13	3.53	51	2.86	89	3.78
14	3.80	52	2.92	90	3.65
15	4.02	53	3.06	91	3.64
16	3.66	54	3.34	92	3.45
17	2.96	55	3.67	93	3.66
18	3.61	56	3.47	94	3.00
19	3.29	57	3.74	95	3.54
20	3.41	58	3.96	96	2.90
21	3.47	59	3.30	97	3.80
22	3.36	60	3.90	98	2.96
23	2.62	61	3.88	99	3.84
24	3.31	62	3.50	100	2.52
25	2.95	63	3.87	101	3.94
26	3.33	64	3.79	102	3.06
27	3.08	65	3.70	103	3.70
28	3.06	66	3.67	104	3.06
29	3.10	67	3.66	105	3.42
30	3.12	68	3.51	106	3.09
31	2.67	69	3.82	107	3.78
32	2.48	70	3.43	108	2.74
33	2.21	71	3.92	109	3.55
34	2.22	72	3.85	110	2.64
35	2.26	73	4.09	111	2.60
36	2.46	74	3.24	112	2.55
37	2.47	75	3.76	113	3.19
38	2.32	76	3.92	114	2.61

*Nota.* Elaboración propia.

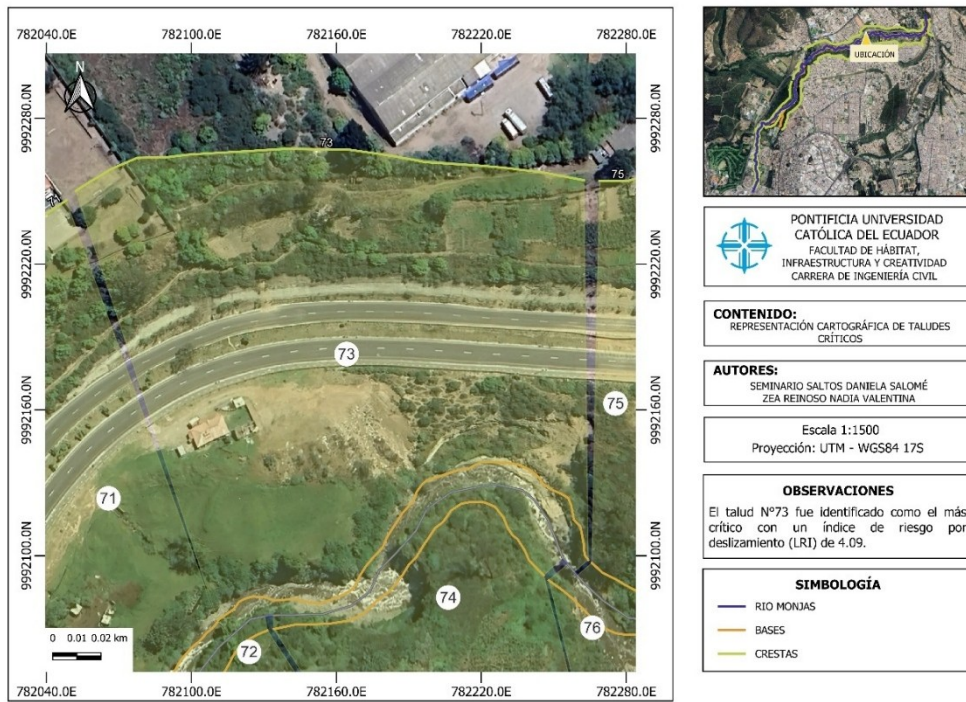
### 5.1.2. Identificación de los Puntos con Mayor Riesgo de Deslizamiento

Una vez comparados los valores del Índice de Riesgo por Deslizamiento de cada talud, se determinó que los puntos más críticos corresponden al talud No. 15 y el No. 73, con

valores de LRI de 4.02 y 4.09 respectivamente. Para una mejor apreciación, las Figuras 23 y 24 presentan de forma visual la configuración de los taludes mencionados.

**Figura 23**

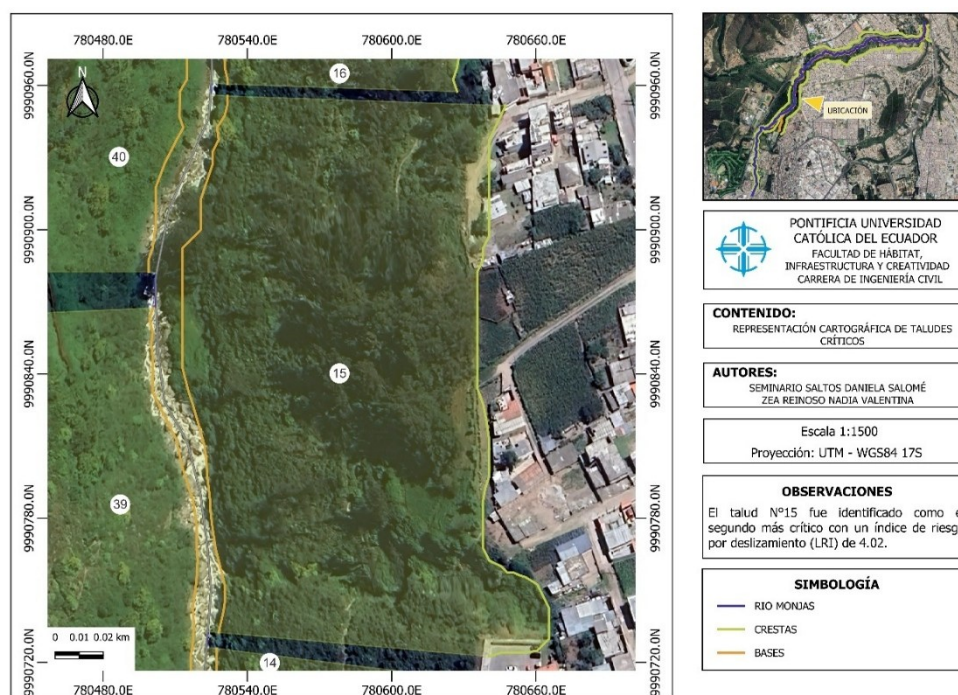
*Representación cartográfica del talud No. 73*



*Nota.* Elaboración propia.

**Figura 24**

*Representación cartográfica del talud No. 15*



*Nota.* Elaboración propia.

De manera complementaria, las Tablas 27 y 28 presentan las fichas de calificación elaboradas antes de la inspección de campo.

**Tabla 27**

*Ficha de calificación preliminar del talud No. 73*

Variable	Unidad	Talud 73	Peso
No. de elementos posiblemente afectados	#	175	5
Distancia del elemento vulnerable a la cresta del talud	m	4.73	5
Carga de la infraestructura en la cresta	Ton	50879.92	5
Altura del talud	m	73	4
Pendiente del talud	°	23.17	3
Litología	SUCS	SM	2
Distancia del río a la base del talud	m	8.07	4
Caudal del río (máximo estacional)	m <sup>3</sup> /s	154.48	2

Longitud del talud	m	214.77	5
Área de protección ecológica dentro del predio	m <sup>2</sup>	27893.29	4
<b>Índice de Riesgo por Deslizamiento (LRI)</b>			4.09

*Nota.* Elaboración propia.

## Tabla 28

*Ficha de calificación preliminar del talud No. 15*

Variable	Unidad	Talud 15	Peso
No. de elementos posiblemente afectados	#	154	5
Distancia del elemento vulnerable a la cresta del talud	m	0	5
Carga de la infraestructura en la cresta	Ton	22292.65	4
Altura del talud	m	83	4
Pendiente del talud	°	36.44	4
Litología	SUCS	SM	2
Distancia del río a la base del talud	m	7.14	4
Caudal del río (máximo estacional)	m <sup>3</sup> /s	130.48	2
Longitud del talud	m	267.36	5
Área de protección ecológica dentro del predio	m <sup>2</sup>	23460.8	4
<b>Índice de Riesgo por Deslizamiento (LRI)</b>			4.02

*Nota.* Elaboración propia.

## 5.2. Verificación de Resultados

### 5.2.1. Resultados en la Observación de Campo

Se ejecutó una salida de campo, que tuvo como objetivo capturar insumos topográficos más precisos y actualizados mediante el uso de un dron; de esta forma, se obtuvieron recursos indispensables para el desarrollo del proyecto como las curvas de nivel y una ortofoto.

A partir de los datos fotogramétricos se efectuaron las correcciones necesarias en el trazado de crestas, bases y en la capa correspondiente al río Monjas, así como en las diez

variables consideradas en el análisis. Estas modificaciones se aplicaron tanto a los taludes críticos como a los taludes aledaños para los cuales fue posible obtener información topográfica a partir del vuelo con dron, lo que permitió alcanzar una mayor precisión y veracidad en los resultados finales.

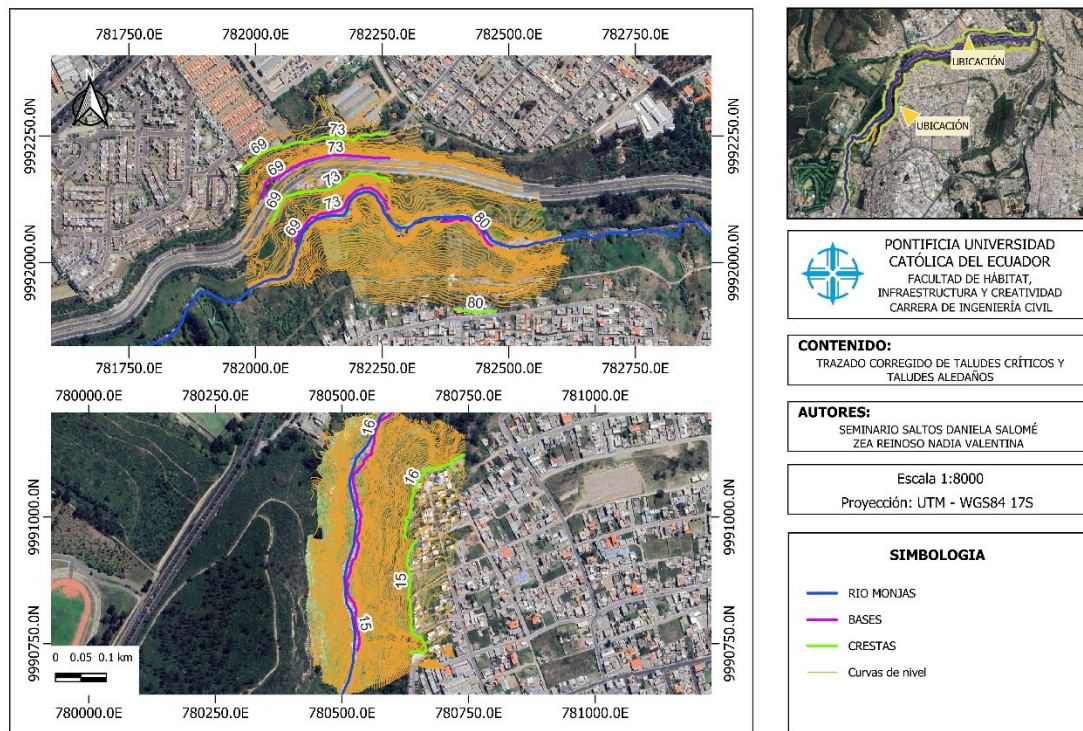
En este contexto, antes de la salida de campo se hizo un reconocimiento de la zona mediante la herramienta *Street View* de Google Earth, con el propósito de identificar los accesos hacia el talud crítico. Durante esta visita se realizó un vuelo con el dron que permitió capturar principalmente las imágenes de los taludes No.73 y No. 15, así como de los taludes No.16, 71 y 80. Con estos datos se efectuó un recálculo de las distintas variables y, por ende, la modificación de los valores de LRI correspondientes a los cinco taludes corregidos. Dichos resultados se resumen en la Figura 25.

Figura 25

*Índices de Riesgo por Deslizamiento tras corrección de datos*

Posterior a la salida de campo					
Nº de Talud	Índice de Riesgo por Deslizamiento (LRI)	Nº de Talud	Índice de Riesgo por Deslizamiento (LRI)	Nº de Talud	Índice de Riesgo por Deslizamiento (LRI)
1	3.15	39	2.46	77	3.59
2	3.30	40	2.57	78	3.92
3	2.59	41	2.93	79	3.70
4	2.66	42	2.72	80	3.96
5	3.11	43	3.04	81	3.70
6	2.71	44	2.82	82	4.01
7	2.95	45	3.32	83	3.59
8	2.56	46	2.76	84	3.56
9	1.82	47	3.28	85	3.74
10	2.17	48	2.74	86	3.68
11	2.83	49	3.26	87	3.84
12	2.98	50	2.36	88	3.87
13	3.53	51	2.86	89	3.78
14	3.80	52	2.92	90	3.65
15	4.02	53	3.06	91	3.64
16	3.68	54	3.34	92	3.45
17	2.96	55	3.67	93	3.66
18	3.61	56	3.47	94	3.00
19	3.29	57	3.74	95	3.54
20	3.41	58	3.96	96	2.90
21	3.47	59	3.30	97	3.80
22	3.36	60	3.90	98	2.96
23	2.62	61	3.88	99	3.84
24	3.31	62	3.50	100	2.52
25	2.95	63	3.87	101	3.94
26	3.33	64	3.79	102	3.06
27	3.08	65	3.70	103	3.70
28	3.06	66	3.67	104	3.06
29	3.10	67	3.66	105	3.42
30	3.12	68	3.51	106	3.09
31	2.67	69	3.82	107	3.78
32	2.48	70	3.43	108	2.74
33	2.21	71	3.32	109	3.55
34	2.22	72	3.85	110	2.64
35	2.26	73	3.83	111	2.60
36	2.46	74	3.24	112	2.55
37	2.47	75	3.76	113	3.19
38	2.32	76	3.92	114	2.61

*Nota.* Elaboración propia.

**Figura 26***Modificaciones efectuadas en el trazado*

*Nota.* Elaboración propia.

En este sentido, la integración de la información en QGIS permitió representar gráficamente los ajustes realizados. La Figura 26 ofrece una síntesis visual de dichas modificaciones, lo que constituye un respaldo del proceso que se describió anteriormente.

Una vez realizados todos los ajustes pertinentes, tanto en el trazado como en los resultados de las mediciones de cada variable, se procedió a la elaboración de una nueva ficha para ambos puntos críticos con la finalidad de obtener los valores de LRI ajustados. Estos resultados se encuentran en las Tabla 29 y 30, presentadas a continuación.

**Tabla 29***Ficha de calificación ajustada del talud No. 73*

<b>Variable</b>	<b>Unidad</b>	<b>Talud 73</b>	<b>Peso</b>
<b>No. de elementos posiblemente afectados</b>	#	124	5
<b>Distancia del elemento vulnerable a la cresta del talud</b>	m	13.63	4
<b>Carga de la infraestructura en la cresta</b>	Ton	21943.18	4
<b>Altura del talud</b>	m	30	2
<b>Pendiente del talud</b>	°	45.17	5
<b>Litología</b>	SUCS	SM	2
<b>Distancia del río a la base del talud</b>	m	8.15	4
<b>Caudal del río (máximo estacional)</b>	m <sup>3</sup> /s	154.58	2
<b>Longitud del talud</b>	m	206.49	5
<b>Área de protección ecológica dentro del predio</b>	m <sup>2</sup>	32028.26	5
<b>Índice de Riesgo por Deslizamiento (LRI)</b>		3.83	

*Nota.* Elaboración propia.**Tabla 30***Ficha de calificación ajustada del talud No. 15*

<b>Variable</b>	<b>Unidad</b>	<b>Talud 15</b>	<b>Peso</b>
<b>No. de elementos posiblemente afectados</b>	#	148	5
<b>Distancia del elemento vulnerable a la cresta del talud</b>	m	0	5
<b>Carga de la infraestructura en la cresta</b>	Ton	21129.29	4
<b>Altura del talud</b>	m	84	4
<b>Pendiente del talud</b>	°	40.36	4
<b>Litología</b>	SUCS	SM	2

<b>Distancia del río a la base del talud</b>	m	5.64	4
<b>Caudal del río (máximo estacional)</b>	m <sup>3</sup> /s	130.58	2
<b>Longitud del talud</b>	m	272.99	5
<b>Área de protección ecológica dentro del predio</b>	m <sup>2</sup>	22694.37	4
<b>Índice de Riesgo por Deslizamiento (LRI)</b>		4.02	

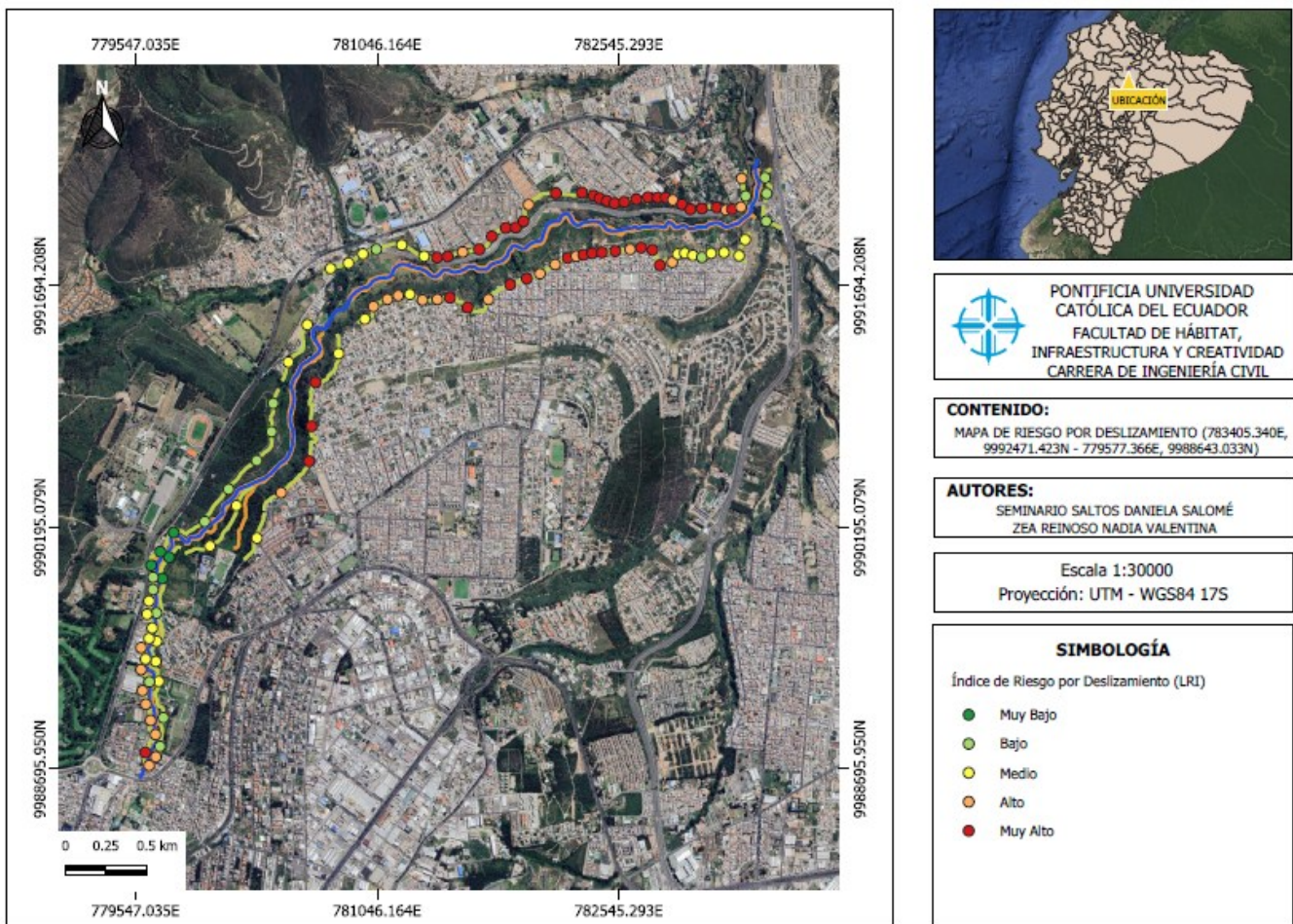
*Nota.* Elaboración propia.

Es importante señalar que el talud No.73 obtuvo un LRI final menor ya que existió un cambio significativo en su configuración. Inicialmente se consideró como un talud simple debido a que el trazado se había realizado en función de curvas de nivel desactualizadas pertenecientes al IGM. Sin embargo, luego de verificar en campo y la obtención de topografía reciente se concluyó que correspondía a un sistema de taludes, en cuyo centro se encuentra atravesada por la calle De Los Narcisos. Es por esta razón que el análisis tuvo un enfoque diferente y las variables variaron en sus resultados.

Por el contrario, el talud 15 mantuvo su valor de LRI de 4.02, lo cual refleja que el terreno no ha sufrido cambios considerables en su topografía. Este resultado se justifica porque las curvas de nivel obtenidas a partir del vuelo fotogramétrico con dron coinciden con las curvas iniciales, de modo que la calificación asignada a cada variable permaneció inalterada. En consecuencia, este talud se posiciona como una de las zonas prioritarias dentro del área de estudio.

### **5.2.2. Mapa de Riesgos**

Con los valores de LRI corregidos, se elaboró una representación gráfica en QGIS que simboliza el nivel de riesgo de los taludes analizados. El mapa, presentado en la Figura 27, clasifica los resultados en cinco rangos: Muy Bajo (1.82 - 2.26), Bajo (2.26 - 2.70), Medio (2.70 - 3.14), Alto (3.14 - 3.58) y Muy Alto (3.58 - 4.02).

**Figura 27***Mapa de riesgo por deslizamiento*

*Nota.* Elaboración propia.

### 5.2.3. *Discusión de Resultados*

La drástica reducción del LRI del talud No. 73 se debió principalmente a aspectos topográficos que no fueron considerados originalmente por la baja resolución y fiabilidad de las curvas de nivel empleadas en la evaluación inicial.

Las variables antropológicas presentaron las modificaciones significativas, ya que se constató que la afectación potencial era inferior a la planteada inicialmente. Un ejemplo claro es el número de elementos posiblemente afectados, pasaron de 175 a tan solo 124. Dicha variable se relaciona directamente con la carga de la infraestructura en la cresta del talud, la

cual en un principio se estimaba que era de 50879.92 Ton y, tras las correcciones, se redujo a 21943.18 Ton; una diferencia de más de 25000 Ton que evidencia la sobreestimación en aquellas variables.

Otra discrepancia se presentó en el *área de protección ecológica dentro del predio*, variable que representa el área inutilizable de los predios cercanos al río Monjas, la cual tuvo un incremento de más de 4000 m<sup>2</sup> respecto al valor inicial. En cuanto a la *distancia del elemento expuesto a la cresta del talud*, el primer análisis sugería una mayor proximidad de 4.73 m, mientras que la corrección arrojó un valor de 13.63 m, reflejando una menor exposición de las infraestructuras.

La geometría del talud también experimentó cambios considerables: la altura del talud disminuyó de 73 m a 30 m, mientras que la pendiente se incrementó de 23.17° a 45.17°; lo que provocó que la calificación pasara de 3 a 5.

VARIABLES COMO *el caudal del río, la litología, la longitud del talud y la distancia de la base al río* no tuvieron variaciones relevantes por lo que el peso dentro de la calificación se mantuvo igual a la estimación original.

Estas alteraciones confirman la importancia de contar con insumos topográficos actualizados para garantizar la confiabilidad de los resultados. La segunda evaluación, al estar más ajustada a la realidad, establece una base sólida para la planificación futura de medidas de prevención y mitigación, que permitan una gestión efectiva por parte de las autoridades competentes en las zonas vulnerables aledañas al río Monjas.

En contraste con el talud No. 73, el talud No. 15 mantuvo su Índice de Riesgo de Deslizamiento (LRI) en 4.02, lo que confirma que las condiciones topográficas y las variables evaluadas inicialmente se ajustan a la realidad del terreno. Este resultado ratifica a la zona

como prioritaria dentro del área de estudio, una conclusión que se ve respaldada por la evidencia visual de movimientos de masa previos (ver Anexo G).

En este punto se concentra una elevada cantidad de elementos vulnerables (148 elementos) y una ocupación urbana directa en la línea de cresta del talud (0 m), lo que evidencia una invasión a la franja de seguridad establecida por el Municipio. Esta densidad constructiva, concentrada en un área aproximada de 8452 m<sup>2</sup>, genera una sobrecarga de 21130 Ton sobre una ladera con geometría desfavorable, caracterizada por una altura promedio de 84 m, una pendiente de 40° y una longitud de 273 m. Desde el punto de vista hidrológico, el caudal y la proximidad de la base al río aceleran los procesos de erosión lateral.

## **6. Capítulo VI. Conclusiones y Recomendaciones**

### **6.1. Conclusiones**

- Del análisis teórico, se determinó que las variables más críticas en la evaluación del riesgo son las estructurales y sociales. Al asignar los pesos en la matriz, el número de elementos posiblemente afectados y la carga derivada de la infraestructura superaron a los factores detonantes, como el caudal del río. En consecuencia, la inestabilidad en la zona se configura como una amenaza cuyos factores de mayor impacto son los de carácter antrópico.
- Las observaciones en campo permitieron corroborar la eficacia predictiva del modelo en los tramos de mayor peligrosidad, siempre que las variaciones topográficas no sean significativas. Esto se evidenció en el talud No. 15, donde el Índice de Riesgo de Deslizamiento (LRI) se mantuvo constante tras la verificación. El hallazgo confirma que la categorización planteada en

función de las características del área de estudio refleja con precisión la distribución del riesgo, validando la consistencia del enfoque metodológico y su utilidad como herramienta de apoyo para la gestión territorial.

- El estudio evidenció que depender exclusivamente de cartografía oficial, como la proporcionada por el IGM, conlleva un margen de error significativo en la gestión de riesgos urbanos, siendo el caso del talud No. 73 la evidencia más contundente de esta limitación, pues su categorización inicial como el punto de mayor riesgo fue corregida tras el levantamiento fotogramétrico con dron, que reveló que en realidad se trataba de un sistema de taludes y redujo su LRI en un 6.40 %, lo que confirma que la metodología AHP aplicada en entornos urbanos debe complementarse con validaciones topográficas de alta precisión in situ para evitar sesgos.
- La evaluación efectuada establece que el Índice de Riesgo de Deslizamiento (LRI) sirve exclusivamente como una herramienta de priorización para la planificación territorial, y no como un parámetro de diseño ingenieril. El LRI permite a las autoridades identificar dónde intervenir primero (como el talud No. 15 con un LRI de 4.02) dentro de un tramo de 7.18 km. Sin embargo, este índice no sustituye el cálculo de factores de seguridad necesarios para el diseño de obras de estabilización.
- La integración de los resultados ratifica que el riesgo de deslizamientos en el cauce del río Monjas se configura como un fenómeno multidimensional, condicionado por la interacción entre factores geomorfológicos y geotécnicos, factores hidrológicos, factores estructurales y antrópicos, y factores socio – territoriales. La investigación destaca que estos dos últimos son los de mayor

incidencia en la inestabilidad observada. La aplicación del modelo AHP, complementada con la verificación en campo, permitió identificar con precisión las zonas de mayor riesgo y confirmar la validez del enfoque metodológico, lo que consolida un marco de referencia sólido.

## 6.2. Recomendaciones

- Se propone trascender el alcance de priorización territorial del índice LRI para ejecutar, a corto plazo, campañas de exploración geotécnica in situ de sectores críticos. Esto permitirá determinar parámetros geomecánicos esenciales, como la cohesión y el ángulo de fricción reales, a través de ensayos especializados. Dichos insumos resultan indispensables para calcular factores de seguridad y diseñar sistemas de contención, procesos que requieren una precisión técnica que los modelos predictivos no pueden ofrecer por sí solos.
- Se recomienda integrar sistemáticamente levantamientos fotogramétricos con dron o LiDAR para la actualización catastral en zonas de riesgo, desestimando el uso exclusivo de cartografía a gran escala para análisis de detalle. La discrepancia detectada en la morfología del terreno demuestra que la precisión topográfica no es opcional, sino determinante para evitar diagnósticos erróneos.
- Considerando que variables relacionadas con la exposición y carga de infraestructuras demostraron tener una mayor incidencia en el riesgo, es fundamental que la administración municipal refuerce la aplicación de la normativa vigente respecto a las franjas de protección de quebradas y taludes. Se sugiere implementar mecanismos de control más rigurosos para evitar la consolidación de nuevos asentamientos en zonas de borde y evaluar la

viabilidad de procesos de reubicación progresiva en los sectores más críticos, mitigando así la exposición de la población.

- Dada la predominancia de arenas limosas (SM), un material altamente sensible a la saturación se vuelve apremiante el mejoramiento de los sistemas de drenaje superficial y subterráneo. Las medidas de mitigación no deben limitarse a la estabilización mecánica, sino priorizar el control de aguas lluvias y servidas, entendiendo que la infiltración no controlada actúa como el detonante principal de la pérdida de resistencia al corte en este tipo de suelos.
- Se promueve incorporar la metodología del Proceso de Análisis Jerárquico (AHP) acoplado a Sistemas de Información Geográfica (SIG), validada mediante inspección de campo, como un protocolo estándar para la evaluación de riesgos en otros tramos del río Monjas y cuencas urbanas con características similares, ya que ha demostrado ser una herramienta eficaz para jerarquizar zonas de intervención con recursos limitados.

## 7. Referencias Bibliográficas

- Aguirre Paladines, M. A. (2023). *Evaluación temporal de movimientos en masa asociados a la actividad fluvial del Río Monjas* [Trabajo de integración curricular, Escuela Politécnica Nacional]. Repositorio Digital Institucional de la Escuela Politécnica Nacional. <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/24881>
- Albarracín, D. y Aucay, A. (2024). *Análisis de la susceptibilidad a deslizamientos mediante técnicas geomáticas del cantón Santa Isabel, provincia del Azuay* [Tesis de Grado, Universidad Politécnica Salesiana]. DSpace UPS. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/28063/1/UPS-CT011457.pdf>
- Arias, F. G. (2012). *El proyecto de investigación: Introducción a la metodología científica*. Episteme C.A.
- Birkmann, J. (2006). *Measuring vulnerability to promote disaster-resilient societies: Conceptual frameworks and definitions*. United Nations University Press. [https://www.researchgate.net/profile/Joern-Birkmann-2/publication/313569981\\_Measuring\\_vulnerability\\_to\\_promote\\_disaster-resilient\\_societies\\_Conceptual\\_frameworks\\_and\\_definitions/links/68971a69d3c4ac316e2f1c60/Measuring-vulnerability-to-promote-disaster-resilient-societies-Conceptual-frameworks-and-definitions.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Joern-Birkmann-2/publication/313569981_Measuring_vulnerability_to_promote_disaster-resilient_societies_Conceptual_frameworks_and_definitions/links/68971a69d3c4ac316e2f1c60/Measuring-vulnerability-to-promote-disaster-resilient-societies-Conceptual-frameworks-and-definitions.pdf)
- Cabrera, E. (2021). *Diseño integral reactivador urbano y reductor de riesgos en la cuenca media del río Monjas* [Tesis de Grado, Universidad Central del Ecuador]. Repositorio Digital UCE. <https://www.dspace.uce.edu.ec/entities/publication/c2a742a1-b4fa-454d-a978-47ecbf0d0f2d>

Cargua, C. (2022). *Análisis de susceptibilidad al deslizamiento utilizando el Proceso de Jerarquía Analítica (AHP) en SIG en el tramo vial Puyo – Tena*. [Tesis de Grado, Universidad Regional Amazónica IKIAM]. Repositorio IKIAM.

[https://repositorio.ikiam.edu.ec/jspui/handle/RD\\_IKIAM/561](https://repositorio.ikiam.edu.ec/jspui/handle/RD_IKIAM/561)

Cargua, C., Espin, R., Valencia, B., Simbaña, M., Araujo, S., Cornejo, C. y Ocampos, A. (2024). Análisis de susceptibilidad a deslizamientos empleando el proceso de jerarquía analítica en una carretera amazónica del Ecuador, *La Granja: Revista de Ciencias de la Vida*, 39(1), 116–136. <https://doi.org/10.17163/lgr.n39.2024.07>

HIDROPLAN. (2025). *Estudio de Prefactibilidad, Factibilidad, Impactos Ambientales, Ingeniería Definitivo y Diseños Complementarios de la Vía Alternativa de la Av. Jaime Roldós Aguilera en el Sector de los Mastodontes, Ubicado en la Parroquia de Carcelén, Provincia de Pichincha* [Informe técnico no publicado].

Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres [CENEPRED]. (2014). *Guía metodológica para la estimación del riesgo por deslizamientos en el ámbito local*.

<https://www.cenepred.gob.pe/web/portal/descargas/publicaciones/guia-deslizamientos.pdf>

Civil Engineering and Development Department. (2011). *Geotechnical Manual for Slopes* (2.<sup>a</sup> ed.). Geotechnical Engineering Office.

[https://www.cedd.gov.hk/filemanager/eng/content\\_91/egms.pdf](https://www.cedd.gov.hk/filemanager/eng/content_91/egms.pdf)

Clavijo, A. y Malavé, J. (2020). *Evaluación de amenazas por deslizamientos asociados a factores hidroclimáticos en sectores de Loja y Manabí*. [Tesis de Grado, Escuela Superior Politécnica del Litoral]. Repositorio Digital ESPOL.

<https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/54871/1/T-70666%20CLAVIJO%20-%20MALAVE.pdf>

Cobos, S. y Lima, A. (2019). *Deslizamientos: Caracterización de sus factores morfológicos y ambientales*. [Proyecto de investigación, Universidad Católica de Cuenca]. Centro de Investigación, Innovación y Transferencia de Tecnología.

[https://investigacion.ucacue.edu.ec/projects/proyectos\\_2022/PICCIITT19-08.pdf](https://investigacion.ucacue.edu.ec/projects/proyectos_2022/PICCIITT19-08.pdf)

Concejo Metropolitano de Quito. (2024). Ordenanza PMDOT-PUGS No. 003 - 2024. *Plan Metropolitano de Desarrollo y Ordenamiento Territorial*.

<https://www.quito.gob.ec/wp-content/uploads/2025/04/1.-PMDOT-2024-2033.pdf>

D'Ercole, R. y Trujillo, M. (2003). *Amenazas, vulnerabilidad, capacidades y riesgo en el Ecuador*. COOPI; OXFAM-GB; IRD. <https://hal.science/hal-01191420/>

Das, B. y Sobhan, K. (2018). *Principles of Geotechnical Engineering* (9.<sup>a</sup> ed.). Cengage Learning.

Donoso, J. (2017). *Análisis de riesgos ante la amenaza de deslizamiento a las orillas de la quebrada Chusig en la Urbanización Santa Mónica Alta, parroquia de Conocoto, zona del Valle de los Chillos, Ciudad de Quito*. [Tesis de Grado, Universidad Internacional del Ecuador]. Repositorio Digital UIDE.

<https://repositorio.uide.edu.ec/bitstream/37000/1833/1/T-UIDE-1152.pdf>

Duncan, J. M., Wright, S. G. y Brandon, T. L (2014). *Soil Strength and Slope Stability* (2.<sup>a</sup> ed.). John Wiley & Sons.

El Comercio. (10 de noviembre de 2018). Los taludes del río Monjas registran una mayor erosión. *El Comercio*. <https://www.elcomercio.com/actualidad/quito/taludes-rio-monjas-erosion-quito/>

- González, L. I., Ferrer, M., Ortuño, L. y Oteo, C. (2002). *Ingeniería Geológica* (I. Capella, Ed.). Pearson Educación.
- Grupo de Evaluación de Riesgos. (2014). *Metodologías para la Determinación de Riesgos de Desastres Naturales a Nivel Territorial*. DIPECHO-LAC.  
<https://dipecholac.net/docs/files/475-libro-metodologia-riesgo-ama.pdf>
- Hernández-Sampieri, R. y Mendoza, C. P. (2018). *Metodología de la investigación: Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*.
- Hungr, O., Fell, R., Couture, R. y Eberhardt, E. (Eds.). (2005). *Landslide Risk Management: Proceedings of the International Conference on Landslide Risk Management*. CRC Press / Taylor & Francis Group. <https://es.scribd.com/document/924368683/Ebook-Landslide-Risk-Management-by-Oldrich-Hungr-Robin-Fell-Rejean-Couture-Erik-Eberhardt-ISBN-9780415380430-9781439833711-041538043X-14398337>
- Ingeniería Geotécnica. (s.f.). *¿Qué es el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS)?* <https://www.ingeotecnica.com/sistema-unificado-de-clasificacion-de-suelos-sucs>
- Lambe, T. William. y Whitman, R. V. (2004). *Mecánica de suelos* (1.ª ed.). Limusa.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2017). *Guía Metodológica para la Estimación del Caudal Ambiental*. MADS. [https://acmineria.com.co/acm/wp-content/uploads/normativas/guia\\_ca\\_version\\_cp.pdf](https://acmineria.com.co/acm/wp-content/uploads/normativas/guia_ca_version_cp.pdf)
- Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda [MIDUVI]. (2014). *Norma Ecuatoriana de la Construcción: Cargas (no sísmicas)*. <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/2023/03/1.-NEC-SE-CG-Cargas-No-Sismicas.pdf>

Monteiro, J. S., Padilha, D. G. y Cruz, J. C. (2016). Protocol of factors assessment influential in susceptibility to erosion of river slopes. *Revista Árvore*, 40(5), 815–823.

<https://doi.org/10.1590/0100-67622016000500005>

Municipio del Distrito Metropolitano de Quito [MDMQ] (2024). *Plan Metropolitano de Desarrollo y Ordenamiento Territorial 2024–2033: Diagnóstico territorial.*

[www7.quito.gob.ec/mdmq\\_ordenanzas/Administración%202023-](http://www7.quito.gob.ec/mdmq_ordenanzas/Administración%202023-)

[2027/Sesiones%20de%20Concejo/2024/Sesión%20058%20Ordinaria%202024-04-](http://www7.quito.gob.ec/mdmq_ordenanzas/Administración%202023-2027/Sesiones%20de%20Concejo/2024/Sesión%20058%20Ordinaria%202024-04-)

[\[001/INICIATIVA/1.PMDOT\\\_2024\\\_2033/Apéndices%20PMDOT/01%20APÉNDIC\]\(http://www7.quito.gob.ec/mdmq\_ordenanzas/Administración%202023-2027/Sesiones%20de%20Concejo/2024/Sesión%20058%20Ordinaria%202024-04-23/II.%20IC-ORD-CPE-2024-001/INICIATIVA/1.PMDOT\_2024\_2033/Apéndices%20PMDOT/01%20APÉNDIC\)](http://www7.quito.gob.ec/mdmq_ordenanzas/Administración%202023-2027/Sesiones%20de%20Concejo/2024/Sesión%20058%20Ordinaria%202024-04-23/II.%20IC-ORD-CPE-2024-</a></p>
</div>
<div data-bbox=)

[ES%20DIAGNOSTICO/Apéndice%202.pdf](http://www7.quito.gob.ec/mdmq_ordenanzas/Administración%202023-2027/Sesiones%20de%20Concejo/2024/Sesión%20058%20Ordinaria%202024-04-23/II.%20IC-ORD-CPE-2024-001/INICIATIVA/1.PMDOT_2024_2033/Apéndices%20PMDOT/01%20APÉNDICES%20DIAGNOSTICO/Apéndice%202.pdf)

Municipio del Distrito Metropolitano de Quito. (2019). *Diagnóstico de la situación de riesgo cuenca Río Monjas.*

[https://www7.quito.gob.ec/mdmq\\_Ordenanzas/Administraci%C3%B3n%202019-](https://www7.quito.gob.ec/mdmq_Ordenanzas/Administraci%C3%B3n%202019-)

[2023/Sesiones%20de%20Concejo/2019/Sesi%C3%B3n%20Ordinaria%202019-09-](https://www7.quito.gob.ec/mdmq_Ordenanzas/Administraci%C3%B3n%202019-2023/Sesiones%20de%20Concejo/2019/Sesi%C3%B3n%20Ordinaria%202019-09-)

[10/IV.%20Informe%20R%C3%ADo%20Monjas/DIAGNOSTICO%20SITUACI%C](https://www7.quito.gob.ec/mdmq_Ordenanzas/Administraci%C3%B3n%202019-2023/Sesiones%20de%20Concejo/2019/Sesi%C3%B3n%20Ordinaria%202019-09-10/IV.%20Informe%20R%C3%ADo%20Monjas/DIAGNOSTICO%20SITUACI%C)

[3%93N%20DE%20RIESGO\\_CUENCA%20R%C3%8DO%20MONJAS/2\\_ANEXO](https://www7.quito.gob.ec/mdmq_Ordenanzas/Administraci%C3%B3n%202019-2023/Sesiones%20de%20Concejo/2019/Sesi%C3%B3n%20Ordinaria%202019-09-10/IV.%20Informe%20R%C3%ADo%20Monjas/DIAGNOSTICO%20SITUACI%C3%93N%20DE%20RIESGO_CUENCA%20R%C3%8DO%20MONJAS/2_ANEXO)

[S/Anexo%206%20%20Identificacion%20de%20Actores/Anexo%206.%20\(3\).pdf](https://www7.quito.gob.ec/mdmq_Ordenanzas/Administraci%C3%B3n%202019-2023/Sesiones%20de%20Concejo/2019/Sesi%C3%B3n%20Ordinaria%202019-09-10/IV.%20Informe%20R%C3%ADo%20Monjas/DIAGNOSTICO%20SITUACI%C3%93N%20DE%20RIESGO_CUENCA%20R%C3%8DO%20MONJAS/2_ANEXOS/Anexo%206%20%20Identificacion%20de%20Actores/Anexo%206.%20(3).pdf)

Municipio del Distrito Metropolitano de Quito. (2019). *Ordenanza Metropolitana No. 060-2023: Infraestructura Verde-Azul.* [https://www.quito.gob.ec/documents/ord-060-](https://www.quito.gob.ec/documents/ord-060-2023-met_-_infraestructura_verde-azul.pdf)

[2023-met\\_-\\_infraestructura\\_verde-azul.pdf](https://www.quito.gob.ec/documents/ord-060-2023-met_-_infraestructura_verde-azul.pdf)

Municipio del Distrito Metropolitano de Quito. (2024). *Ordenanza Metropolitana No. 072-*

*2024. Código Municipal.* <https://www.gob.ec/sites/default/files/regulations/2024->

[11/CODIGO\\_MUNICIPAL\\_ORDE072-2024\\_pag\\_1-300.pdf](https://www.gob.ec/sites/default/files/regulations/2024-11/CODIGO_MUNICIPAL_ORDE072-2024_pag_1-300.pdf)

- Lind, D. A., Marchal, W. G. y Wathen, S. A. (2015). *Estadística aplicada a los negocios y la economía*.
- Lohr, S. L. (2022). *Sampling: Design and analysis* (3.<sup>a</sup> ed.). Chapman and Hall/CRC.
- Osorio, J., & Orejuela, J. (2008). El Proceso de Análisis Jerárquico (AHP) y la Toma de Decisiones Multicriterio. Ejemplo de Aplicación. *Scientia Et Technica*, 2(39), 247-252. <https://www.redalyc.org/pdf/849/84920503044.pdf>
- Quevedo, J. y Ramírez, N. (2024). *Efecto de la permeabilidad del suelo en la estabilidad de taludes de vías, Moyobamba 2024* [Tesis de Grado, Universidad César Vallejo]. Repositorio Institucional UCV. [https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/170719/Quevedo\\_BJD-Ramirez\\_HN-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/170719/Quevedo_BJD-Ramirez_HN-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Reyes Rivero, A. C., Montilla Pacheco, A. D. J., Castillo García, P. G. y Zambrano Vera, M. N. (2017). Amenaza, vulnerabilidad y riesgo ante eventos naturales. Factores socialmente construidos. *Journal of Science and Research*, 2(6), 22-28. <https://revistas.utb.edu.ec/index.php/sr/article/view/146/pdf>
- Rivera, M. (2016a). *Consultoría para la Elaboración del Plan de Gestión Integral de Riesgos de la Cuenca del Río Monjas – Informe Final*. Municipio del Distrito Metropolitano de Quito. <https://goo.su/2Mx04hw>
- Rivera, M. (2016b). *Consultoría para la Elaboración del Plan de Gestión Integral de Riesgos de la Cuenca del Río Monjas – Resumen Ejecutivo*. Municipio del Distrito Metropolitano de Quito. [https://www7.quito.gob.ec/mdmq\\_ordenanzas/Administraci%C3%B3n%202019-2023/Sesiones%20de%20Concejo/2019/Sesi%C3%B3n%20Ordinaria%202019-09-](https://www7.quito.gob.ec/mdmq_ordenanzas/Administraci%C3%B3n%202019-2023/Sesiones%20de%20Concejo/2019/Sesi%C3%B3n%20Ordinaria%202019-09-)

10/IV.%20Informe%20R%C3%ADo%20Monjas/DIAGNOSTICO%20SITUACI%C3%93N%20DE%20RIESGO\_CUENCA%20R%C3%8DO%20MONJAS/5\_RESUMEN%20EJECUTIVO/Resumen%20Ejecutivo%20Cuenca%20Rio%20Monjas.pdf

Rodrigo, L. (2017). *Análisis de Estabilidad de Taludes en la Carretera Lajas – Ajipampa* [Tesis de Grado, Universidad Nacional de Cajamarca]. Repositorio Institucional UNC.

<https://repositorio.unc.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14074/1411/TESIS.pdf?sequence=1>

Saaty, T. L. (1980). How to make a decision: The Analytic Hierarchy Process. *European Journal of Operational Research*, 48(1), 9–26. [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(90\)90057-I](https://doi.org/10.1016/0377-2217(90)90057-I)

Servicio Nacional de Gestión de Riesgos y Emergencias. (2020). *Informe de Situación No. 02 - Eventos peligrosos, Río Monjas, 27 de noviembre de 2020*.  
<https://www.gestionderiesgos.gob.ec/wp-content/uploads/2021/08/Informe-de-Situacion-No-02-Eventos-Monjas-27112020.pdf>

Sirko, W., Kashubin, S., Ritter, M., Annkah, A., Bouchareb, Y. S. E., Dauphin, Y., Keyzers, D., Neumann, M., Cisse, M. y Quinn, J. (2021). *Continental-Scale Building Detection from High Resolution Satellite Imagery*. Cornell University.  
<https://doi.org/10.48550/arXiv.2107.12283>

Sociedad Mexicana de Ingeniería Geotécnica A.C. (s.f). *Desarrollo de un software para la clasificación de suelos*.  
[https://www.academia.edu/27450654/Desarrollo\\_de\\_un\\_software\\_para\\_la\\_clasificaci%C3%B3n\\_de\\_suelos\\_Development\\_of\\_software\\_for\\_the\\_classification\\_of\\_soils](https://www.academia.edu/27450654/Desarrollo_de_un_software_para_la_clasificaci%C3%B3n_de_suelos_Development_of_software_for_the_classification_of_soils)

- Terzaghi, Karl., Peck, R. B., & Mesri, Gholamreza. (1996). *Soil Mechanics in Engineering Practice* (3rd ed.). Wiley-Interscience.
- U.S. Geological Survey (USGS). *Landslide Types and Processes* (Fact Sheet 2004–3072).  
<https://pubs.usgs.gov/fs/2004/3072/>
- United Nations Office for Disaster Risk Reduction [UNDRR]. (2015). *Sendai Framework for Disaster Risk Reduction 2015–2030*. <https://www.undrr.org/publication/sendai-framework-disaster-risk-reduction-2015-2030>
- Vargas, L. G. (1990). An overview of the analytic hierarchy process and its applications. *European Journal of Operational Research*, 48(1), 2–8. [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(90\)90056-H](https://doi.org/10.1016/0377-2217(90)90056-H)

8. Anexos

Anexo A. Fichas de calificación correspondientes a los 114 taludes

Talud No.	Valor de la Variable / Calificación	C1 (#)	C2 (m)	C3 (Ton)	C4 (m)	C5 (°)	C6 (SUCS)	C7 (m)	C8 (m <sup>2</sup> /s)	C9 (m)	C10 (m <sup>2</sup> )	LRI
1	Valor de la Variable	119	5.29	22576.13	14	39.58	SM	9.22	103.00	64.19	0.00	3.15
	Calificación	4	4	4	1	4	2	4	1	2	1	
2	Valor de la Variable	89	0.00	17969.80	26	52.03	SM	12.05	103.44	75.97	460.63	3.30
	Calificación	4	5	3	2	5	2	4	1	2	1	
3	Valor de la Variable	47	7.51	7288.14	21	53.38	SM	8.75	104.10	56.80	127.21	2.59
	Calificación	2	4	2	2	5	2	4	1	1	1	
4	Valor de la Variable	23	0.00	10854.17	20	52.33	SM	11.42	105.88	311.09	3106.00	2.66
	Calificación	1	5	2	2	5	2	4	1	5	2	
5	Valor de la Variable	50	12.98	18424.51	23	49.07	SM	6.49	108.27	180.84	642.93	3.11
	Calificación	3	4	3	2	5	2	4	1	5	1	
6	Valor de la Variable	73	32.54	17353.03	12	42.50	SM	7.62	110.24	106.33	149.28	2.71
	Calificación	3	3	3	1	4	2	4	1	3	1	
7	Valor de la Variable	78	1.98	19781.21	5	43.62	SM	7.74	111.56	163.10	634.55	2.95
	Calificación	3	5	3	1	4	2	4	1	4	1	
8	Valor de la Variable	46	0.00	9179.18	10	44.49	SM	15.48	113.59	401.60	3791.70	2.56
	Calificación	2	5	2	1	4	2	3	1	5	2	
9	Valor de la Variable	3	169.46	0.00	16	44.87	SM	6.76	115.83	90.91	361.08	1.82
	Calificación	1	1	1	2	4	2	4	1	2	1	
10	Valor de la Variable	2	130.86	0.00	17	45.21	SM	10.93	117.85	186.08	2963.34	2.17
	Calificación	1	2	1	2	5	2	4	1	5	2	
11	Valor de la Variable	33	34.86	14243.32	44	42.70	SM	8.61	121.15	318.91	1055.96	2.83
	Calificación	2	3	3	3	4	2	4	1	5	2	
12	Valor de la Variable	74	0.00	10783.86	26	33.14	SM	11.29	124.01	307.31	18515.22	2.98
	Calificación	3	5	2	2	4	2	4	1	5	4	
13	Valor de la Variable	147	0.00	27128.79	60	27.92	SM	55.51	125.78	313.70	32184.20	3.53
	Calificación	5	5	4	3	3	2	1	1	5	5	
14	Valor de la Variable	157	7.15	27901.59	85	37.74	SM	7.30	128.69	221.04	599.82	3.80
	Calificación	5	4	4	4	4	2	4	1	5	1	
15	Valor de la Variable	154	0.00	22292.65	83	36.44	SM	7.14	130.48	267.36	23460.80	4.02
	Calificación	5	5	4	4	4	2	4	2	5	4	
16	Valor de la Variable	105	0.00	16575.90	71	37.15	SM	12.70	133.40	294.93	37389.83	3.66
	Calificación	4	5	3	4	4	2	4	2	5	5	
17	Valor de la Variable	51	0.00	7051.19	60	29.62	SM	29.77	136.04	225.51	22456.18	2.96
	Calificación	3	5	2	3	3	2	3	2	5	4	
18	Valor de la Variable	167	5.79	26429.37	19	44.09	SM	4.98	103.55	156.54	16.70	3.61
	Calificación	5	4	4	2	4	2	5	1	4	1	
19	Valor de la Variable	99	0.00	21369.93	9	42.21	SM	9.08	104.71	102.04	363.66	3.29
	Calificación	4	5	4	1	4	2	4	1	3	1	
20	Valor de la Variable	97	0.00	28780.85	14	46.83	SM	7.79	105.81	104.04	695.72	3.41
	Calificación	4	5	4	1	5	2	4	1	3	1	
21	Valor de la Variable	78	0.00	31271.91	15	49.12	SM	8.64	107.00	83.91	773.46	3.47
	Calificación	3	5	5	2	5	2	4	1	2	1	
22	Valor de la Variable	60	3.95	37389.48	15	44.20	SM	12.18	107.69	89.79	463.34	3.36
	Calificación	3	5	5	2	4	2	4	1	2	1	
23	Valor de la Variable	36	36.68	25730.45	14	41.54	SM	7.35	108.38	6.00	93.44	2.62
	Calificación	2	3	4	1	4	2	4	1	1	1	
24	Valor de la Variable	44	0.00	33275.89	22	50.83	SM	13.35	109.48	120.05	667.44	3.31
	Calificación	2	5	5	2	5	2	4	1	3	1	
25	Valor de la Variable	41	12.05	22840.98	16	45.94	SM	9.74	110.25	50.41	1.34	2.95
	Calificación	2	4	4	2	5	2	4	1	1	1	
26	Valor de la Variable	51	0.75	22723.97	17	46.55	SM	13.19	110.99	96.00	0.80	3.33
	Calificación	3	5	4	2	5	2	4	1	3	1	
27	Valor de la Variable	58	16.17	22122.50	17	45.80	SM	6.05	111.65	61.87	0.00	3.08
	Calificación	3	3	4	2	5	2	4	1	2	1	
28	Valor de la Variable	63	0.32	21787.55	11	38.42	SM	5.26	112.45	70.53	6.91	3.06
	Calificación	3	5	4	1	4	2	4	1	2	1	
29	Valor de la Variable	73	0.00	23480.47	13	40.15	SM	5.59	113.44	122.17	280.26	3.10
	Calificación	3	5	4	1	4	2	4	1	3	1	
30	Valor de la Variable	81	3.48	24190.60	10	23.97	SM	7.14	114.33	57.97	1797.56	3.12
	Calificación	4	5	4	1	3	2	4	1	1	2	
31	Valor de la Variable	67	0.00	16839.36	5	18.98	SM	6.49	115.10	84.37	1094.83	2.67
	Calificación	3	5	3	1	2	2	4	1	2	2	
32	Valor de la Variable	47	0.00	10728.01	9	33.62	SM	5.34	115.95	59.30	1079.47	2.48
	Calificación	2	5	2	1	4	2	4	1	1	2	
33	Valor de la Variable	42	0.00	8783.50	6	18.88	SM	18.55	116.58	80.61	2446.90	2.21
	Calificación	2	5	2	1	2	2	3	1	2	2	
34	Valor de la Variable	26	0.00	3999.60	7	23.09	SM	15.40	117.54	138.57	3066.81	2.22
	Calificación	2	5	1	1	3	2	3	1	4	2	
35	Valor de la Variable	15	6.61	2279.45	13	48.65	SM	5.62	119.13	166.41	3693.08	2.26
	Calificación	1	4	1	1	5	2	4	1	5	2	
36	Valor de la Variable	1	0.24	0.00	30	44.63	SM	4.88	121.67	272.76	12724.50	2.46
	Calificación	1	5	1	2	4	2	5	1	5	3	
37	Valor de la Variable	2	13.25	698.32	38	41.87	SM	4.35	124.27	209.84	9727.91	2.47
	Calificación	1	4	1	3	4	2	5	1	5	3	
38	Valor de la Variable	1	11.87	0.00	51	30.00	SM	6.77	126.91	256.88	31032.18	2.32
	Calificación	1	4	1	3	3	2	4	1	5	5	
39	Valor de la Variable	1	17.32	0.00	84	38.68	SM	3.27	129.89	159.26	18321.77	2.46
	Calificación	1	3	1	4	4	2	5	1	4	4	
40	Valor de la Variable	1	0.00	0.00	58	35.39	SM	7.78	131.63	170.22	17180.56	2.57
	Calificación	1	5	1	3	4	2	4	2	5	4	
41	Valor de la Variable	26	0.00	9388.16	37	33.24	SM	5.13	133.76	229.81	13422.62	2.93
	Calificación	2	5	2	3	4	2	4	2	5	3	
42	Valor de la Variable	47	8.80	7834.44	28	30.71	SM	5.16	136.10	202.69	12957.20	2.72
	Calificación	2	4	2	2	4	2	4	2	5	3	
43	Valor de la Variable	107	67.95	22528.94	59	19.95	SM	11.13	140.27	78.79	11982.70	3.04
	Calificación	4	2	4	3	2	2	4	2	2	3	
44	Valor de la Variable	124	25.16	17668.76	7	1.93	SM	8.01	140.28	87.87	10766.06	2.82
	Calificación	5	3	3	1	1	2	4	2	2	3	

45	Valor de la Variable	86	1.59	17663.92	51	25.84	SM	11.24	141.05	125.61	9488.47	3.32
	Calificación	4	5	3	3	3	2	4	2	3	3	
46	Valor de la Variable	87	12.74	15001.86	11	3.55	SM	8.73	141.04	124.40	10553.25	2.76
	Calificación	4	4	3	1	1	2	4	2	3	3	
47	Valor de la Variable	105	4.33	19228.55	52	22.35	SM	8.47	141.82	66.73	9354.39	3.28
	Calificación	4	5	3	3	3	2	4	2	2	3	
48	Valor de la Variable	64	0.76	16737.50	19	6.38	SM	11.20	141.76	87.85	12306.56	2.74
	Calificación	3	5	3	2	1	2	4	2	2	3	
49	Valor de la Variable	100	41.94	20047.56	50	23.80	SM	11.62	142.46	71.21	7655.23	3.26
	Calificación	4	3	4	3	3	2	4	2	2	3	
50	Valor de la Variable	37	0.70	11347.79	25	8.20	SM	7.98	142.43	81.93	11944.70	2.36
	Calificación	2	5	2	2	1	2	4	2	2	3	
51	Valor de la Variable	94	59.28	17876.39	27	12.87	SM	9.28	143.43	229.94	10648.30	2.86
	Calificación	4	2	3	2	2	2	4	2	5	3	
52	Valor de la Variable	29	0.38	26140.01	58	17.60	SM	10.11	143.44	55.47	12286.07	2.92
	Calificación	2	5	4	3	2	2	4	2	1	3	
53	Valor de la Variable	90	42.14	17812.75	35	24.19	SM	10.12	144.64	83.50	3368.42	3.06
	Calificación	4	3	3	3	3	2	4	2	2	2	
54	Valor de la Variable	70	9.47	27574.39	71	21.41	SM	13.82	144.61	117.65	18782.05	3.34
	Calificación	3	4	4	4	3	2	4	2	3	4	
55	Valor de la Variable	153	4.04	30288.10	35	17.20	SM	9.12	145.60	37.75	3294.44	3.67
	Calificación	5	5	5	3	2	2	4	2	1	2	
56	Valor de la Variable	95	8.23	29216.05	78	29.13	SM	10.01	145.50	65.95	10283.19	3.47
	Calificación	4	4	4	4	3	2	4	2	2	3	
57	Valor de la Variable	168	6.08	32551.59	37	26.27	SM	8.75	146.51	90.06	7464.59	3.74
	Calificación	5	4	5	3	3	2	4	2	2	3	
58	Valor de la Variable	122	4.21	33622.86	83	26.86	SM	9.86	146.45	89.02	11072.78	3.96
	Calificación	5	5	5	4	3	2	4	2	2	3	
59	Valor de la Variable	118	26.23	23340.47	49	26.23	SM	9.56	147.59	103.05	7884.29	3.30
	Calificación	4	3	4	3	3	2	4	2	3	3	
60	Valor de la Variable	126	0.79	24828.30	94	26.96	SM	8.09	147.67	188.13	18328.46	3.90
	Calificación	5	5	4	4	3	2	4	2	5	4	
61	Valor de la Variable	173	1.75	35985.53	49	22.87	SM	10.40	148.80	101.67	7393.10	3.88
	Calificación	5	5	5	3	3	2	4	2	3	3	
62	Valor de la Variable	84	0.30	16137.44	90	25.41	SM	7.91	148.89	179.13	11452.05	3.50
	Calificación	4	5	3	4	3	2	4	2	5	3	
63	Valor de la Variable	195	2.42	48343.98	57	23.47	SM	8.85	150.05	131.93	841.83	3.87
	Calificación	5	5	5	3	3	2	4	2	4	1	
64	Valor de la Variable	109	4.05	24922.57	86	30.67	SM	10.87	150.09	147.04	15844.46	3.79
	Calificación	4	5	4	4	4	2	4	2	4	4	
65	Valor de la Variable	215	5.54	57987.57	62	28.25	SM	9.17	150.98	74.25	4.90	3.70
	Calificación	5	4	5	3	3	2	4	2	2	1	
66	Valor de la Variable	125	8.73	27375.98	88	23.47	SM	7.89	151.02	71.55	10819.35	3.67
	Calificación	5	4	4	4	3	2	4	2	2	3	
67	Valor de la Variable	191	10.29	60006.69	59	23.20	SM	9.69	151.74	50.65	155.72	3.66
	Calificación	5	4	5	3	3	2	4	2	1	1	
68	Valor de la Variable	102	7.49	20444.83	90	27.37	SM	8.03	151.77	104.02	10888.78	3.51
	Calificación	4	4	4	4	3	2	4	2	3	3	
69	Valor de la Variable	208	2.23	65616.92	65	22.27	SM	11.37	152.59	70.71	1064.71	3.82
	Calificación	5	5	5	3	3	2	4	2	2	2	
70	Valor de la Variable	98	0.15	19675.36	86	29.20	SM	9.35	152.60	108.41	12558.18	3.43
	Calificación	4	5	3	4	3	2	4	2	3	3	
71	Valor de la Variable	186	1.56	57162.55	65	20.24	SM	8.46	153.35	160.62	10150.47	3.92
	Calificación	5	5	5	3	3	2	4	2	4	3	
72	Valor de la Variable	187	8.23	31225.70	83	21.76	SM	7.38	153.37	66.30	11123.91	3.85
	Calificación	5	4	5	4	3	2	4	2	2	3	
73	Valor de la Variable	175	4.73	50879.92	73	23.17	SM	8.07	154.48	214.77	27893.29	4.09
	Calificación	5	5	5	4	3	2	4	2	5	4	
74	Valor de la Variable	71	6.88	20766.35	87	20.97	SM	8.61	154.48	36.97	13534.68	3.24
	Calificación	3	4	4	4	3	2	4	2	1	3	
75	Valor de la Variable	182	0.75	53310.91	63	18.00	SM	8.22	155.56	102.99	12843.62	3.76
	Calificación	5	5	5	3	2	2	4	2	3	3	
76	Valor de la Variable	191	0.25	40222.26	82	23.19	SM	8.55	155.51	54.99	7237.56	3.92
	Calificación	5	5	5	4	3	2	4	2	1	3	
77	Valor de la Variable	183	5.79	51671.52	62	19.34	SM	7.00	156.05	44.15	7044.89	3.59
	Calificación	5	4	5	3	2	2	4	2	1	3	
78	Valor de la Variable	196	0.15	34169.22	79	23.82	SM	8.01	156.03	55.14	8054.98	3.92
	Calificación	5	5	5	4	3	2	4	2	1	3	
79	Valor de la Variable	195	7.30	51881.17	61	23.66	SM	10.64	156.53	39.59	6327.44	3.70
	Calificación	5	4	5	3	3	2	4	2	1	3	
80	Valor de la Variable	179	0.20	32448.82	77	24.27	SM	9.05	156.81	66.23	9609.95	3.96
	Calificación	5	5	5	4	3	2	4	2	2	3	
81	Valor de la Variable	212	8.00	52210.41	62	21.96	SM	13.09	157.23	54.20	10310.93	3.70
	Calificación	5	4	5	3	3	2	4	2	1	3	
82	Valor de la Variable	180	5.02	31449.25	73	33.00	SM	10.31	157.71	98.20	7610.78	4.01
	Calificación	5	4	5	4	4	2	4	2	3	3	
83	Valor de la Variable	229	11.92	51443.43	61	19.21	SM	9.75	158.00	46.95	7834.86	3.59
	Calificación	5	4	5	3	2	2	4	2	1	3	
84	Valor de la Variable	160	7.66	25629.87	66	29.46	SM	10.57	158.48	87.60	5843.38	3.56
	Calificación	5	4	4	3	3	2	4	2	2	3	
85	Valor de la Variable	223	14.19	49114.10	65	21.43	SM	7.45	158.62	73.71	11524.56	3.74
	Calificación	5	4	5	3	3	2	4	2	2	3	
86	Valor de la Variable	183	7.32	30250.77	64	28.60	SM	6.53	159.32	49.12	3449.61	3.68
	Calificación	5	4	5	3	3	2	4	2	1	2	
87	Valor de la Variable	195	0.12	43412.06	64	20.85	SM	6.66	159.39	78.49	11423.75	3.84
	Calificación	5	5	5	3	3	2	4	2	2	3	
88	Valor de la Variable	155	0.24	27554.47	72	26.62	SM	6.87	160.03	96.73	7417.17	3.87
	Calificación	5	5	4	4	3	2	4	3	3	3	

89	Valor de la Variable	170	0.67	35821.61	60	18.65	SM	7.82	160.02	72.93	12011.85	3.78
	Calificación	5	5	5	3	2	2	4	3	2	3	
90	Valor de la Variable	118	0.31	23829.17	87	21.15	SM	8.75	160.63	117.23	2652.18	3.65
	Calificación	4	5	4	4	3	2	4	3	3	2	
91	Valor de la Variable	338	6.76	79210.96	61	18.89	SM	8.10	160.62	51.33	6652.31	3.64
	Calificación	5	4	5	3	2	2	4	3	1	3	
92	Valor de la Variable	81	1.46	19207.62	90	21.19	SM	9.24	161.14	81.20	5993.53	3.45
	Calificación	4	5	3	4	3	2	4	3	2	3	
93	Valor de la Variable	262	17.05	65765.20	62	23.46	SM	7.82	161.12	46.60	6307.08	3.66
	Calificación	5	3	5	3	3	2	4	3	1	3	
94	Valor de la Variable	46	2.04	15047.67	83	27.89	SM	7.74	161.55	45.24	4241.10	3.00
	Calificación	2	5	3	4	3	2	4	3	1	2	
95	Valor de la Variable	155	15.61	39620.33	57	19.75	SM	8.56	161.59	49.26	5062.80	3.54
	Calificación	5	3	5	3	2	2	4	3	1	3	
96	Valor de la Variable	32	6.76	15273.75	83	27.92	SM	5.94	161.95	42.98	4867.56	2.90
	Calificación	2	4	3	4	3	2	4	3	1	2	
97	Valor de la Variable	170	11.23	41148.33	55	25.11	SM	5.59	162.03	80.34	6595.26	3.80
	Calificación	5	4	5	3	3	2	4	3	2	3	
98	Valor de la Variable	29	5.36	16821.37	84	28.07	SM	6.71	162.40	61.55	5451.52	2.96
	Calificación	2	4	3	4	3	2	4	3	2	3	
99	Valor de la Variable	215	2.14	53036.97	53	24.94	SM	7.04	162.49	39.50	2790.58	3.84
	Calificación	5	5	5	3	3	2	4	3	1	2	
100	Valor de la Variable	21	11.29	11821.41	79	22.99	SM	7.58	162.79	52.65	4715.74	2.52
	Calificación	1	4	2	4	3	2	4	3	1	2	
101	Valor de la Variable	259	4.52	60623.04	54	27.21	SM	7.93	163.10	106.81	8354.72	3.94
	Calificación	5	5	5	3	3	2	4	3	3	3	
102	Valor de la Variable	26	2.12	15423.73	76	24.24	SM	9.46	163.20	70.16	5549.25	3.06
	Calificación	2	5	3	4	3	2	4	3	2	3	
103	Valor de la Variable	229	41.06	49511.35	45	26.30	SM	7.86	163.85	78.99	6532.17	3.70
	Calificación	5	3	5	3	3	2	4	3	2	3	
104	Valor de la Variable	37	2.13	16120.78	75	24.49	SM	8.19	163.86	84.02	6475.67	3.06
	Calificación	2	5	3	4	3	2	4	3	2	3	
105	Valor de la Variable	248	51.12	45887.02	32	17.55	SM	8.75	164.50	36.09	3875.37	3.42
	Calificación	5	2	5	3	2	2	4	3	1	2	
106	Valor de la Variable	38	0.50	12157.99	73	20.46	SM	7.48	164.54	98.04	6929.29	3.09
	Calificación	2	5	3	4	3	2	4	3	3	3	
107	Valor de la Variable	196	12.15	36008.55	36	25.48	SM	7.34	165.06	74.93	2957.72	3.78
	Calificación	5	4	5	3	3	2	4	3	2	2	
108	Valor de la Variable	38	3.33	8998.90	47	29.15	SM	9.78	165.00	94.34	1820.31	2.74
	Calificación	2	5	2	3	3	2	4	3	2	2	
109	Valor de la Variable	140	0.36	26494.85	30	27.40	SM	7.87	165.60	40.28	1566.49	3.55
	Calificación	5	5	4	2	3	2	4	3	1	2	
110	Valor de la Variable	41	0.58	8859.60	31	15.04	SM	18.82	165.48	191.92	910.26	2.64
	Calificación	2	5	2	3	2	2	3	3	5	1	
111	Valor de la Variable	0	5.85	2577.40	26	23.47	SM	9.99	166.71	120.77	6186.80	2.60
	Calificación	3	4	1	2	3	2	4	3	3	3	
112	Valor de la Variable	38	103.92	10947.72	32	31.75	SM	10.29	166.74	93.16	1317.78	2.55
	Calificación	2	2	2	3	4	2	4	3	2	2	
113	Valor de la Variable	87	1.39	9791.55	37	23.69	SM	7.83	167.59	97.86	8380.03	3.19
	Calificación	4	5	2	3	3	2	4	3	3	3	
114	Valor de la Variable	22	81.57	16740.62	36	44.30	SM	12.98	167.57	133.60	2697.69	2.61
	Calificación	1	2	3	3	4	2	4	3	4	2	

## **Anexo B.** *Ensayos de laboratorio para clasificación SUCS*

### **Anexo B1.** Ensayo de granulometría




### **Anexo B2.** Ensayo de límite líquido




**Anexo B3.** Ensayo de límite plástico

Anexo C. Resultados de clasificación de suelos mediante el SUCS


Anexo C1. Informe SUCS del Talud No. 73



**ANIVERSARIO 79**  
Jubileo hacia los 80 años



**PUCE**  
Pontificia Universidad Católica del Ecuador



**LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN**

"Solidarios en la construcción, excelencia en la calidad"

ÁREA DE MECÁNICA DE SUELOS Y GEOTECNIA  
INFORME DE ENSAYO  
CLASIFICACIÓN DE SUELOS PARA PROPOSITOS DE INGENIERIA (SUCS)

PROYECTO: Proyecto de Integración Curricular Río Monjas  
LOCALIZACIÓN: Mitad del Mundo  
MUESTRA: Tomada por el Cliente  
NORMA: ASTM D 2487  
DESCRIPCIÓN: Talud 73  
SONDEO: \_\_\_\_\_  
PROFUNDIDAD: \_\_\_\_\_

SOLICITADO POR: Daniela Seminario - Nadia Zea  
FISCALIZACIÓN: \_\_\_\_\_  
CONTRATISTA: \_\_\_\_\_  
FECHA INGRESO: 2025-12-16  
FECHA ENTREGA: 2025-12-29  
ORDEN DE TRABAJO N°: 5284 S  
HOJA: 1 de 2

1.- CONTENIDO DE HUMEDAD - Norma ASTM D 2216

Pcap.	Pcap. + sh.	Pcap. + ss.	% Humedad	% Hum. Promed
25,68	125,69	115,14	11,79	11,70
31,37	131,37	120,97	11,61	


2.- LIMITE PLÁSTICO - Norma ASTM D 4318  
SUELO NO PLÁSTICO

3.- LIMITE LIQUIDO - Norma ASTM D 4318  
SUELO NO PLÁSTICO

4.- ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO - Norma ASTM D 6913

TAMIZ N°	3"	2"	1 1/2"	1"	3/4"	3/8"	4	10	40	200
ABERTURA (mm)	75,0	50,0	37,5	25,0	19,0	9,5	4,75	2,0	0,425	0,075
PORCENTAJE RETENIDO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	4,71	11,02	17,45	34,06	66,70
% QUE PASA	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	95,3	89,0	82,5	65,9	33,3

CURVA GRANULOMÉTRICA



5.- RESUMEN DE RESULTADOS Y CLASIFICACIÓN

HUMEDAD NATURAL (S)  
% Humedad: 12  
LÍMITES DE ATTERBERG:  
Límite Líquido, LL: NP  
Límite Plástico, LP: NP  
Índice de Plasticidad, IP: NP

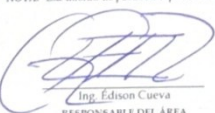
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO  
% Grava: 11  
% Arena: 56  
% Finos: 33

CONTENIDO ORGÁNICO: NO


CLASIFICACIÓN SUCS: SM

NOMBRE TÍPICO: Arena limosa

NOTA: Este informe no puede ser reproducido parcialmente



Ing. Edison Cueva  
RESPONSABLE DEL ÁREA




Ing. Jorge Albuja M.S. Ph.D.  
COORDINADOR


Dirección: Avenida 12 de Octubre y Alfredo Mena Caamaño  
Código postal: 170525 / Teléfono: (593-2) 299 1700 Ext. 1529 / Correo: lmc-puce@puce.edu.ec  
Quito - Ecuador / www.puce.edu.ec




Anexo C2. Informe SUCS del Talud No. 15



**ANIVERSARIO 79**  
Jubileo hacia los 80 años



**PUCE**  
Pontificia Universidad Católica del Ecuador



**LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN**

"Solidarios en la construcción, excelencia en la calidad"

ÁREA DE MECÁNICA DE SUELOS Y GEOTECNIA

INFORME DE ENSAYO

**CLASIFICACIÓN DE SUELOS PARA PROPÓSITOS DE INGENIERÍA (SUCS)**

PROYECTO : Proyecto de Integración Curricular Río Monjas  
 LOCALIZACIÓN : Mitad del Mundo  
 MUESTRA : Tomada por el Cliente  
 NORMA : ASTM D 2487  
 DESCRIPCIÓN : Talud 15  
 SONDEO : \_\_\_\_\_  
 PROFUNDIDAD : \_\_\_\_\_

SOLICITADO POR : Daniela Seminario - Nadia Zea  
 FISCALIZACIÓN : \_\_\_\_\_  
 CONTRATISTA : \_\_\_\_\_  
 FECHA INGRESO : 2025-12-16  
 FECHA ENTREGA : 2025-12-29  
 ORDEN DE TRABAJO N° : 5284 S  
 HOJA : 2 de 2

1.- CONTENIDO DE HUMEDAD - Norma ASTM D 2216

Pcap.	Pcap. + sh.	Pcap. + ss.	% Humedad	% Hum. Promed
23,54	123,54	116,94	7,07	7,15
22,90	122,90	116,15	7,24	

2.- LÍMITE PLÁSTICO - Norma ASTM D 4318

SUELO NO PLÁSTICO

3.- LÍMITE LÍQUIDO - Norma ASTM D 4318

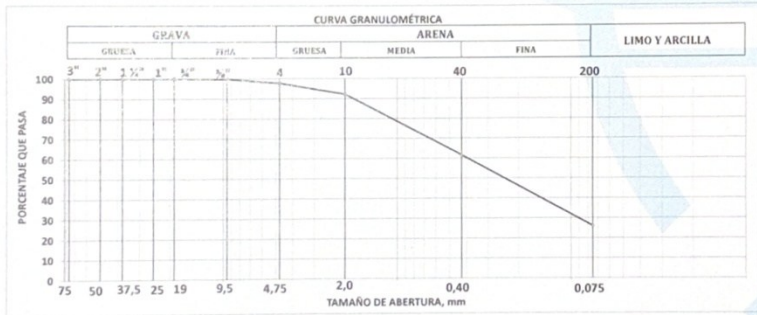
SUELO NO PLÁSTICO

4.- ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO - Norma ASTM D 6913

TAMIZ N°	3"	2"	1 1/2"	1"	3/4"	3/8"	4	10	40	200
ABERTURA ( mm )	75,0	50,0	37,5	25,0	19,0	9,5	4,75	2,0	0,425	0,075
PORCENTAJE RETENID	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,18	2,28	7,87	38,36	74,02
% QUE PASA	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	99,8	97,7	92,1	61,6	26,0

CURVA GRANULOMÉTRICA

GRAVA			ARENA				LIMO Y ARCILLA
GRUESA	FINA	SRUESA	MEDIA	FINA			
3"	2"	1 1/2"	1"	3/4"	3/8"	4	
75	50	37,5	25	19	9,5	4	
							10
							40
							200



5.- RESUMEN DE RESULTADOS Y CLASIFICACIÓN

HUMEDAD NATURAL (%)  
 % Humedad : 7  
 LÍMITES DE ATTERBERG  
 Límite Líquido, LL : NP  
 Límite Plástico, LP : NP  
 Índice de Plasticidad, IP : NP


ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO  
 % Grava : 2  
 % Arena : 72  
 % Finos : 26

CONTENIDO ORGÁNICO : NO


CLASIFICACIÓN SUCS : SM

NOMBRE TÍPICO : Arena limosa

NOTA: Este informe no puede ser reproducido parcialmente



Ing. Edison Cueva  
RESPONSABLE DEL ÁREA



Ing. Jorge Albuja M.Sc. PhD  
COORDINADOR

Dirección: Avenida 12 de Octubre y Alfredo Mena Caamaño  
 Código postal: 170525 / Teléfono: (593-2) 299 1700 Ext. 1529 / Correo: lmc-puce@puce.edu.ec  
 Quito - Ecuador / www.puce.edu.ec

f t i n d



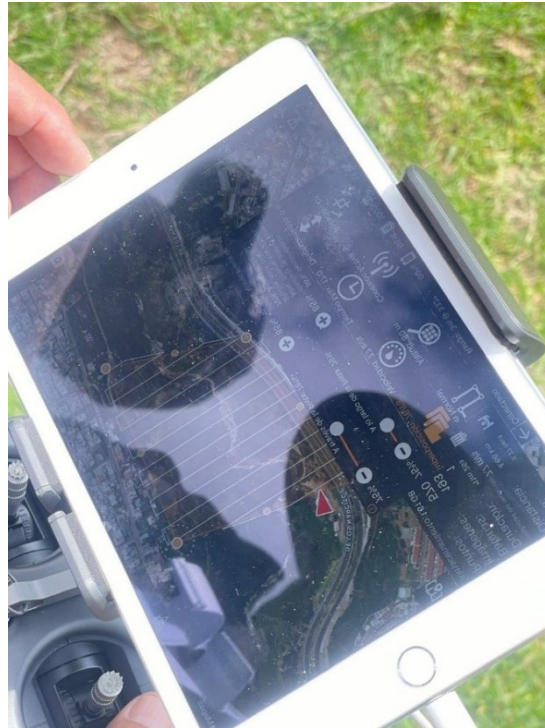
RESUTAS ECUADOR

**Anexo D.** *Fotografía del dron DJI Phantom 4 Pro*



**Anexo E.** *Polígonos delimitados en Map Pilot para obtención de la fotogrametría*

**Anexo E1.** Polígono delimitado para el talud inferior del talud No. 73



**Anexo E2.** Polígono delimitado para el talud superior del talud No. 73



**Anexo F.** *Ortofotos y curvas de nivel del talud No. 73*

**Anexo F1.** Ortofoto del talud inferior del sistema de taludes



**Anexo F2.** Ortofoto del talud superior del sistema de taludes



**Anexo F3.** Curvas de nivel del talud inferior del sistema de taludes



**Anexo F3.** Curvas de nivel del talud superior del sistema de taludes



**Anexo G.** *Deslizamientos presenciados en el talud No.15*

