

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

FACULTAD DE HÁBITAT, INFRAESTRUCTURA Y CREATIVIDAD

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



**TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR PREVIO A LA OBTENCIÓN DE
TÍTULO DE INGENIERO CIVIL**

“ANÁLISIS DEL NIVEL DE RIESGO ANTE MOVIMIENTO DE MASAS EN TALUDES A
LO LARGO DEL CAUCE DEL RÍO MONJAS (ENTRE 783405.34 E, 9992471.42 N -
784488.26 E, 9998156.73 N) MEDIANTE AHP (ANALYTICAL HIERARCHY PROCESS)”.

AUTORES

LUIS FERNANDO AYALA JURADO

PATRICIO ANDREÉ VIVAS LARCO

DIRECTOR

ING. EDDY SÁNCHEZ

QUITO DM, ENERO DE 2026

Le dedico este logro a mi familia y mis amigos. A mi mamá Gabriela, lo más importante de mi vida y la razón por la cual quiero triunfar en ella; que tu motivación y amor nunca me falten. A mi abuela Yoly, mi segunda madre, mi compañera en el día a día desde que tengo memoria. A mi tía Cris, por sus consejos y acompañamiento incondicional. A mi tío Lenin, mi segundo padre y mi mejor amigo desde niño. A mi grupo de amigos, la razón por la cual la vida tiene sentido y merece ser disfrutada. A los cinco pilares de mi vida les dedico este triunfo que es tanto suyo como mío.

Luis Fernando Ayala Jurado

A mi madre, el pilar inquebrantable de mi existencia. A la mujer que, con una valentía admirable, aceptó el reto de ser padre y madre a la vez, demostrándome que su amor era más que suficiente para llenar cualquier vacío. Gracias por enseñarme que dentro de mí tengo el poder de generar todo lo que me proponga; tu fuerza es mi herencia. A mi abuelo, mi padre por elección y mi mejor amigo de todos los tiempos. Gracias por ser mi guía, mi refugio y mi todo. Este título es tan tuyo como mío, porque creciste conmigo en cada paso de este camino.

Patricio André Vivas Larco

Agradecimientos

Agradezco a cada docente de la carrera de Ingeniería Civil de la PUCE que en algún momento motivó a sus estudiantes a alcanzar este logro. De manera especial, agradezco a la Fundación Patricio Andrade Marín por impulsar mis estudios hasta este nivel. Finalmente, agradezco a mi familia y amigos por ser el motor de mi vida, principalmente a mi madre Gabriela; este logro también es tuyo, gracias por ser la mejor mamá en el día a día, te amo.

Luis Fernando Ayala Jurado

En primer lugar, a mi madre. Gracias por ser la razón de mis esfuerzos y por haberme formado con la convicción de que no necesito buscar nada afuera, porque tú me enseñaste a construir mi propio destino. Gracias por no dejarme faltar nada, por ser mi soporte y mi ejemplo de lucha. Te amo con todo mi corazón, y este logro es el reflejo de tu sacrificio. A mi abuelo, por ser el hombre que me enseñó el significado de la lealtad y el amor incondicional. Gracias por ser ese padre que nunca necesité buscar, porque siempre estuviste ahí, siendo mi mejor amigo y mi apoyo eterno. Tu presencia en mi vida es mi mayor tesoro.

Patricio André Vivas Larco

Resumen

Este trabajo de integración curricular analiza el nivel de riesgo frente a deslizamientos de taludes en una sección crucial de 7.144 km del cauce del Río Monjas, ubicada en la zona de Pomasqui, en el Distrito Metropolitano de Quito. La problemática se enfoca en la alta sensibilidad del terreno, causada por la erosión hídrica y la presión ejercida por las construcciones informales que están ubicadas en el borde de los taludes. Para la ponderación de diez variables geotécnicas, geomorfológicas, socio-territoriales, estructurales, antrópicas e hidrológicas, la metodología utilizó una perspectiva híbrida que combina Sistemas de Información Geográfica (SIG), procesos de análisis jerárquico (AHP) y herramientas topográficas a través de drones y estación total.

Los resultados, confirmados a través de ensayos de laboratorio (ASTM) e inspecciones de campo, posibilitaron la detección de 71 unidades de análisis (72 después de las salidas al campo), concluyendo que los puntos n.º 10 y n.º 24 tienen los niveles más altos de riesgo ($LRI > 4.0$). Se determinó que la inestabilidad depende sobre todo de dos factores: la carga de la infraestructura en la cresta (con un 19.5%) y el número de elementos posiblemente afectados (con un 19.7%), sin olvidar que las variables hidrológicas juegan un papel importante en este análisis dado que el mecanismo desencadenante es la pérdida de soporte basal debido a la socavación fluvial en los suelos del tramo analizado. Por último, se sugiere emplear esta metodología como protocolo para la administración de riesgos en taludes urbanos similares.

Palabras clave: estabilidad de taludes urbanos, socavación fluvial, zonificación, fotogrametría, LRI (Índice de riesgo por deslizamiento), Deslizamientos, SIG (Sistemas de Información Geográfica), Pomasqui

Abstract

This curricular integration project analyzes the level of landslide risk affecting slopes along a critical 7.144 km reach of the Monjas River channel, located in the Pomasqui area of the Metropolitan District of Quito. The problem focuses on the high terrain susceptibility, caused by hydraulic erosion and the pressure exerted by informal constructions located at the edges of the slopes. To weigh ten geotechnical, geomorphological, socioterritorial, structural, anthropogenic, and hydrological variables, the methodology adopted a hybrid approach that integrates Geographic Information Systems (GIS), the Analytic Hierarchy Process (AHP), and topographic surveying tools using unmanned aerial vehicles (UAVs) and a total station.

The results, validated through laboratory testing (ASTM standards) and field inspections, enabled the identification of 71 analysis units (72 after field surveys), concluding that points n.º 10 and n.º 24 present the highest risk levels ($LRI > 4.0$). Slope instability was found to be primarily governed by two factors: infrastructure loading at the slope crest (19.5%) and the number of potentially affected elements (19.7%). Additionally, hydrological variables play a significant role in the analysis, as the triggering mechanism is the loss of basal support due to fluvial undercutting of the soils along the analyzed reach. Finally, the application of this methodology is recommended as a risk management protocol for similar urban slopes.

Keywords: urban slope stability, fluvial scouring, zoning, photogrammetry, LRI (Landslide Risk Index), Landslides, GIS (Geographic Information Systems), Pomasqui

ÍNDICE

CAPÍTULO I.	1
1. Introducción	1
1.1. Justificación	1
1.2. Planteamiento del Problema	2
1.3. Objetivos Generales y Específicos	3
1.3.1. Objetivo General	3
1.3.2. Objetivos Específicos	3
1.4. Alcance	4
CAPÍTULO II.	5
2. Marco Teórico y Referencial	5
2.1. Conceptos Generales Sobre Estabilidad de Taludes	5
2.1.1. Clasificación de Movimientos de Masa	5
2.2. Fundamentos Geotécnicos y Caracterización de Laboratorio	7
2.2.1. Resistencia al Corte y Criterio de Falla de Mohr-Coulomb	7
2.2.2. Principio de Esfuerzo Efectivo de Terzaghi	8
2.2.3. Permeabilidad y su Influencia en la Estabilidad	9
2.2.4. Condiciones Drenadas y No Drenadas	10
2.2.5. Caracterización Geotécnica y Normativa de Ensayos de Laboratorio	10
2.3. Herramientas de Sistemas de Información Geográfica (SIG)	14
2.3.1. El Software QGIS como Herramienta de Análisis Espacial	14
2.4. Definiciones fundamentales de la gestión del riesgo de desastres	15
2.4.1. Susceptibilidad	15
2.4.2. Amenaza	16
2.4.3. Exposición	16
2.4.4. Vulnerabilidad	17
2.4.5. Riesgo	17
2.4.6. Peligro	19
2.5. Antecedentes de Estudios en la Zona	19
2.5.1. Estudios del Municipio y Consultoría de Rivera (2016)	19
2.5.2. Análisis de Actores y Riesgo Social (anexo 6)	20
2.5.3. Estudios Académicos, Ortega y Quishpe (2025)	20
2.5.4. Contexto Geológico Regional	20
2.6. Factores Condicionantes y Detonantes de los Deslizamientos	21
2.6.1. Factores Condicionantes	21
2.6.2. Factores Detonantes	22
2.7. Variables de Análisis Consideradas en el Estudio	23

2.7.1. Variables Geomorfológicas y Geotécnicas _____	24
2.7.2. Variables Hidrológicas _____	26
2.7.3. Variables Estructurales y Antrópicas _____	27
2.7.4. Variables Socio-territoriales _____	28
2.7.5. Integración de Variables y Fundamento del Riesgo por Deslizamiento _____	29
2.8. Descripción del Método Analytic Hierarchy Process (AHP) _____	30
2.8.1. La Escala Fundamental de Saaty _____	31
2.8.2. Aproximación del Vector Propio en el Proceso de Análisis Jerárquico (AHP) _____	32
2.8.3. Fundamento del Vector Suma Ponderada _____	33
2.8.4. Parámetros de Evaluación de la Consistencia Lógica _____	33
2.9. Muestreo Aleatorio Simple (M.A.S.) _____	36
2.9.1. Determinación del Tamaño para un Conjunto Finito _____	36
2.10. Fotogrametría _____	38
<i>CAPÍTULO III. _____</i>	39
<i>3. Área de Estudio _____</i>	39
3.1. Localización y Delimitación del Tramo Analizado del Río Monjas _____	39
3.2. Características Geomorfológicas y Geológicas del Sector _____	40
3.2.1. Geomorfología _____	40
3.2.2. Geología Local _____	41
3.3. Características Hidrológicas y Climáticas _____	41
3.3.1. Hidrología _____	41
3.3.2. Clima _____	42
3.4. Infraestructura y Ocupación del Suelo en el Entorno del Cauce _____	42
<i>CAPÍTULO IV. _____</i>	44
<i>4. Metodología _____</i>	44
4.1. Enfoque General del Estudio _____	44
4.1.1. Fase 1 (Apartado 4.2) _____	44
4.1.2. Fase 2 (Apartado 4.3-4.9) _____	44
4.1.3. Fase 3 (Apartado 4.10) _____	45
4.2. Identificación y Descripción de Variables del Análisis Multicriterio _____	45
4.2.1. Longitud del Talud _____	46
4.2.2. Pendiente y Altura del Talud _____	50
4.2.3. Número de Elementos Posiblemente Afectados _____	51
4.2.4. Distancia del Elemento Posiblemente Afectado a la Cresta del Talud _____	52
4.2.5. Carga de la Infraestructura en la Cresta del Talud _____	53
4.2.6. Distancia del Río a la Base del Talud _____	57
4.2.7. Caudal del Río _____	58
4.2.8. Área de Protección Ecológica Dentro del Predio _____	61

4.2.9. Litología	62
4.3. Obtención y Procesamiento de Datos en QGIS	70
4.3.1. Longitud del Talud	71
4.3.2. Pendiente y Altura del Talud	72
4.3.3. Número de Elementos Posiblemente Afectados	73
4.3.4. Distancia del Elemento Posiblemente Afectado a la Cresta del Talud	75
4.3.5. Carga de la Infraestructura en la Cresta del Talud	77
4.3.6. Distancia del Río a la Base del Talud	83
4.3.7. Caudal del Río	85
4.3.8. Área de Protección Ecológica Dentro del Predio	88
4.4. Categorización de Variables	89
4.4.1. Número de Elementos Posiblemente Afectados	90
4.4.2. Distancia del Elemento Posiblemente Afectado a la Cresta del Talud	91
4.4.3. Carga de la Infraestructura en la Cresta del Talud	92
4.4.4. Altura del Talud	92
4.4.5. Pendiente del Talud	93
4.4.6. Litología	94
4.4.7. Distancia del Río a la Base del Talud	98
4.4.8. Caudal del Río	99
4.4.9. Longitud del Talud	99
4.4.10. Área de Protección Ecológica Dentro del Predio	100
4.5. Construcción de la Matriz de Comparación por Pares (AHP)	100
4.5.1. Nivel 1: Variables Críticas (Prioridad Máxima)	102
4.5.2. Nivel 2: Condicionantes Físicos Primarios (Alta Importancia)	102
4.5.3. Nivel 3: Factores Secundarios (Importancia Media)	103
4.5.4. Nivel 4: Variables de Menor Influencia (Baja Importancia)	104
4.6. Determinación de Pesos de Criterios	105
4.6.1. Normalización de la Matriz	105
4.7. Obtención del Vector de Prioridades (w)	106
4.8. Verificación del Índice de Consistencia (CR)	107
4.9. Cálculo del Índice de Riesgo por Deslizamiento (LRI)	109
4.10. Validación de Resultados Mediante Inspección de Campo	110
4.10.1. Levantamiento Aerofotogramétrico con Vehículo Aéreo No Tripulado (Dron)	110
4.10.2. Verificación con Estación Total	112
CAPÍTULO V	113
5. Análisis de Resultados	113
5.1. Presentación de Resultados	113
5.1.1. Resultados del Análisis AHP	113
5.1.2. Identificación de los Puntos con Mayor Riesgo por Deslizamiento	115

5.2. Verificación de Resultados	119
5.2.1. Resultados de la Inspección de Campo - Dron	119
5.2.2. Resultados de la Inspección de Campo - Estación Total	125
5.3. Recálculo del LRI	128
5.4. Discusión de Resultados	129
5.5. Mapa de Riesgo por Deslizamiento	131
<i>CAPÍTULO VI</i>	<i>133</i>
6. Conclusiones y Recomendaciones	133
6.1. Conclusiones	133
6.2. Recomendaciones	136
7. Referencias Bibliográficas	139

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Escala Fundamental de Saaty _____	31
Figura 2 Índice Aleatorio (R.I.) _____	35
Figura 3 Tramo de análisis de 7.144 km _____	40
Figura 4 Matriz de peligro / Localización de la edificación _____	52
Figura 5 Caudales para un periodo de retorno de 100 años y mapa de las cuencas del Río Monjas. Los valores de caudal provienen de estudios de TECNOSUELOS y fueron tomados del informe de Rivera (2016) _____	59
Figura 6 Columna estratigráfica del talud que se encuentra entre los puntos n.º 52 y n.º 53 del análisis _____	62
Figura 7 Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) según la norma ASTM D2487-17: Flujograma de procedimiento para la identificación de suelos con mayor porcentaje de arena _____	66
Figura 8 Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) según la norma ASTM D2487-17: Carta de Plasticidad para la clasificación de suelos de grano fino _____	66
Figura 9 Longitud del talud más crítica del tramo de análisis. Punto n.º 63 _____	71
Figura 10 Altura y pendiente más críticas del tramo de análisis. Punto n.º 65 y n.º 45 _____	73
Figura 11 Valor crítico de la variable "Número de elementos posiblemente afectados". Punto n.º 19 _____	74
Figura 12 Puntos que poseen una distancia igual a cero entre el elemento posiblemente afectado y la cresta del talud _____	76
Figura 13 Punto crítico con respecto a la variable "Carga de la infraestructura en la cresta del talud". Punto n.º 19 _____	83
Figura 14 Talud crítico con respecto a la variable "Distancia del Río a la base del talud". Punto n.º 4 _____	84
Figura 15 Cuencas que intersecan el Río Monjas _____	85
Figura 16 Posición de los puntos de intersección entre las cuencas y el Río Monjas _____	86
Figura 17 Gráficas Posición - Caudal realizadas con los puntos conocidos _____	86
Figura 18 Talud crítico con respecto a la variable "Área de protección ecológica dentro del predio". Punto n.º 9 _____	89
Figura 19 Valores típicos de coeficiente de permeabilidad (k) _____	96
Figura 20 Vuelo del DronDJI Phantom 4 Pro para la obtención de datos. _____	111
Figura 21 Uso de la estación total para la obtención de datos. _____	112
Figura 22 Identificación del punto n.º 10 en Google Earth Pro y QGIS _____	118
Figura 23 Identificación del punto n.º 24 en Google Earth Pro y QGIS _____	119
Figura 24 Primer vuelo de la inspección de campo. Puntos n.º 8, 10 y 72 aparecen en él _____	120
Figura 25 Puntos identificados en campo. (a) = n.º 10, (b) = n.º 72 y (c) = n.º 8 _____	121
Figura 26 Segundo vuelo de la inspección de campo. Puntos n.º 22, 23 y 24 aparecen en él _____	122
Figura 27 Puntos identificados en campo. (a) = n.º 24, (b) = n.º 23 y (c) = n.º 22. _____	124
Figura 28 Puntos clave de la medición con estación total. Talud n.º 10 _____	125
Figura 29 Altura del Punto n.º 10 determinada con estación total _____	126
Figura 30 Puntos clave de la medición con estación total. Talud n.º 24 _____	127
Figura 31 Altura del Punto n.º 24 determinada con estación total _____	127

Figura 32 *Mapa de Riesgo por deslizamiento del tramo analizado.* _____ 132

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Variables del análisis con su respectivo indicador, unidad y fuente _____	45
Tabla 2 Puntos del análisis con su tipo de talud y coordenadas respectivas en WGS 84 / UTM zona 17S _____	48
Tabla 3 Resumen de los resultados de las 13 muestras en laboratorio _____	70
Tabla 4 Máximo valor de caudal en el tramo de análisis. Punto n.º 71 _____	88
Tabla 5 Categorización de la variable "Número de Elementos Posiblemente Afectados" ____	90
Tabla 6 Categorización de la variable "Distancia del Elemento Posiblemente Afectado a la Cresta del Talud" _____	91
Tabla 7 Categorización de la variable "Carga de la Infraestructura en la Cresta del Talud" _____	92
Tabla 8 Categorización de la variable "Altura del Talud" _____	92
Tabla 9 Categorización de la variable "Pendiente del Talud" _____	93
Tabla 10 Categorización de la variable "Litología". _____	94
Tabla 11 Categorización de la variable " Distancia del Río a la Base del Talud" _____	98
Tabla 12 Categorización de la variable " Caudal del Río" _____	99
Tabla 13 Categorización de la variable "Longitud del Talud" _____	99
Tabla 14 Categorización de la variable "Área de protección ecológica dentro del predio" _	100
Tabla 15 Codificación de las variables de análisis _____	101
Tabla 16 Matriz de comparación por pares de 10 criterios con el proceso AHP _____	105
Tabla 17 Matriz normalizada _____	106
Tabla 18 Pesos de cada variable del análisis. _____	107
Tabla 19 Proceso para encontrar el valor de CR _____	108
Tabla 20 Puntos del análisis con su respectivo valor de LRI antes de las inspecciones de campo _____	113
Tabla 21 Puntos con mayor LRI antes de las inspecciones de campo _____	115
Tabla 22 Fichas de calificación de los Puntos n.º 10 y n.º 24 antes de las inspecciones de campo _____	116
Tabla 23 Recálculo del LRI de los puntos involucrados en la primera inspección de campo _____	128
Tabla 24 Fichas corregidas de los puntos críticos después de las inspecciones de campo ____	129

ÍNDICE DE ANEXOS

<i>Anexo A</i>	145
<i>Anexo B</i>	147
<i>Anexo C</i>	148
<i>Anexo D</i>	153
<i>Anexo E</i>	154
<i>Anexo F</i>	156
<i>Anexo G</i>	149
<i>Anexo H</i>	155
<i>Anexo I</i>	156
<i>Anexo J</i>	158

CAPÍTULO I.

1. Introducción

1.1. Justificación

El cauce del Río Monjas presenta un alto riesgo de deslizamientos de taludes que comprometen infraestructuras cercanas como viviendas, vías, puentes, espacios públicos y en general la seguridad de la población. La falta de estudios integrales que consideren simultáneamente factores geomorfológicos, hidrológicos, estructurales y sociales dificulta la gestión efectiva del riesgo.

Los resultados del proyecto permitirán identificar y jerarquizar los taludes con mayor riesgo de deslizamiento a lo largo del cauce del Río Monjas desde la coordenada UTM (783405.34 E, 9992471.42 N) hasta la coordenada (784488.26 E, 9998156.73 N); siendo en total 7.144 km de tramo analizado, determinando el punto crítico donde la amenaza y la vulnerabilidad alcanzan su valor máximo. Este análisis servirá como insumo técnico para priorizar intervenciones y orientar acciones de mitigación por parte de las autoridades locales. Asimismo, el trabajo busca proponer una metodología replicable que integre criterios técnicos, ambientales y sociales, mejorando la gestión del riesgo y la seguridad en áreas con características similares.

1.2. Planteamiento del Problema

El problema principal del cauce del Río Monjas es su alta susceptibilidad a deslizamientos de taludes debido a factores secundarios de origen natural, como la erosión fluvial (Altamirano Tigrero, 2022), pendientes críticas que en algunos tramos llegan a ser casi verticales y litología inestable. Esta condición natural se agrava por factores antrópicos como la construcción de viviendas e infraestructuras en la cresta de los taludes y la falta de control sobre los asentamientos (El Comercio, 2018).

Las consecuencias son graves: pérdida de viviendas y vías, afectación a la seguridad de la población y riesgos para la movilidad y el transporte, como lo demuestran los eventos registrados por el Servicio Nacional de Gestión de Riesgos y Emergencias (2020). La ocupación desordenada del territorio en zonas vulnerables ha incrementado la exposición de los habitantes a estos procesos de inestabilidad (Rivera, 2016).

A esto se suma la falta de estudios integrales, lo que evidencia la urgencia de profundizar en el análisis de los deslizamientos asociados a la actividad fluvial. Por ello, se plantea la necesidad de aplicar metodologías multicriterio, como el Análisis Jerárquico de Proceso (AHP), que ha demostrado ser una herramienta robusta y fiable en contextos geográficos similares en Ecuador (Cargua et al., 2024). Este método permite integrar variables geomorfológicas, geotécnicas, hidrológicas, estructurales, antrópicas y socio-territoriales para evaluar de manera cuantitativa y cualitativa el riesgo por deslizamiento en los taludes alrededor del Río Monjas.

1.3. Objetivos Generales y Específicos

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 (783405.34 E, 9992471.42 N - 784488.26 E, 9998156.73 N), utilizando el método AHP (Analytic Hierarchy Process) en conjunto con herramientas de Sistemas de Información Geográfica (SIG), imágenes satelitales obtenidas mediante Google Earth Pro y 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, definiendo claramente los objetivos y el alcance del estudio.
- Analizar los conceptos, antecedentes y factores que influyen en la estabilidad de taludes, identificando 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 del Río Monjas.
- Aplicar la metodología del Análisis Multicriterio (AHP) apoyada en herramientas SIG, estableciendo la ponderación de variables y el procedimiento de evaluación del riesgo de deslizamientos.
- Interpretar los resultados del análisis AHP y la verificación en campo, identificando 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 (783405.34 E, 9992471.42 N - 784488.26 E, 9998156.73 N). El resultado esperado es identificar el o los taludes que representan mayor peligro, considerando factores geotécnicos, hidrológicos, geomorfológicos, estructurales y antrópicos, obtenidos de información secundaria y de resultados de softwares como QGIS, finalmente siendo verificados con observaciones de campo. Es importante aclarar que este trabajo no contempla el diseño ni la implementación de medidas de estabilización o mitigación.

CAPÍTULO II.

2. Marco Teórico y Referencial

2.1. Conceptos Generales Sobre Estabilidad de Taludes

En la geotecnia la estabilidad de taludes es de suma importancia. Esta parte fundamental de la ingeniería civil se enfoca en el equilibrio de masas, ya sean de suelo o roca, ubicadas en superficies inclinadas. El talud es aquel que se define como una superficie inclinada, ya sea creada por el hombre o de origen natural (Ruiz, 2022).

La estabilidad de un talud es la oposición al movimiento de una masa de tierra, aquí interviene el equilibrio físico, en el cual se puede notar que la relación entre las fuerzas que intentan mover al suelo y las fuerzas que se oponen están igualadas (Castellanos et al., 2021). Cuando este equilibrio no existe, se producen los deslizamientos.

El deslizamiento de masas se define como el movimiento de una gran cantidad de material sólido por una pendiente en su localidad (Cruden & Varnes, 1996).

2.1.1. Clasificación de Movimientos de Masa

Para categorizar los eventos de inestabilidad en la cuenca del Río Monjas, se ha adoptado el sistema de clasificación de Cruden y Varnes (1996). Esta clasificación se fundamenta en el tipo de movimiento y la naturaleza del material, definiendo los siguientes mecanismos como los más representativos para el análisis geomorfológico:

2.1.1.1. Caídas (Falls). Se refiere a la separación repentina de una masa de roca o suelo desde un acantilado o ladera empinada. En este caso, el material baja principalmente por el aire,

mediante caída libre, rebotes o rodamiento, y con un mínimo desplazamiento de cizalla (Cruden & Varnes, 1996).

2.1.1.2. Vuelcos (Topples). Se caracterizan por la rotación hacia adelante de una masa de suelo o roca alrededor de un punto de pivote situado bajo su centro de gravedad, lo cual es un movimiento que usualmente es causado por la presión ejercida por fluidos en las grietas o por la gravedad (Cruden & Varnes, 1996).

2.1.1.3. Deslizamientos (Slides). Se definen como movimientos de masa de suelo o roca que se dan a lo largo de la superficie terrestre (Cruden & Varnes, 1996). Se pueden subclassificar en:

2.1.1.3.1. Rotacionales. La superficie de ruptura es curva o cóncava (Cruden & Varnes, 1996).

2.1.1.3.2. Traslacionales. La masa se mueve a lo largo de una superficie plana o casi plana (Cruden & Varnes, 1996).

2.1.1.4. Propagaciones laterales (spreads). Son el desplazamiento de una masa cohesiva de roca o suelo fracturada sobre un estrato inferior más suave, lo cual produce la fragmentación de la capa superior en bloques. (Cruden & Varnes, 1996).

2.1.1.5. Flujos (flows). De acuerdo con Cruden y Varnes (1996), los flujos se definen como movimientos de masa con un carácter continuo, donde las superficies de cizallamiento o falla son múltiples, temporales y se encuentran tan próximas entre sí que no suelen ser visibles. A diferencia de los deslizamientos rotacionales o traslacionales, el material en un flujo experimenta una deformación interna tan intensa que la estructura original del suelo o roca se pierde por completo, permitiendo que la masa se desplace como un medio continuo y deformado.

2.2. Fundamentos Geotécnicos y Caracterización de Laboratorio

2.2.1. Resistencia al Corte y Criterio de Falla de Mohr-Coulomb

La resistencia al corte de una masa de suelo es la resistencia interna por unidad de área que esta brinda para contrarrestar el deslizamiento y la falla a través de cualquier plano (Das & Sobhan, 2018). Este parámetro es el factor decisivo que contrarresta las fuerzas gravitacionales que impulsan el movimiento de masas en los taludes.

Si bien el criterio de Mohr-Coulomb se planteó originalmente en función de los esfuerzos totales, su aplicación en suelos saturados requiere una adaptación fundamental. Dado que el agua en los poros no resiste esfuerzos cortantes, Das y Sobhan (2018) explican que esta resistencia al corte (τ_f) debe definirse considerando únicamente los esfuerzos soportados por el esqueleto sólido del suelo. Bajo esta premisa teórica, la formulación matemática que describe el comportamiento del material se expresa en términos de esfuerzos efectivos, tal como se presenta en la Ecuación 1 (Ecuación 12.3 de la fuente):

$$\tau_f = c' + \sigma' * \tan (\phi') \quad (1)$$

Donde:

- σ' (Esfuerzo Normal Efectivo - kPa): Según el principio de Terzaghi, et al. (1996), se entiende como la porción del esfuerzo que es sostenida completamente por el esqueleto sólido del suelo mediante sus puntos de contacto intergranular.
- ϕ' (Ángulo de Fricción Drenado - °): De acuerdo con Das y Sobhan (2018), representa la componente de la resistencia al corte asociada al engranaje y la

fricción entre las partículas del suelo, y se evalúa bajo términos de esfuerzos efectivos.

- c' (cohesión efectiva- kPa): Según Das y Sobhan (2018), la cohesión, en términos de esfuerzos efectivos, es el componente de la resistencia al corte que se relaciona con la atracción y unión entre partículas del suelo. Esto puede ser insignificante o inexistente en suelos granulares, y depende de factores como la estructura o cementación del material.

2.2.2. Principio de Esfuerzo Efectivo de Terzaghi

La comprensión de la resistencia al corte es incompleta sin el principio fundamental de Terzaghi, et al. (1996) descrito en la Ecuación 2, que establece que el esfuerzo efectivo es la diferencia entre el esfuerzo normal total y la presión de poros.

$$\sigma' = \sigma - u \quad (2)$$

Donde:

- σ (Esfuerzo Normal Total - kPa): Es la fuerza que actúa perpendicularmente a un plano del suelo, medida por unidad de área. Según Das y Sobhan (2018), el esfuerzo total en cualquier lugar de una masa de suelo es igual a la carga por unidad de área que le corresponda a la columna compuesta por agua y suelo sobre ese punto.
- u (Presión de Poros - kPa): Se refiere a la presión hidrostática que se encuentra en los espacios vacíos del material. La presión del agua que ocupa los espacios vacíos en el suelo en estado de saturación, de acuerdo con Das y Sobhan (2018).

Este concepto es esencial en la evaluación de riesgo de deslizamientos: cuando la presión del agua se incrementa (debido a una saturación por lluvia o cercanía a cuerpos de agua), aumenta la presión de los poros (u) y, como consecuencia, baja el esfuerzo efectivo (σ'). La resistencia al corte (τ_f) se reduce si " σ' " disminuye, lo que puede provocar el colapso del talud sin que sea necesario modificar la carga externa. Esto es un resultado directo de la ecuación de Mohr-Coulomb.

2.2.3. Permeabilidad y su Influencia en la Estabilidad

La permeabilidad se define como la propiedad física que permite el paso de fluidos a través de los vacíos interconectados del suelo; su magnitud se cuantifica mediante el coeficiente de conductividad hidráulica (k). Según Das y Sobhan (2018), este parámetro es un indicador directo de la facilidad con la que el agua fluye dentro del medio poroso.

La relevancia de la permeabilidad en la estabilidad de taludes radica en su papel regulador de la presión interna del suelo. Basándose en el principio de esfuerzo efectivo descrito por Das y Sobhan (2018) y Terzaghi, et al. (1996), una alta permeabilidad facilita la disipación casi inmediata del exceso de presión de agua, por el contrario, cuando el valor de " k " es bajo, el agua queda retenida en los vacíos, provocando un aumento en la presión de poros (u). Dado que la resistencia al corte del suelo depende intrínsecamente del esfuerzo efectivo, cualquier incremento en la presión de poros reduce directamente la capacidad del material para resistir el deslizamiento.

2.2.4. Condiciones Drenadas y No Drenadas

La permeabilidad del material y la rapidez con que se aplica la carga son variables que influyen en la respuesta mecánica del suelo, y que determinan su habilidad para drenar el agua intersticial.

- Condición Drenada: Se da cuando el agua contenida en los poros puede ser drenada con la rapidez necesaria para impedir que se acumule presión intersticial (u). Este patrón es habitual en terrenos con alta permeabilidad o en procesos de carga lenta que facilitan la dispersión de presiones (Das & Sobhan, 2018).
- Condición No Drenada: Sucede cuando la permeabilidad es demasiado baja o cuando la carga se aplica rápidamente, lo que provoca una presión de poros excesiva que reduce el esfuerzo efectivo y, por ende, la resistencia al corte del material (Das & Sobhan, 2018).

2.2.5. Caracterización Geotécnica y Normativa de Ensayos de Laboratorio

La caracterización técnica de los materiales tiene como base normas internacionales que facilitan la interpretación estándar del comportamiento mecánico y físico del suelo. Los principios y parámetros esenciales de la normativa empleada en este estudio se detallan a continuación:

- Descripción e identificación visual-manual (ASTM D2488 - 09a): Corresponde a la etapa primaria de reconocimiento en campo. La norma ASTM D2488 - 09a "Práctica Estándar para la Descripción e Identificación de Suelos (Procedimiento Visual-Manual)" ofrece pautas para clasificar cualitativamente sin requerir instrumentos de laboratorio. Los conceptos fundamentales incluyen la dilatancia

(respuesta al movimiento/sacudimiento), la tenacidad (fuerza necesaria para crear filamentos) y la resistencia en estado seco; propiedades que posibilitan una primera distinción entre materiales granulares y finos.

- Contenido de Humedad Natural (ASTM D2216 - 19): Es la propiedad de estado que define la cantidad de agua presente en los poros del suelo. La norma ASTM D2216 - 19 "Métodos de Prueba Estándar para la Determinación en Laboratorio del Contenido de Agua (Humedad) de Suelo y Roca por Masa" define este parámetro mediante la siguiente Ecuación 3:

$$w(\%) = \left(\frac{M_w}{M_s} \right) \times 100 \quad (3)$$

Donde:

- w : Contenido de humedad (%)
 - M_w : Masa de agua (Masa húmeda – Masa seca) (g)
 - M_s : Masa de la muestra secada al horno (g)
- Distribución del tamaño de partículas (ASTM D6913 / D6913M - 17 y ASTM D1140 - 17): La granulometría describe la distribución del tamaño de partículas del suelo, lo que influye directamente en su comportamiento mecánico. Se guía por dos regulaciones complementarias:
 - Métodos de Prueba Estándar para la Distribución del Tamaño de Partículas (Gradación) de Suelos Usando Análisis de Tamices (ASTM D6913 / D6913M – 17): Posibilita generar la curva de distribución

granulométrica que se emplea como base para determinar los coeficientes de curvatura (C_c) y uniformidad (C_u) para establecer la gradación del suelo granular (Ecuación 4 y Ecuación 5) (Das & Sobhan, 2018):

$$C_c = \left(\frac{(D_{30})^2}{D_{60} * D_{10}} \right) \quad (4)$$

$$C_u = \left(\frac{D_{60}}{D_{10}} \right) \quad (5)$$

Donde: D_{60} , D_{30} y D_{10} son los diámetros de las partículas que pertenecen al 60%, 30% y 10% de paso en la curva granulométrica, respectivamente.

- *Métodos de Prueba Estándar para Determinar la Cantidad de Material más Fino que el Tamiz de 75- μ m (No. 200) en Suelos mediante Lavado (ASTM D1140 – 17):* Método fundamental para suelos en los que el material fino está unido a los granos gruesos, lo cual asegura una medición precisa del porcentaje de material fino (limos y arcillas).
- *Métodos de Prueba Estándar para el Límite Líquido, Límite Plástico e Índice de Plasticidad de Suelos (ASTM D4318 – 17):* Define los rangos de humedad en los que el suelo cambia su comportamiento mecánico. El parámetro de síntesis es el Índice de Plasticidad (IP) y se lo calcula mediante la Ecuación 6:

$$IP = LL - LP \quad (6)$$

Donde:

- Límite Líquido (LL): Contenido de humedad en el cual el suelo pasa de un estado plástico a un estado líquido. Un fenómeno técnico crítico descrito en el apartado 12.5 de la norma, es el deslizamiento en la copa, que ocurre cuando el suelo carece de la plasticidad necesaria para fluir bajo golpes, indicando una naturaleza mecánica no cohesiva.
- Límite Plástico (LP): Contenido de humedad en el punto de transición entre los estados semisólido y plástico, determinado por la capacidad del material de formar filamentos de 3.2 mm sin romperse.
- Condición No Plástica (NP): Según el apartado 19.2 de la norma, se designa a un suelo como NP cuando es imposible determinar cualquiera de los límites anteriores.
- Práctica Estándar para la Clasificación de Suelos para Propósitos de Ingeniería (Sistema Unificado de Clasificación de Suelos - SUCS) (ASTM D2487 – 17): Es la norma de síntesis para propósitos de ingeniería. Utiliza los datos de granulometría y plasticidad para asignar un símbolo de grupo (ej. SM, SP, ML). Los conceptos fundamentales aquí son la Línea A de la carta de plasticidad, que separa las arcillas de los limos, y los criterios de clasificación para suelos con más o menos del 12% de finos, lo que permite categorizar el suelo según su comportamiento mecánico predominante.

2.3. Herramientas de Sistemas de Información Geográfica (SIG)

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) son sistemas complejos que incluyen cinco componentes fundamentales: el hardware, el software, las metodologías, los datos y el factor humano. Según Olaya (2020), un SIG no es simplemente una herramienta informática, sino además un sistema de gestión integral que permite obtener, almacenar, examinar y visualizar datos geoespaciales. Este punto de vista trasciende la perspectiva instrumental y posiciona al SIG como un modelo auténtico que combina la tecnología con los procedimientos organizativos necesarios para tomar decisiones sobre el territorio.

2.3.1. El Software QGIS como Herramienta de Análisis Espacial

QGIS, anteriormente conocido como Quantum GIS, se ha establecido como una de las herramientas SIG más importantes de código abierto con licencia pública general (GNU). Se distingue por su habilidad para administrar la dualidad de los datos geográficos: el componente temático (atributos) y el espacial (geometría), lo que posibilita la interoperabilidad entre diferentes formatos vectoriales y matriciales (QGIS Development Team, 2025).

Su ambiente de procesamiento incluye algoritmos de sólidas bibliotecas geoespaciales como SAGA y GDAL (GDAL/OGR Contributors, 2024), que permiten al usuario realizar operaciones complejas, por ejemplo, la intersección geométrica de entidades, el cálculo de las áreas de influencia (zonas buffer), la interpolación de datos topográficos y la reclasificación de variables a través del uso de una calculadora ráster. Estas funciones son esenciales, pues posibilitan convertir y fusionar variables dispares del terreno en indicadores espaciales de riesgo unificados. Para el análisis de este proyecto se emplea la versión QGIS 3.44.1.

2.4. Definiciones fundamentales de la gestión del riesgo de desastres

Con el fin de garantizar la pertinencia legal y conceptual de la presente investigación dentro del territorio nacional, las siguientes definiciones se fundamentan en la Ley Orgánica para la Gestión Integral del Riesgo de Desastres, publicada en el Suplemento del Registro Oficial N.º 488 en enero de 2024, y en el Glosario de términos asociado a la gestión del riesgo de desastres elaborado por el Servicio Nacional de Gestión de Riesgos y Emergencias (SNGRE), mediante la Resolución N.º SNGRE-046-2020. De manera complementaria, se emplean referencias metodológicas internacionales cuando la normativa nacional no establece definiciones explícitas, las cuales se justifican técnicamente en cada caso.

2.4.1. Susceptibilidad

Según los lineamientos técnicos del Servicio Nacional de Gestión de Riesgos y Emergencias (SNGRE), se adopta la siguiente definición:

"Es la mayor o menor predisposición a que un evento suceda u ocurra sobre determinado espacio geográfico" (CONAE, OEA/DSS, 2008, citado en SNGRE, 2020).

Interpretación para el estudio: La susceptibilidad, en esta investigación, se refiere a la tendencia física de un terreno a atravesar un proceso de remoción en masa, lo cual depende de sus propiedades geométricas, geológicas e hidrológicas. Estos factores no son dañinos por sí mismos, pero influyen en la probabilidad de que ocurra el fenómeno. La susceptibilidad no es una amenaza en sí misma, sino que muestra hasta qué punto el medio natural tiende a experimentar un deslizamiento bajo ciertas condiciones.

2.4.2. Amenaza

La Ley Orgánica (2024) define la amenaza como:

"Es el evento, fenómeno, actividad humana o condición latente que puede causar la muerte, lesiones, daños materiales, interrupción de la actividad social y económica, incremento de la vulnerabilidad, degradación ambiental, y pérdidas e impactos de diverso tipo" (Asamblea Nacional del Ecuador, 2024).

Interpretación para el estudio: En esta investigación, el deslizamiento de masas se comprende como una amenaza particular, visto como un fenómeno físico que puede causar daño. No son las propiedades del talud la que representan el peligro, sino el fenómeno de remoción en masa. Este último depende de la susceptibilidad del terreno, de los factores detonantes y de los elementos expuestos para aparecer y causar daños.

Desde esta perspectiva, la amenaza no se categoriza como "grande" o "pequeña" de forma independiente; su posible impacto es intensificado o atenuado por las condiciones del entorno y por las características de los componentes expuestos.

2.4.3. Exposición

La Ley Orgánica (2024) define a la exposición como:

“Situación en que se encuentran las personas, las infraestructuras, la producción, las áreas naturales protegidas entre otros sectores, bienes o áreas situadas en zonas donde existe una amenaza natural o antrópica” (Asamblea Nacional del Ecuador, 2024).

Interpretación para el estudio: La exposición se refiere a la medida en que los componentes sociales, físicos y territoriales, al igual que el terreno mismo, están situados dentro

de la zona de influencia de un deslizamiento de masas o de sus agentes detonantes. La exposición se examina en este estudio desde dos enfoques complementarios: la exposición de los componentes antrópicos ante el eventual efecto del deslizamiento y la de la superficie del terreno frente a factores externos. Así, la exposición funciona como un enlace en términos de espacio entre la susceptibilidad del terreno, la amenaza y la vulnerabilidad de los elementos que están expuestos.

2.4.4. Vulnerabilidad

La Ley Orgánica (2024) establece que:

"Son características y circunstancias de las comunidades, territorios o infraestructura que los hace susceptibles a los efectos dañinos de un evento adverso. Estas características y circunstancias pueden ser físicas, económicas, culturales, sociales, entre otras" (Asamblea Nacional del Ecuador, 2024).

Interpretación para el estudio: Según la definición legal, la vulnerabilidad es el conjunto de circunstancias que determinan el nivel de impacto que los elementos expuestos podrían sufrir ante la ocurrencia de un evento negativo. Estos términos incluyen características sociales, funcionales y físicas de los elementos y del territorio que se ocupa.

2.4.5. Riesgo

La normativa nacional define al riesgo como:

"Son los probables o posibles daños materiales, ambientales y lesiones a las personas, que se ocasionarían debido a la ocurrencia de un desastre en un determinado territorio. Está

determinado por la amenaza, vulnerabilidad y capacidad de respuesta" (Asamblea Nacional del Ecuador, 2024).

Interpretación para el estudio: En la presente investigación, el riesgo por deslizamiento se evalúa como el resultado de la interacción entre la amenaza (deslizamiento de masas), la exposición de los elementos y su vulnerabilidad, integrados en un Índice de Riesgo por Deslizamiento (LRI). La localización, la presencia y el número de los elementos que se encuentran dentro del área de influencia del fenómeno son definidas por la exposición; en cambio, la vulnerabilidad refleja las condiciones inherentes a esos elementos y al territorio que determinan el nivel de impacto que podrían sufrir. De acuerdo con este enfoque, si bien el riesgo se define a partir de la amenaza, la exposición y la vulnerabilidad, la amenaza no se la toma en cuenta como un componente independiente, sino como la expresión del comportamiento del terreno frente a sus condiciones de susceptibilidad y/o la acción de factores detonantes, los cuales determinan la forma y magnitud con la que el deslizamiento puede manifestarse. Pese a que la capacidad de respuesta está incluida en la definición legal, para el propósito de zonificación espacial por medio de Sistemas de Información Geográfica (SIG), el estudio se enfoca en cómo interactúan conjuntamente la exposición, la vulnerabilidad y la amenaza; reconociendo que los factores detonantes y la susceptibilidad afectan indirectamente el riesgo debido a su aporte a la amenaza.

En el apartado 4.9 se explica la formulación matemática del índice "LRI" y el procedimiento para calcularlo; en la sección mencionada, se describe cómo estas variables se combinan usando el método Analytic Hierarchy Process (AHP) para generar una representación espacial del riesgo en la zona de influencia de los taludes del Río Monjas.

2.4.6. Peligro

Debido a que en las fuentes normativas nacionales no existía una definición explícita del término “Peligro” se utilizó la terminología del manual del Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres (CENEPRED). El peligro se define como la "probabilidad de que un fenómeno físico, potencialmente dañino, de origen natural o inducido por la acción humana, se presente en un lugar específico, con una cierta intensidad y en un período de tiempo y frecuencia definidos" (CENEPRED, 2014). Es relevante subrayar que, para la evaluación territorial, el manual define una estratificación de este parámetro en cuatro niveles (Alto, Bajo, Medio y Muy Alto), que se usará más adelante como referencia.

Interpretación para el estudio: el peligro se interpreta como una medida relativa de criticidad territorial, utilizada para clasificar y jerarquizar las condiciones que incrementan la posibilidad de daños significativos ante un eventual deslizamiento.

2.5. Antecedentes de Estudios en la Zona

Debido al incremento poblacional en la cuenca del Río Monjas y a su estratigrafía, los estudios en esta zona han sido relevantes, se tiene varios como:

2.5.1. Estudios del Municipio y Consultoría de Rivera (2016)

El Municipio del distrito Metropolitano de Quito, a través de la Dirección Metropolitana de Gestión de Riesgos, encargó la “Consultoría para la elaboración del plan de gestión integral de riesgos de la cuenca del Río Monjas”. Este estudio realizó un diagnóstico exhaustivo de la situación actual de amenazas y vulnerabilidades. Se identificaron aquellas zonas que son críticas por la erosión que presenta el sector y se modelaron varios escenarios de inundación para periodos de retorno de 25, 50 y 100 años, concluyendo en que la falta de control y

administración de las descargas de alcantarillado junto con la ocupación de lugares vulnerables en el Río Monjas han acelerado los procesos de inestabilidad (Rivera, 2016).

2.5.2. Análisis de Actores y Riesgo Social (anexo 6)

Este documento destaca la dimensión social del problema. Se documenta la percepción de riesgo y miedo que posee la gente asentada en los bordes de los taludes; se identifican y se logran apreciar conflictos derivados de la pérdida de viviendas y de la falta de obras de mitigación. Este anexo encontró que hay un conflicto grave; la erosión causada por el agua (responsabilidad compartida con EPMAPS) ha dejado ciertos taludes tan peligrosos que ya no se pueden arreglar con obras (riesgo no mitigable), por lo que la única solución técnica es que las familias abandonen sus casas (reasantamiento), aunque ellas no quieran hacerlo (Municipio del Distrito Metropolitano de Quito, 2019).

2.5.3. Estudios Académicos, Ortega y Quishpe (2025)

Ortega y Quishpe desarrollaron un “Breve estudio geotécnico del talud en el barrio La Pampa, Pomasqui”. Su investigación se centró en la caracterización física y mecánica del suelo en este sector. Sus resultados confirman que el material que conforma estos taludes presenta una baja resistencia y es propenso a ceder, sirviendo como un antecedente para comprender el porqué de que este sector sea tan vulnerable y tenga problemas de inestabilidad (Ortega & Quishpe, 2025).

2.5.4. Contexto Geológico Regional

Villagómez (2003) proporciona un contexto geológico general que posibilita entender la formación los suelos en la región. Según apunta el escritor, los materiales de origen volcánico, como la cangahua y los depósitos aluviales vinculados con la dinámica de los ríos, son los

principales componentes del valle del Río Monjas. La existencia de procesos erosivos activos y materiales poco consolidados, que son evidentes a partir de estas características geológicas, favorecen una mayor susceptibilidad del suelo ante la acción del agua y los fenómenos de inestabilidad, tal como los movimientos en masa que se han presenciado en la región.

2.6. Factores Condicionantes y Detonantes de los Deslizamientos

Las características del propio terreno junto con agentes externos producen inestabilidad en las laderas del Río Monjas, según CENEPRED (2014), es fundamental saber cuáles son los factores accionantes a los deslizamientos, entre ellos están los condicionantes y los detonantes.

2.6.1. Factores Condicionantes

2.6.1.1. Geomorfología y Pendiente. Según Altamirano (2022), el cauce del Río Monjas presenta una profunda incisión vertical, esta dinámica ha generado pendientes extremas que han contribuido a la inestabilidad. Das y Sobhan (2018) describen implícitamente que, a medida que la pendiente del talud se vuelve más pronunciada, la componente tangencial del peso de la masa del suelo se incrementa, mientras que la fuerza normal, responsable de generar fricción, se reduce; por lo tanto, el equilibrio físico se interrumpe.

2.6.1.2. Litología y Tipo de Suelo. La composición del suelo de la zona juega un papel importante en la evaluación de riesgo por deslizamiento de masas; el área de estudio está conformada mayoritariamente por depósitos volcánicos y sedimentarios (Villagómez, 2003), estos son materiales poco consolidados generalmente. Estos suelos, aunque parezcan tener estabilidad en épocas secas, son muy vulnerables. Estos materiales poseen una estructura que se degrada fácilmente, esto significa que la calidad de la roca o suelo base es baja para poder soportar cargas o grandes inclinaciones (Ortega & Quishpe, 2025).

2.6.1.3. Cobertura y Uso del Suelo. Continuamente en esta zona se puede evidenciar que la población ha decidido rellenar los taludes para que estos dejen de deslizarse, esto buscando ser una solución, provoca más riesgos para los taludes que se encuentran en la parte de su frente. También es crítico destacar que la continua expansión urbana cerca de los taludes ha provocado una fuerte intervención antrópica que impide la conservación de la vegetación natural de la cuenca (Rivera, 2016). Esta eliminación de la cobertura vegetal suprime la protección mecánica que ofrecen las raíces para sostener el terreno superficial, exponiendo el suelo a una erosión directa y aumentando su vulnerabilidad física (Suárez Díaz, 1998).

2.6.2. Factores Detonantes

2.6.2.1. Erosión Hídrica y Fluvial. El Río Monjas ha sufrido un incremento en su caudal debido a las descargas de alcantarillado continua, este aumento del flujo provoca una erosión violenta en la parte inferior de los taludes, también conocido como socavación (Secretaría General de Seguridad y Gobernabilidad, 2021).

2.6.2.2. Precipitaciones. En la región, las lluvias funcionan como un detonante crucial. El agua satura con rapidez al penetrarse en la estructura porosa de los depósitos de origen volcánico (como la Formación Cangahua) caracterizados por Villagómez (2003). De acuerdo con los principios de estabilidad, descritos por Suárez Díaz (1998), este proceso incrementa el peso de la masa de suelo, lo que provoca que las fuerzas desestabilizadoras crezcan y que finalmente llevan a la ruptura del equilibrio físico en el talud.

2.6.2.3. Acción Antrópica. El estudio realizado por el Municipio del Distrito Metropolitano de Quito señala que las descargas informales de agua directamente sobre los taludes, junto con la continua construcción de casas cerca de las crestas de los mismos, provocan

que el talud al no poder soportar estas cargas ni la saturación, quiera ceder, aumentando la vulnerabilidad del sector (Rivera, 2016).

2.7. Variables de Análisis Consideradas en el Estudio

La elección de las variables se basa, por un lado, en la información existente y su calidad, y, por otro, en la realidad socio-territorial y física del área de estudio. En este contexto, las variables no se analizan de forma independiente, sino como elementos interconectados que permiten caracterizar de manera integrada la susceptibilidad física del terreno, la exposición de los elementos y la vulnerabilidad existente en el área de influencia del Río Monjas.

En el marco de esta investigación, la amenaza se define como el deslizamiento de masas, entendido como un fenómeno físico potencialmente dañino. Las variables consideradas no representan el fenómeno en sí mismo, sino que describen las condiciones del terreno que favorecen su desarrollo, particularmente a través de la susceptibilidad del talud y la acción de factores detonantes. Los efectos del deslizamiento se manifiestan únicamente cuando existen elementos expuestos con determinadas condiciones de vulnerabilidad, lo que evidencia la necesidad de un análisis integrado de todos los componentes del riesgo.

Bajo este enfoque, el deslizamiento de masas se reconoce simultáneamente como amenaza y como componente del riesgo, sin que ello implique una contradicción conceptual. Como amenaza, se concibe como el fenómeno físico de remoción en masa; mientras que, como riesgo, se analiza a partir de los daños materiales, territoriales y posibles afectaciones a las personas que podrían generarse en un territorio determinado. En este sentido, el riesgo por deslizamiento integra explícitamente la probabilidad de ocurrencia del evento y la interacción conjunta entre la amenaza (deslizamiento de masas), la susceptibilidad del terreno, la exposición

de los elementos y su vulnerabilidad, conforme a lo establecido en la normativa nacional vigente. De esta manera, el riesgo constituye la síntesis entre el proceso físico y sus consecuencias potenciales sobre el territorio, y se consolida como el eje central de la evaluación desarrollada en el área de estudio.

Adicionalmente, la vulnerabilidad se aborda desde un enfoque general, entendido como el conjunto de características y circunstancias sociales, territoriales y normativas que condicionan el grado de afectación que podrían experimentar los elementos expuestos ante un deslizamiento. Por su parte, la exposición se evalúa de manera explícita mediante variables espaciales que describen la localización y cantidad de los elementos dentro del área de influencia del fenómeno. Bajo estas consideraciones, las variables seleccionadas se organizan de la siguiente manera:

- **Variables de susceptibilidad física del terreno:** altura del talud, pendiente del talud, longitud del talud y litología.
- **Variables como factores detonantes:** caudal del río y carga de la infraestructura en la cresta del talud.
- **Variables de exposición:** distancia del río a la base del talud, distancia del elemento posiblemente afectado a la cresta del talud, número de elementos posiblemente afectados y área de protección ecológica dentro del predio.

2.7.1. Variables Geomorfológicas y Geotécnicas

Las variables geomorfológicas y geotécnicas permiten caracterizar la predisposición física del talud a experimentar procesos de remoción en masa, en función de su geometría y de la calidad de los materiales que lo conforman. Estas variables describen condiciones propias del

medio natural que, si bien no constituyen una amenaza por sí mismas, condicionan la ocurrencia del fenómeno de deslizamiento.

2.7.1.1. Altura del Talud. Se define como la distancia vertical entre el punto más alto y el más bajo del talud. Este parámetro es un factor crucial, dado que el relieve escarpado del tramo produce taludes altos que concentran más masa y, si se desmoronan o desplazan, pueden tener un impacto importante en los elementos expuestos (CENEPRED, 2014). En esta línea, la altura del talud aumenta la susceptibilidad física del terreno, sobre todo cuando se combina con otros factores adversos.

2.7.1.2. Pendiente del Talud. Suárez Díaz (1998) define la pendiente como la inclinación de la superficie de una ladera o talud, la cual puede expresarse en porcentajes, grados o mediante la relación entre distancia horizontal y vertical. Este parámetro geométrico es fundamental para la estabilidad del talud, dado que controla los niveles de esfuerzo total y la magnitud de las fuerzas gravitacionales que actúan como disparadores del movimiento (Das & Sobhan, 2018). Cada formación geológica presenta un ángulo límite de estabilidad, por encima del cual el terreno se vuelve inestable, especialmente en materiales meteorizados o saturados (Suarez Diaz, 1998).

2.7.1.3. Longitud del Talud. Es la longitud del escarpe, es decir, la extensión lineal que se calcula a lo largo de la cresta o borde superior del talud. Un talud extenso implica que el fenómeno tiene un área de influencia más grande. Conforme se expande esta zona, aumenta la probabilidad de interceptar personas o bienes; esto, a su vez, eleva el nivel de exposición física en el área estudiada (CENEPRED, 2014). Su efecto sobre el riesgo se manifiesta cuando esta condición geométrica coincide con una elevada exposición y vulnerabilidad.

2.7.1.4. Litología. Para entender cómo se comportan los taludes en la zona de estudio, es esencial la litología. Esto se debe a que permite determinar la naturaleza, el grado de consolidación y la reacción mecánica de los materiales ante procesos inestables. En la zona, predominan depósitos volcánicos y volcanosedimentarios, que se distinguen por una consolidación moderada o baja, una heterogeneidad litológica elevada y cambios notables en la textura y estructura interna. Según Villagómez (2003), estos materiales comprenden lahares, tobas, volcanosedimentos y cangahuas. Estos son especialmente propensos a sufrir erosión y remoción en masa si están saturados o meteorizados.

La interacción entre la incisión fluvial activa, las modificaciones humanas en el sistema hidrológico y esta litología poco consolidada, según investigaciones realizadas en la cuenca del Río Monjas, propicia que sucedan deslizamientos, erosión lateral y erosión regresiva, lo cual aumenta la inestabilidad de los taludes (Aguirre, 2023; Altamirano, 2022). El uso del Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS), junto con la interpretación geológica local, es fundamental en este escenario para distinguir entre materiales competentes e incompetentes y analizar su impacto en la estabilidad del talud.

2.7.2. Variables Hidrológicas

El Río Monjas, al tener contacto directo con el terreno, juega un papel clave en la inestabilidad dinámica de los taludes de la zona estudiada. Las variables hidrológicas no se consideran una amenaza, más bien son parámetros que afectan el sistema de dos formas complementarias: como factores detonantes, por medio del aumento del caudal, y como componentes que determinan la exposición del terreno, a través de la cercanía del cauce con la base del talud. Así, la dinámica fluvial modifica la susceptibilidad del terreno y ayuda a crear situaciones críticas de deslizamiento.

2.7.2.1. Distancia del Río a la Base del Talud. La importancia de esta variable radica en que con ella se puede verificar qué taludes son más propensos a presentar socavación lateral. A menor distancia, mayor será la probabilidad de que el talud se erosione (Rivera, 2016), esto puede provocar que el talud no sea estable.

2.7.2.2. Caudal del Río. Se considera esta variable con el fundamento de que constituye uno de los principales factores detonantes de inestabilidad para los taludes del sector. Junto con las descargas indebidas en el Río Monjas, este aumenta su capacidad de arrastre, saturando las zonas bajas de los taludes contribuyendo a una alta probabilidad de socavación (Secretaría General de Seguridad y Gobernabilidad, 2021).

2.7.3. Variables Estructurales y Antrópicas

Estas variables permiten analizar la influencia de la intervención humana sobre la estabilidad de los taludes, particularmente en las zonas cercanas a la cresta.

2.7.3.1. Carga de la Infraestructura en la Cresta del Talud. Esta variable permite la cuantificación de la sobrecarga estática que ejerce presión sobre la cresta del talud. A partir de estudios anteriores, se sabe que la mayor parte de los taludes en la zona de estudio no tienen la capacidad geotécnica necesaria para soportar las infraestructuras; esto genera problemas de asentamientos, grietas en las estructuras e inestabilidad (Rivera, 2016). La carga antrópica actúa como un factor detonante, pues aumenta el esfuerzo en el borde del talud y disminuye su margen de estabilidad (Altamirano, 2022).

2.7.3.2. Distancia del Elemento Posiblemente Afectado a la Cresta del Talud. Esta variable facilita el reconocimiento de qué tan cerca están los elementos potencialmente afectados respecto a la cresta del talud. Una menor separación supone una mayor exposición, dado que, los

elementos se encuentran dentro de la zona de influencia directa del deslizamiento potencial. Este criterio es fundamental para la identificación de la exposición física y de la población potencialmente afectada (CENEPRED, 2014; SNGRE, 2020).

2.7.4. Variables Socio-territoriales

Este grupo de variables se orienta a caracterizar la exposición de los elementos humanos y materiales, considerando tanto su cantidad como su condición espacial.

2.7.4.1. Número de Elementos Posiblemente Afectados. Esta variable permite cuantificar la cantidad de elementos expuestos al deslizamiento potencial, incluyendo viviendas, vías, puentes vehiculares y peatonales, espacios verdes y parqueaderos. De esta manera, se estima la magnitud del impacto potencial, ampliando el enfoque presentado en reportes del SNGRE (2020).

2.7.4.2. Área de Protección Ecológica Dentro del Predio. Esta variable cuantifica la superficie de los lotes que se encuentra bajo una restricción de uso específica, entendiendo que: “El uso de protección ecológica es el uso asignado a las áreas urbanas o rurales destinadas a la conservación del patrimonio natural” (Municipio del Distrito Metropolitano de Quito, 2024). En el marco de esta investigación, dicha delimitación normativa no solo cumple una función de conservación, sino que actúa como un indicador técnico de exposición de los predios debido a su proximidad inmediata a los taludes y al cauce del río. Al analizar el área de protección dentro de cada propiedad, se logra comprender la preocupación de la población frente a la posibilidad de que ocurra un deslizamiento o un colapso asociado a la inestabilidad del terreno (Rivera, 2016).

2.7.5. Integración de Variables y Fundamento del Riesgo por Deslizamiento

El riesgo por deslizamiento no se explica a partir de una única variable, sino mediante la interacción simultánea y sistémica de los componentes que intervienen en el proceso. Las variables de susceptibilidad física del terreno describen las condiciones inherentes de inestabilidad presentes en los taludes, mientras que las variables asociadas a los factores detonantes influyen en la activación de dichas condiciones, permitiendo la manifestación del deslizamiento de masas como amenaza.

Las variables de exposición permiten identificar la localización, cercanía y cantidad de los elementos antrópicos y territoriales que se encuentran dentro del área de influencia del fenómeno. A través de estas variables se representa, de manera indirecta, la vulnerabilidad de los elementos expuestos, en tanto se consideran aspectos como la proximidad a zonas inestables, la ocupación del suelo y la presencia de restricciones normativas, los cuales condicionan el grado de daño que podrían experimentar ante la ocurrencia de un deslizamiento.

En este estudio, la amenaza y la vulnerabilidad no se evalúan como componentes independientes dentro del análisis multicriterio explicado en el apartado 2.8, sino que se encuentran implícitamente representadas mediante la interacción de las variables seleccionadas. La amenaza se expresa a través de la combinación de la susceptibilidad física del terreno y la acción de los factores detonantes, mientras que la vulnerabilidad se incorpora de manera integrada a partir de las variables de exposición, las cuales reflejan las condiciones sociales, territoriales y normativas que condicionan el daño esperado. Bajo este enfoque, el método Analytic Hierarchy Process (AHP) permite integrar simultáneamente estos componentes en un único índice sintético orientado a la evaluación del riesgo.

En este contexto, el riesgo por deslizamiento se configura únicamente cuando la amenaza interactúa con elementos expuestos que presentan condiciones de vulnerabilidad. Por lo tanto, una alta susceptibilidad del terreno o la presencia de factores detonantes no implican necesariamente un riesgo elevado si no existen elementos expuestos o si las condiciones territoriales reducen el nivel de daño esperado. La probabilidad de que se generen daños materiales o afectaciones a las personas surge de la coincidencia funcional y espacial entre la amenaza (deslizamiento de masas), la susceptibilidad del terreno, los factores detonantes, la exposición de los elementos y sus condiciones de vulnerabilidad, en concordancia con el marco legal vigente.

2.8. Descripción del Método Analytic Hierarchy Process (AHP)

El Proceso de Análisis Jerárquico (AHP), desarrollado por Thomas L. Saaty, es un método de toma de decisiones multicriterio que posibilita la creación de escalas de prioridades mediante comparaciones con pares (Saaty, 1990). Esta perspectiva, que mezcla aspectos psicológicos y matemáticos, es esencial para decisiones complejas porque permite fraccionar un problema en dimensiones jerárquicas con objetivos, criterios de evaluación y alternativas (Saaty, 1990).

La técnica se basa en tres ideas fundamentales: la descomposición (organización jerárquica), los juicios comparativos (evaluación entre pares) y la síntesis de prioridades (Saaty, 1990). El AHP tiene como principal fortaleza el hecho de que no se limita a datos estrictamente estadísticos, sino que puede integrar la experiencia y criterio de expertos para valorar aspectos intangibles. Así, el modelo convierte las valoraciones cualitativas subjetivas en prioridades numéricas objetivas a través de una escala absoluta fundamental (Saaty, 1990).

2.8.1. La Escala Fundamental de Saaty

Para llevar a cabo las comparaciones emparejadas, se emplea una escala de razón básica que va del 1 al 9, la cual está creada para mostrar la habilidad humana de diferenciar grados de preferencia entre dos elementos. Como se observa en la Figura 1, un valor de 1 señala que ambos elementos tienen la misma relevancia, mientras que un valor de 9 simboliza una relevancia total o extrema de un elemento con relación a otro.

Figura 1

Escala Fundamental de Saaty

Table 1.1 The fundamental scale

Intensity of importance	Definition	Explanation
1	Equal importance	Two activities contribute equally to the objective
2	Weak	
3	Moderate importance	Experience and judgment slightly favor one activity over another
4	Moderate plus	
5	Strong importance	Experience and judgment strongly favor one activity over another
6	Strong plus	
7	Very strong or demonstrated importance	An activity is favored very strongly over another; its dominance demonstrated in practice
8	Very, very strong	
9	Extreme importance	The evidence favoring one activity over another is of the highest possible order of affirmation
Reciprocals of above	If activity i has one of the above nonzero numbers assigned to it when compared with activity j , then j has the reciprocal value when compared with i	A reasonable assumption
Rationals	Ratios arising from the scale	If consistency were to be forced by obtaining n numerical values to span the matrix

Nota. Reproducido de *Models, methods, concepts & applications of the analytic hierarchy process* (p. 6), por T. L. Saaty y L. G. Vargas, 2012, Springer Science+Business Media.

2.8.2. Aproximación del Vector Propio en el Proceso de Análisis Jerárquico (AHP)

El componente principal del AHP reside en la construcción de una matriz de comparación recíproca positiva "A", donde cada elemento a_{ij} refleja la relevancia del criterio "i" con respecto al criterio "j". Esta base matemática se enmarca dentro de la teoría de matrices y vectores. De manera formal, cuando una matriz de comparaciones pareadas "A" muestra una consistencia perfecta, sus prioridades exactas corresponden al vector propio principal (eigenvector) "w" que cumple la Ecuación 7, donde "n" es el número de criterios o variables del análisis:

$$A * w = n * w \quad (7)$$

No obstante, debido a que los juicios realizados por personas pueden introducir inconsistencias naturales, alcanzar la solución precisa implica resolver la Ecuación 8, esta representa la ecuación general del autovalor máximo:

$$A * w = \lambda_{max} * w \quad (8)$$

Donde " λ_{max} " representa el valor propio más alto de la matriz "A" y "w" es el vector de prioridades asociado.

Si bien el cálculo exacto del vector propio principal implica una aritmética más compleja (generalmente resuelta computacionalmente), Saaty (1990) reconoce la aplicación de procedimientos de estimación directa para matrices que sean consistentes o que presenten un nivel de inconsistencia tolerable.

Entre las alternativas de aproximación, el procedimiento de "Average of normalized columns" es una de las tácticas más utilizadas y robustas para resumir prioridades. Este método consiste en normalizar cada columna de la matriz, dividiendo cada elemento por el total de su

respectiva columna y después calculando el promedio de los resultados conocidos para cada fila. Este procedimiento es identificado por Saaty (1990, p. 19) como uno de los métodos directos para derivar prioridades, señalando que produce resultados equivalentes a la solución exacta cuando la matriz mantiene la consistencia.

2.8.3. Fundamento del Vector Suma Ponderada

Para que los juicios en el AHP sean válidos desde un punto de vista lógico, es necesario estimar el autovalor máximo " λ_{max} ". Cuando se emplean métodos de aproximación para calcular los pesos " w ", el valor preciso de " λ_{max} " no se extrae directamente del cálculo inicial. Para calcularlo, debe operacionalizar la relación teórica " $A * w = \lambda_{max} * w$ " mediante el cálculo del Vector Suma Ponderada.

Este procedimiento matemático implica multiplicar la matriz original de comparaciones pareadas (A) por el vector de prioridades obtenido (w). El resultado es un nuevo vector que representa el peso ponderado de la relevancia de cada criterio. A partir de este punto, siguiendo el protocolo de cálculo de consistencia establecido por el CENEPRED (2014), se obtiene una estimación precisa de " λ_{max} ", un valor esencial para el cálculo del "Índice de Consistencia" (CI) definido por Saaty (1990), al dividir estos componentes (Vector Suma Ponderada) por los pesos originales del vector " w " y promediar las respuestas.

2.8.4. Parámetros de Evaluación de la Consistencia Lógica

2.8.4.1. El Orden de la Matriz (n). El tamaño de la matriz cuadrada de comparaciones pareadas, establecido por la cantidad de criterios o variables que se están evaluando a la vez en un nivel jerárquico determinado, es lo que este parámetro ejemplifica.

En la formulación algebraica del AHP, " n " es esencial dado que determina el valor teórico del autovalor máximo en un contexto de perfecta consistencia, en el cual se cumpliría la igualdad " $\lambda_{max} = n$ " (Saaty, 1990). Cualquier desvío en la transitividad de los juicios hará que el valor propio principal sea superior al orden de la matriz ($\lambda_{max} > n$). Esta diferencia ($\lambda_{max} - n$) es la base matemática para calcular la inconsistencia (Saaty, 1990).

2.8.4.2. Índice de Consistencia (CI). El "Índice de consistencia" (Consistency Index), es la métrica que recoge el desvío cardinal de la matriz de juicios en relación con la consistencia perfecta (Saaty, 1990). Se define como la diferencia normalizada entre el autovalor máximo calculado, " λ_{max} " y el orden de la matriz " n ", que se expresa usando la siguiente Ecuación 9:

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (9)$$

2.8.4.3. Índice Aleatorio (RI). El "Índice Aleatorio" (Random Index) sirve como un factor de corrección o línea base en términos experimentales. Los valores estándar de referencia, representados en la Figura 2, fueron determinados a través de la simulación de matrices recíprocas aleatorias para cada tamaño (Saaty & Vargas, 2012).

Figura 2

Índice Aleatorio (R.I.)

Table 1.2 Average random consistency index (R.I.)

N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Random consistency index (R.I.)	0	0	0.52	0.89	1.11	1.25	1.35	1.40	1.45	1.49

Nota. Reproducido de *Models, methods, concepts & applications of the analytic hierarchy process* (p. 9), por T. L. Saaty y L. G. Vargas, 2012, Springer Science+Business Media.

2.8.4.4. Razón de Consistencia (CR). La razón de consistencia (Consistency Ratio) es el último indicador para validar el modelo. Comparando el “Índice de Consistencia” (*CI*) del estudio con el “Índice Aleatorio” (*RI*) que se relaciona con el tamaño de la matriz (Saaty & Vargas, 2012), se obtiene la Ecuación 10:

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

Este cociente muestra la consistencia de la matriz en comparación con una matriz completamente aleatoria. De acuerdo con la teoría de Saaty (1990), el modelo es válido y los pesos derivados (*w*) son aceptables si el "CR" es igual o inferior a 0.10 (10%); este valor se entiende como una inconsistencia tolerable. Si el "CR" pasa este límite, significa que los juicios son muy inconsistentes y necesitan ser revisados y reevaluados para optimizar la transitividad de las preferencias.

2.9. Muestreo Aleatorio Simple (M.A.S.)

La estadística es una herramienta competente cuando se trata de evaluaciones complejas. Para una población grande que se encuentra en una amplia extensión de terreno, donde el levantamiento de información de esta es inviable, ya sea por temas técnicos o económicos, esta herramienta resulta ser útil.

El Muestreo Aleatorio Simple es una técnica fundamental si se habla de una probabilidad acertada. En ella, cada uno de los elementos del conjunto tiene las mismas probabilidades de ser seleccionado para llegar a ser evaluado. La equiprobabilidad asegura que la muestra sea representativa y que los errores que se puedan ocasionar se puedan calcular con métodos matemáticos (Hernández Sampieri et al., 2014).

Otzen y Manterola (2017) sostienen que el Muestreo Aleatorio Simple es especialmente adecuado para poblaciones finitas, definidas y accesibles, dado que garantiza que todos los elementos tengan igualdad de oportunidades para ser seleccionados. Este estado de aleatoriedad permite que la muestra sea representativa de la población analizada y que los resultados obtenidos sean extrapolables con márgenes de error medibles. Este procedimiento es particularmente útil en el ámbito de la ingeniería para calcular características promedio de un conjunto; por ejemplo, propiedades físicas o parámetros estructurales, sin necesidad de examinar individualmente cada componente que compone a la población.

2.9.1. Determinación del Tamaño para un Conjunto Finito

La teoría de muestreo sostiene que es fundamental ajustar el cálculo de la muestra (n) para rectificar la finitud del universo cuando ya se conoce el tamaño de la población (N) (Cochran, 1977). La expresión matemática fundamental para representar el muestreo se presenta

en la Ecuación 11, la cual corresponde a la determinación del tamaño de muestra para proporciones en poblaciones finitas, basada en las Ecuaciones 4.2 y 4.3 del Capítulo 4 de Cochran (1977, pp. 75-76):

$$n = \frac{N \times Z^2 \times p \times q}{E^2 \times (N - 1) + Z^2 \times p \times q} \quad (11)$$

En los siguientes párrafos se explicará cada una de las variables:

2.9.1.1. Nivel de Confianza (Z). Sirve para medir el nivel de certeza que se presenta en el parámetro real de la población. El estándar que se acepta en investigaciones de ingeniería y ciencia es del 95%, correspondiente a un valor Z de 1.96 bajo la curva de distribución normal estándar (Triola, 2018). Esto implica que, si el estudio se realizará cien veces, los resultados serían congruentes con la realidad en noventa y cinco ocasiones.

2.9.1.2. Probabilidad de que Ocurra y Varianza Máxima (p y q). Estos componentes posibilitan analizar la diversidad de una población y la probabilidad de que un elemento posea el rasgo que se desea examinar; en tanto, $q = (1 - p)$ (Triola, 2018) representa la probabilidad de que no lo tenga. Si no existen investigaciones anteriores que indiquen la varianza poblacional, como por ejemplo si se desconoce si hay más viviendas de un piso o de tres pisos, es necesario aplicar el criterio de máxima varianza ($p = 0.5$ y $q = 0.5$). De acuerdo con Triola (2018), asumir un valor de $p = 0.5$ maximiza el producto $p \times q$; esto asegura que el tamaño de muestra calculado será lo suficientemente grande para cumplir con la precisión deseada, incluso ante la incertidumbre sobre la variabilidad real de la población.

2.9.1.3. Error Admisible (E). Determina el rango de exactitud que la estimación admite; es la mayor discrepancia entre los datos muestrales y los reales de la población que el investigador acepta (Triola, 2018).

2.10. Fotogrametría

La fotogrametría es un método que permite, a partir de fotos bidimensionales superpuestas, identificar una geometría tridimensional y reconstruir con precisión el área que se va a examinar (Eisenbeiss, 2009). En el contexto de la gestión de riesgos y la ingeniería civil, el uso de Vehículos Aéreos No Tripulados (VANT), conocidos comúnmente como drones, son herramienta ideal para obtener topografía de alta precisión en zonas de difícil acceso o alto riesgo (Eisenbeiss, 2009).

Al ser una herramienta de alta precisión, esta técnica permite reconstruir todo el entorno en el cual se quiera trabajar, estudiar o evaluar, obteniendo con exactitud centimétrica los modelos digitales de elevación (DEM) (Colomina & Molina, 2014). Este proceso genera nubes de puntos densificadas y ortomosaicos de alta resolución, permitiendo una captura real de la geometría de la zona; su uso es determinante para este tipo de investigaciones, dado que con ella se trabaja con datos actuales y reales del terreno, asegurando que los resultados finales sean de total fiabilidad.

CAPÍTULO III.

3. Área de Estudio

3.1. Localización y Delimitación del Tramo Analizado del Río Monjas

Este trabajo se desarrolla en el Distrito Metropolitano de Quito, concretamente a lo largo del Río Monjas, el cual, para este proyecto; tiene una longitud igual a 21.397 km que está delimitada mediante las siguientes coordenadas WGS 84 / UTM zona 17S:

- Inicio del río: 779577.37 E, 9988643.03 N
- Fin del río: 787220.21 E, 10002709.53 N

Nota: Las unidades de las coordenadas este (E) y norte (N) se expresan en metros.

Debido a la complejidad y gran extensión del río, se ha optado por dividir el mismo en tres tramos. En este trabajo se evaluará el tramo central del río, el cual posee una extensión total de 7.144 km.

El área de estudio se encuentra delimitada espacialmente por las siguientes coordenadas WGS 84 / UTM zona 17S:

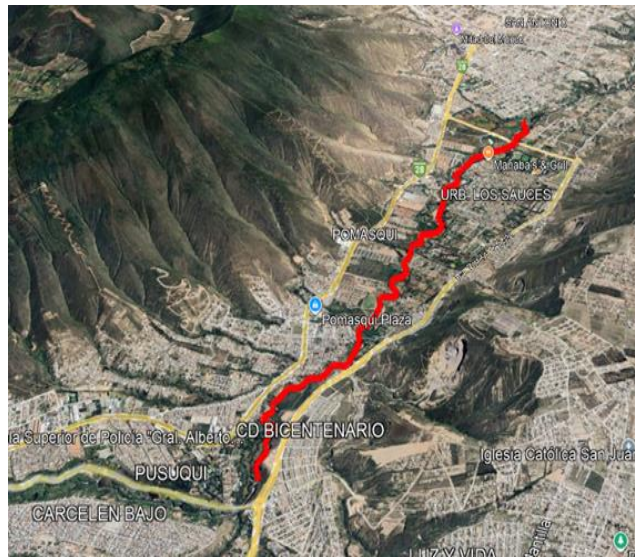
- Inicio del tramo: 783405.34 E, 9992471.42 N
- Fin del tramo: 784488.26 E, 9998156.73 N

Nota: Las unidades de las coordenadas este (E) y norte (N) se expresan en metros.

La Figura 3 muestra el área analizada, la cual se presenta en el sector de Pomasqui, un sector donde el crecimiento urbano es continuo. Esto ha creado una situación de riesgo constante, donde los deslizamientos y las fallas se presentan con frecuencia.

Figura 3

Tramo de análisis de 7.144 km



Nota. Captura de pantalla elaborada a partir de Google Earth Pro (Google, 2024). Edición propia.

3.2. Características Geomorfológicas y Geológicas del Sector

3.2.1. Geomorfología

Según Altamirano (2022), el relieve en las cercanías del Río Monjas es accidentado y tiene márgenes con pendientes casi verticales. El autor indica que, esta configuración es el producto de un proceso de erosión regresiva e incisión fluvial que ha hecho que el cauce se vuelva más profundo de manera intensa. La dinámica hídrica provoca que la base de las laderas se socave continuamente, lo cual hace desaparecer el soporte natural de los taludes y genera diferentes movimientos en masa a través de toda la cuenca (Aguirre, 2023).

3.2.2. Geología Local

El área de estudio está conformada en su mayoría por restos de origen volcánico y sedimentos correspondientes al Plio-Cuaternario (Villagómez, 2003), estos suelos son “jóvenes” geológicamente hablando, por lo cual, al estar formados por ceniza volcánica y arrastre de agua, son poco consolidados y erosionables.

En los taludes de estudio predominan los materiales asociados a la Formación Cangahua y la Formación San Miguel. Desde una perspectiva geológica regional, estas unidades estratigráficas se componen principalmente de tobas, cenizas volcánicas, areniscas y limolitas (Villagómez, 2003). Esta configuración litológica se traduce geotécnicamente en suelos conformados mayoritariamente por limos inorgánicos (ML) y arenas limosas (SM), tal como se evidencia en los resultados de caracterización física obtenidos en la zona de análisis (Ortega & Quishpe, 2025). A simple vista se puede notar que los taludes parecen mantenerse verticales y soportar grandes cargas en estado seco, pero son materiales de baja cohesión y de alta erosión (Ortega & Quishpe, 2025), por lo tanto, al entrar en contacto con el agua o saturarse, desposee su resistencia, provocando que sucedan deslizamientos, colapsos o desprendimientos.

3.3. Características Hidrológicas y Climáticas

3.3.1. Hidrología

El Río Monjas ha cambiado constantemente debido a las descargas de alcantarillado, puesto que, este cuerpo de agua funciona como el principal receptor de aguas servidas y pluviales del norte de Quito (Rivera, 2016).

Con esto se puede determinar que su caudal no solo es afectado por las lluvias, sino que también por las constantes descargas. Este incremento abrupto lo único que ha causado es que la

vulnerabilidad del sector aumente, al generarse grandes socavaciones en la base de los taludes; con este proceso se ha identificado que es uno de los principales agentes detonantes para la inestabilidad de los mismos (Secretaría General de Seguridad y Gobernabilidad, 2021).

3.3.2. *Clima*

La Cuenca del Río Monjas, en su piso altitudinal mesotérmico, presenta precipitaciones repartidas en dos estaciones lluviosas. Los valores máximos de lluvia diaria se registran predominantemente en los meses de noviembre y mayo (Rivera, 2016). Esto provoca que los suelos de la zona que están conformados por cenizas y limos, los cuales son muy porosos, se saturen de una manera rápida, lo que aumenta la presión de poros y el peso de la masa del suelo, con posibilidades de deslizamientos en épocas lluviosas (Suárez Díaz, 1998).

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

En el tramo analizado se aprecia una gran expansión urbana, tanto formal como informal, esto se ha vuelto un problema muy grave, dado que, las nuevas viviendas llegan a ocupar el borde de los taludes (Rivera, 2016).

Se logran observar varios tipos de infraestructura como: viviendas, locales, restaurantes y hasta espacios donde se realiza venta de vehículos (observar Anexo A – Figura A1).

Las viviendas que se han llegado a visitar normalmente están construidas con hormigón armado y mampostería, siendo estructuras desde un piso hasta de tres pisos o más, las cuales con “normalidad” no respetan los retiros reglamentarios. También se han visto varios conductos de agua (tuberías) informales (verificar Anexo A – Figura A2), las cuales reflejan cómo las personas arrojan las aguas servidas directo en el Río Monjas, promoviendo la socavación de los taludes. La red vial, a su vez, pasa por tramos donde se acerca de manera lateral al cauce del río,

esto provoca que los taludes se expongan a vibraciones constantes y sobrecargas de tráfico, esto con el tiempo, puede afectar a la estabilidad de los taludes.

Por consiguiente, todo lo mencionado ha generado que el sector en estudio sea un escenario de alto riesgo, donde las infraestructuras no solo actúan como un elemento posiblemente afectado, sino también como un elemento que contribuye a la inestabilidad de los taludes.

CAPÍTULO IV.

4. Metodología

4.1. Enfoque General del Estudio

Este trabajo se realizó con un enfoque mixto (cuali-cuantitativo) de carácter descriptivo y aplicado. La parte cualitativa está presente en la valoración experta de la importancia relativa de los criterios a través del método AHP (Saaty, 1990). En cuanto a la parte cuantitativa, es el eje central del procesamiento técnico e incluye la resolución algebraica de las matrices de decisión y el cálculo espacial y modelado numérico de las variables utilizando los Sistemas de Información Geográfica (QGIS). Este modelo híbrido, tiene como propósito estimar el riesgo de deslizamiento de taludes en el cauce del Río Monjas en el tramo de análisis mediante un índice numérico (LRI), en lugar de medirlo como una magnitud física absoluta. Este objetivo se realizó mediante la implementación de tres fases:

4.1.1. Fase 1 (Apartado 4.2)

Identificación y descripción de variables geomorfológicas, geotécnicas, hidrológicas, estructurales, antrópicas y socio-territoriales; las cuales fueron elegidas con base en una recopilación de información proveniente de fuentes oficiales y estudios en la zona.

4.1.2. Fase 2 (Apartado 4.3-4.9)

Esta fase es el núcleo de la investigación, se basa en el uso consecutivo y simultáneo de fuentes bibliográficas, imágenes satelitales (Google Earth Pro), herramientas de análisis espacial (QGIS), para el procesamiento de datos de cada variable, y el método Analytic Hierarchy Process (AHP), para la ponderación de criterios (variables analizadas). Esto da la capacidad de

priorizar los factores que más influyen en la inestabilidad de los taludes; todo desarrollado con el fin de determinar el o los taludes más críticos de la zona de estudio.

4.1.3. Fase 3 (Apartado 4.10)

Se desarrolla a partir de una validación de datos de los taludes más críticos mediante inspecciones de campo, donde se busca comprobar que los resultados obtenidos mediante el procesamiento de datos en el software QGIS 3.44.1, estén próximos a los resultados obtenidos después de la utilización de equipos topográficos como la estación total o dron. Finalmente, se realiza un ajuste de la base de datos con la información obtenida post salida de campo para estimar cuál es el talud con mayor riesgo por deslizamiento.

4.2. Identificación y Descripción de Variables del Análisis Multicriterio

A continuación, en la Tabla 1, se mostrarán todas las variables empleadas en este estudio.

Tabla 1

Variables del análisis con su respectivo indicador, unidad y fuente

Variable	Indicadores	Unidades	Fuente
Número de elementos posiblemente afectados	Número de infraestructuras, vías, puentes, áreas verdes y parqueaderos ubicados en el área de influencia del talud	#	Google Open Buildings, Google Earth Pro y QGIS 3.44.1
Distancia del elemento posiblemente afectado a la cresta del talud	Medición espacial desde el elemento posiblemente afectado hasta la cresta del talud	m	Google Earth Pro y QGIS 3.44.1
Carga de la infraestructura en cresta del talud	Peso total de las edificaciones	Ton	Visor Geográfico del Servicio Nacional de Gestión de Riesgos y Emergencias (SNGRE) y QGIS 3.44.1
Altura del talud	Diferencia altimétrica entre cresta y base	m	Google Earth Pro y QGIS 3.44.1

Variable	Indicadores	Unidades	Fuente
Pendiente del talud	Ángulo de inclinación calculado entre base y cresta	°	Google Earth Pro y QGIS 3.44.1
Litología	Clasificación de suelos según SUCS y descripción geológica local	SUCS / descripción	Fuentes secundarias: Literatura Bibliográfica
Distancia del río a la base del talud	Medición espacial entre la línea de base del talud y el cauce activo del río	m	Google Earth Pro y QGIS 3.44.1
Caudal del río	Caudal estimado con base en caudales de cuencas del sector	m ³ /s	Literatura Bibliográfica, QGIS 3.44.1 y curva extrapolada
Longitud del talud	Extensión lineal del talud paralela al cauce	m	Google Earth Pro y QGIS 3.44.1
Área de protección ecológica dentro del predio	Área del predio inutilizable comprendida entre la cresta del talud y el río	m ²	Catastro Municipal, Google Earth Pro y QGIS 3.44.1

Nota. Elaboración propia

En el apartado 2.7 del presente documento, se realizó la justificación de la elección de las diez variables que serán utilizadas en el análisis multicriterio; por lo que el objetivo del actual subcapítulo (4.2), es describir de manera precisa el criterio y consideraciones que se llevaron a cabo a la hora de calcular estas variables en el software QGIS 3.44.1 o en su defecto bajo información de literatura bibliográfica e inspecciones de campo. A lo largo del tramo de análisis con coordenadas WGS 84 / UTM zona 17S (783405.34 E, 9992471.42 N - 784488.26 E, 9998156.73 N), se encontraron un total de 71 taludes que lograron ser representados bajo los criterios de cada variable descritos a continuación.

4.2.1. Longitud del Talud

La delimitación de los taludes en el tramo de estudio se realizó mediante un proceso de digitalización geomorfológica apoyado en curvas de nivel que provinieron de un modelo digital de elevación de resolución de 10 x 10 metros, otorgado por el Instituto Geográfico Militar del

Ecuador (IGM). El objetivo es definir segmentos de borde de talud que representen una continuidad morfológica.

No hay un procedimiento universal para determinar de forma estricta el comienzo y el final de un talud en investigaciones sobre inestabilidad de laderas. Sin embargo, investigaciones como la de Guzzetti et al. (2012) enfatizan la importancia de definir unidades geomorfológicas coherentes, identificables mediante la continuidad de parámetros morfométricos como el relieve (altura), la pendiente y la curvatura del terreno (p. 47).

Fundamentado en estos principios rectores de coherencia morfológica, pero ante la necesidad de discretizar el terreno para el modelo numérico, la presente investigación desarrolló un protocolo de delimitación específico. Este enfoque metodológico propio se diseñó para garantizar la consistencia de las unidades de análisis mediante los siguientes criterios operativos:

4.2.1.1. Continuidad Morfométrica. Se establecieron los límites de los taludes, donde se localizaron secciones donde las curvas de nivel mantenían distancias relativamente constantes, sugiriendo así un talud de forma continua.

4.2.1.2. Cota de Diferencia Máxima. Se determinó como norma que la diferencia de altura entre el punto más elevado y el más bajo de un mismo segmento de talud no sobrepasara los 8 metros, un criterio basado en la experiencia adquirida durante el proceso de digitalización, que mostró que este rango ayudaba a definir taludes que fueran morfológicamente consistentes sin producir segmentos de talud demasiado cortos ni excesivamente largos.

La identificación de superficies llanas intermedias o rupturas de pendiente ha facilitado la distinción de unidades morfológicas internas, en línea con los patrones interpretativos geomorfológicos que Guzzetti et al. (2012) han presentado. No obstante, al mantener una

alineación geomorfológica común y un comportamiento topográfico continuo, estas configuraciones escalonadas se conceptualizaron como “Sistemas de Taludes”. Por tanto, el conjunto fue tratado como una única unidad para el análisis multicriterio. En estos casos compuestos, la longitud representativa del sistema se obtuvo mediante el promedio de los distintos segmentos lineales dibujados en su interior.

Teniendo todo esto en cuenta, se verificó que los segmentos lineales dibujados tuvieran sentido tanto en Google Earth Pro como en QGIS. Se consideró que habría cierta variación entre las dos plataformas, lo cual se justifica por la diferencia en las fuentes de datos primarios: QGIS se basa en el Modelo de Elevación Digital (DEM), una representación del terreno a partir de curvas de nivel, mientras que Google Earth Pro utiliza imágenes satelitales, que permitieron ver el talud tridimensionalmente. Esta diferencia entre el modelo topográfico y la imagen satelital justifica las pequeñas desviaciones; sin embargo, siempre se buscó que el trazado tenga la máxima coherencia posible en las dos plataformas. A continuación, se presentará la Tabla 2 con todos los puntos de análisis (siendo estos el punto medio de la longitud del talud respectivo), con su tipo de talud y coordenadas en el sistema de referencia de coordenadas WGS 84 / UTM zona 17S:

Tabla 2

Puntos del análisis con su tipo de talud y coordenadas respectivas en WGS 84 / UTM zona 17S

Punto	Tipo	Coordenada X (Este)	Coordenada Y (Norte)
1	Talud simple	783452.60	9992553.43
2	Talud simple	783390.05	9992632.88
3	Sistema de taludes	783205.58	9992612.19
4	Talud simple	783392.25	9992698.66
5	Talud simple	783400.12	9992782.13
6	Talud simple	783378.06	9992839.81
7	Talud simple	783425.26	9992968.08
8	Talud simple	783168.31	9993111.98

Punto	Tipo	Coordenada X (Este)	Coordenada Y (Norte)
9	Talud simple	783455.96	9993198.77
10	Talud simple	783152.27	9993277.28
11	Talud simple	783211.19	9993403.36
12	Talud simple	783280.49	9993497.35
13	Sistema de taludes	783491.10	9993473.20
14	Talud simple	783310.67	9993537.26
15	Talud simple	783398.83	9993627.44
16	Talud simple	783479.74	9993651.60
17	Talud simple	783538.08	9993591.19
18	Talud simple	783615.58	9993660.40
19	Talud simple	783510.38	9993803.36
20	Talud simple	783656.84	9993760.25
21	Talud simple	783737.61	9993781.88
22	Talud simple	783727.97	9993846.66
23	Talud simple	783603.96	9993870.50
24	Talud simple	783615.58	9993970.37
25	Talud simple	783734.86	9994103.16
26	Talud simple	783658.97	9994159.05
27	Talud simple	783821.82	9994237.42
28	Talud simple	783773.21	9994369.67
29	Talud simple	783540.58	9994396.62
30	Sistema de taludes	783902.38	9994517.75
31	Talud simple	783542.98	9994658.30
32	Talud simple	783629.86	9994790.66
33	Talud simple	783705.76	9994903.05
34	Talud simple	783671.35	9995025.90
35	Talud simple	783956.46	9994950.38
36	Talud simple	783902.61	9995167.84
37	Talud simple	784007.14	9995260.55
38	Talud simple	783963.15	9995432.44
39	Talud simple	783690.58	9995233.80
40	Talud simple	783610.89	9995432.60
41	Talud simple	783646.72	9995558.58
42	Talud simple	783981.53	9995636.49
43	Talud simple	783770.99	9995752.72
44	Talud simple	784038.16	9995790.02
45	Talud simple	784047.44	9995954.13
46	Talud simple	783724.41	9995958.61
47	Talud simple	784010.98	9996109.54
48	Talud simple	783792.90	9996137.08
49	Talud simple	783783.07	9996294.93
50	Talud simple	783990.00	9996273.99
51	Talud simple	784035.58	9996379.85

Punto	Tipo	Coordenada X (Este)	Coordenada Y (Norte)
52	Talud simple	783987.55	9996511.71
53	Talud simple	784035.58	9996654.99
54	Talud simple	783785.44	9996777.30
55	Talud simple	784019.99	9996890.67
56	Talud simple	783844.55	9996979.62
57	Talud simple	784061.41	9997045.77
58	Talud simple	783937.06	9997218.92
59	Talud simple	784181.93	9997220.69
60	Talud simple	784411.80	9997318.78
61	Talud simple	784029.97	9997430.65
62	Talud simple	784185.93	9997532.09
63	Talud simple	784068.52	9997700.38
64	Talud simple	784301.09	9997704.28
65	Sistema de taludes	784469.06	9997550.92
66	Talud simple	784509.62	9997747.63
67	Talud simple	784345.99	9997821.98
68	Talud simple	784573.66	9997916.28
69	Talud simple	784401.72	9998044.88
70	Talud simple	784594.36	9998120.00
71	Talud simple	784291.43	9998207.98

Nota. Elaboración propia. Las unidades de las coordenadas se expresan en metros.

4.2.2. Pendiente y Altura del Talud

Para determinar la pendiente del talud, se necesitaron dos puntos para trazar este segmento en QGIS, estos puntos fueron llamados “Crestas” y “Bases”, los cuales forman parte de la longitud del talud y la longitud de la base, respectivamente. Para el trazado de la base, se siguió el parámetro detallado anteriormente en la sección de “Longitud del talud”. Teniendo esto en cuenta, se analizaron los dos parámetros necesarios para calcular la pendiente: la longitud en dos dimensiones de la línea que une el punto de la cresta con el punto de la base; y, por otro lado, la altura del talud, siendo la diferencia de elevación entre los puntos mencionados anteriormente. Por geometría, se sabe que la pendiente se calcula mediante la Ecuación 12:

$$Pendiente (^{\circ}) = atan\left(\frac{Altura\ del\ Talud}{Longitud\ 2D}\right) \quad (12)$$

Por lo que, para buscar la pendiente máxima, se verificó que el dibujo de la línea que representa la pendiente en QGIS, generase la combinación ideal entre el máximo valor de altura del talud junto con la menor longitud en dos dimensiones posible, para así asegurar el valor más crítico posible.

4.2.3. Número de Elementos Posiblemente Afectados

Como se revisó en el subcapítulo 2.7, esta variable toma en consideración no solo las infraestructuras como casas o edificios, sino también a los demás elementos donde puedan existir pérdidas económicas y de seres vivos. Estos elementos como puentes vehiculares, puentes peatonales, parqueaderos, espacios verdes y calles fueron representados mediante un punto en QGIS; siguiendo las recomendaciones del diagnóstico de riesgos de la cuenca (Rivera, 2016), donde se enfatiza que para “evaluar la vulnerabilidad física”, establece la necesidad de determinar la “cantidad de Elementos Expuestos en función de la amenaza particular”. Mientras que las infraestructuras como tal fueron obtenidas mediante una capa de polígonos importada de Google Open Buildings (Google Research, 2023). Teniendo esto en cuenta, se definió un radio de 150 metros para generar una circunferencia (buffer en QGIS 3.44.1), donde se realizaría el conteo del número de elementos posiblemente afectados en ese talud, sabiendo que el centro de esa circunferencia sería el punto medio de la longitud del talud de análisis.

Para definir el valor del radio de influencia, se adoptó como referencia el criterio de proximidad propuesto por el CENEPRED (2014), el cual se lo puede verificar en la Figura 4 para la variable “localización de edificaciones”, donde la categoría de “muy cercano” se establece

entre 0 y 0.2 km (200 m), por lo que el valor elegido (150 metros) está dentro del rango de la fuente expuesta.

Figura 4

Matriz de peligro / Localización de la edificación

CUADRO 72: Localización de la edificación

PARÁMETRO	LOCALIZACIÓN DE LA EDIFICACIÓN	PESO PONDERADO: 0.318		
DESCRIPTORES	EE1	Muy cercana 0 km – 0.2 km	PEE1	0.503
	EE2	Cercana 0.2 km – 1 km	PEE2	0.260
	EE3	Medianamente cerca 1 – 3 km	PEE3	0.134
	EE4	Alejada 3 – 5 km	PEE4	0.068
	EE5	Muy alejada > 5 km	PEE5	0.035

Nota. Reproducida de *Manual para la evaluación de riesgos originados por fenómenos naturales (2.ª ed., p. 130)*, por Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres (CENEPRED), 2014.

4.2.4. Distancia del Elemento Posiblemente Afectado a la Cresta del Talud

La distancia del elemento posiblemente afectado a la cresta del talud se determinó mediante un procedimiento geométrico de proximidad real. En primer lugar, se identificó el punto del elemento más cercano a la extensión del talud y se colocó una referencia. Desde allí, se trazó una línea perpendicular hacia la capa que representa la longitud del talud, asegurando una intersección que defina el punto de la cresta más cercano al elemento.

La distancia fue calculada tridimensionalmente mediante la Ecuación 13.

$$d = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta h^2} \quad (13)$$

Siendo Δx la distancia en dos dimensiones entre el punto de referencia sobre el elemento posiblemente afectado y el punto de la cresta, mientras que Δh representa la diferencia de cotas entre estos dos puntos.

Este enfoque supera la medición en dos dimensiones, pues incorpora la influencia de la topografía, la cual es un factor altamente influyente en la interacción entre el elemento y el talud. Los diagnósticos de la cuenca confirman que la pendiente es un factor importante a ser considerado, especialmente donde se han desarrollado urbanizaciones muy cerca de la parte superior del talud (Rivera, 2016). Por lo tanto, la medición en tres dimensiones cuantifica esta proximidad real en topografías escarpadas.

4.2.5. Carga de la Infraestructura en la Cresta del Talud

Para determinar las cargas por metro cuadrado de las viviendas en el sector, fue esencial la determinación de los pesos propios de cada elemento estructural, en este caso (vigas, columnas y losas alivianadas), se optó por adoptar medidas de una vivienda común en la ciudad de Quito.

De esta manera fue de suma relevancia la utilización de la Norma Ecuatoriana de la Construcción - Cargas No Sísmicas (NEC-SE-CG, 2015), la cual en su Tabla 8 asigna pesos volumétricos tanto para el hormigón estructural (24 kN/m^3) como para los bloques huecos de hormigón alivianado (8.5 kN/m^3) (NEC-SE-CG, 2015).

A continuación, se presentará con detalle el procedimiento el cálculo de la carga por metro cuadrado:

4.2.5.1. Cálculo para las Vigas. En este caso se consideró una sección típica de viga de $0.4 \text{ m} \times 0.20 \text{ m}$ y vigas de amarre de $0.2 \text{ m} \times 0.2 \text{ m}$, común en viviendas de poca envergadura.

Para obtener la carga se multiplicó el área de la sección transversal por la longitud en el metro cuadrado, según se muestra en la Ecuación 14.

$$V_{vigas} = A_{sección} \times L_{eq} \quad (14)$$

Donde:

- V_{vigas} : Volumen de las vigas por metro cuadrado (m^3/m^2).
- $A_{sección}$: Área de la sección de las vigas (m^2).
- L_{eq} : Longitud equivalente de las vigas en el metro cuadrado (m/m^2).

Por lo tanto, se obtendrá el peso propio de la siguiente manera en la Ecuación 15.

$$q_{vigas} = V_{vigas} \times \frac{24 \text{ kN}}{m^3} \quad (15)$$

Donde:

- q_{vigas} : Carga de las vigas por metro cuadrado (kN/m^2).
- V_{vigas} : Volumen de las vigas por metro cuadrado (m^3/m^2).

4.2.5.2. Cálculo para las Columnas. Se utilizaron columnas de 0.40 m x 0.30 m y columnetas de 0.15 m x 0.15 m, en este caso el procedimiento de cálculo fue mediante la Ecuación 16.

$$q_{columnas} = \frac{V_{tot} \times 24 \frac{kN}{m^3}}{A_{planta}} \quad (16)$$

Donde:

- $q_{columnas}$: Carga de las columnas por metro cuadrado (kN/m^2).

- V_{tot} : Volumen total de las columnas (volumen x cantidad de columnas) (m^3).
- A_{planta} : Área en planta del piso (m^2).

4.2.5.3. Cálculo para losas alivianadas. Se consideraron losas alivianadas con 0.18 m de espesor, 0.2 m de ancho de nervio y bovedillas de 0.6 m x 0.2 m.

El cálculo para el volumen de la losa por metro cuadrado se lo determinó mediante la Ecuación 17.

$$V_{total} = 1 (m) \times 1(m) \times 0.18 (m)$$

$$V_{hormigón} = V_{total} - V_{bovedillas} \quad (17)$$

Donde:

- $V_{hormigón}$: Volumen del hormigón por metro cuadrado (m^3/m^2).
- V_{total} : Volumen total de la losa por metro cuadrado (m^3/m^2).
- $V_{bovedillas}$: Volumen de las bovedillas en la losa por metro cuadrado (m^3/m^2).

Recordando restar los orificios del volumen de las bovedillas, para finalmente llegar a la Ecuación 18. El desglose a detalle de este cálculo se verifica en el Anexo B (Figura B1).

$$q_{losa} = (V_{hormigón} \times 24 \text{ kN}/m^3) + (V_{bovedillas} \times 8.5 \text{ kN}/m^3) \quad (18)$$

Donde:

- q_{losa} : Carga de la losa por metro cuadrado (kN/m^2).
- $V_{hormigón}$: Volumen del hormigón por metro cuadrado (m^3/m^2).

- $V_{bovedillas}$: Volumen de las bovedillas en la losa por metro cuadrado (m^3/m^2).

4.2.5.4. Carga Muerta. Para obtener el valor de la carga muerta solo es necesario sumar todas las cargas anteriormente mencionadas, como se muestra en la Ecuación 19.

$$q_{muerta} = q_{vigas} + q_{columnas} + q_{losa} \quad (19)$$

Donde:

- q_{muerta} : Carga muerta de la estructura por metro cuadrado (kN/m^2).
- q_{vigas} : Carga de las vigas por metro cuadrado (kN/m^2).
- $q_{columnas}$: Carga de las columnas por metro cuadrado (kN/m^2).
- q_{losa} : Carga de la losa por metro cuadrado (kN/m^2).

4.2.5.5. Carga viva. Según lo establecido en la Tabla 9 de la Norma Ecuatoriana de la Construcción - Cargas No Sísmicas (NEC-SE-CG, 2015), se tomó el valor de viviendas (unifamiliares y bifamiliares) de $2 kN/m^2$ para carga viva.

4.2.5.6. Carga total considerada. Por consiguiente, se ha llegado a esta expresión, la cual proporciona el valor de la carga de la infraestructura por metro cuadrado, como se muestra en la Ecuación 20.

$$q_{total} = q_{muerta} + q_{viva} \quad (20)$$

Donde:

- q_{total} : Carga total de la estructura por metro cuadrado (kN/m^2).
- q_{muerta} : Carga muerta de la estructura por metro cuadrado (kN/m^2).

- q_{viva} : Carga viva de la estructura por metro cuadrado (kN/m^2).

Se recuerda que el detalle de este procedimiento se encuentra en el Anexo B (Figura B1).

Una vez se determinó la carga por metro cuadrado, se mayoró este valor y se lo multiplicó por el área total (m^2) de infraestructuras que se encuentran encima de la longitud del talud, para finalmente encontrar la carga (unidades de fuerza) encima de la cresta del talud.

4.2.6. Distancia del Río a la Base del Talud

La distancia entre la base del talud y el cauce activo del río se calculó mediante un procedimiento geométrico que permite representar con mayor fidelidad esta magnitud. Para cada talud, primero se identificaron tres puntos de referencia a lo largo de la longitud de la base: los dos extremos y el punto medio. Desde cada uno de ellos se trazó una línea perpendicular hacia la capa del río dibujada previamente en QGIS, esto con el fin de conseguir dos objetivos: generalizar una metodología de medición entre dos puntos (línea perpendicular desde el punto de la base hasta la capa del río) y de evitar tanto la sobreestimación como la subestimación de una única medición, debido que a lo largo de las longitudes de las bases de algunos taludes, existía una gran variación de proximidad entre los puntos de la base y el río.

A diferencia de una distancia estrictamente en dos dimensiones, la distancia utilizada en el análisis incorporó la componente vertical, calculando así una distancia tridimensional, utilizando una segunda vez la Ecuación 13.

Donde Δx corresponde a la distancia en dos dimensiones entre el punto de la base hasta el punto del río, y Δh representa la diferencia de cotas entre ambos puntos. Este enfoque se justifica conceptualmente en que la susceptibilidad a la socavación basal es un factor determinante en la inestabilidad de taludes cercanos a un río, este es el resultado de la erosión lateral del cauce, el

cual es un proceso físico en el que el flujo del agua remueve partículas de suelo o roca de la orilla (Suárez Díaz, 1998)

La literatura técnica (p.ej., Monteiro et al., 2016) destaca que esta erosión fluvial continua, induce colapsos progresivos y la pérdida de soporte basal. Este proceso es directamente dependiente de la proximidad real entre el flujo y el pie del talud. La distancia tridimensional, se utiliza como un indicador más preciso de esta susceptibilidad: una distancia “ d ” corta implica que el flujo erosivo (medido por Δx) está golpeando activamente la base del talud (medido por Δh), maximizando el riesgo de falla por socavación.

Tomando en cuenta todas estas consideraciones, la distancia final será igual al promedio de las tres distancias tridimensionales “ d ” calculadas, lo cual representa una medida más realista y representativa de la proximidad de la base del talud al río.

4.2.7. Caudal del Río

Para efectos del análisis, el caudal se representa mediante el caudal asociado a un período de retorno de 100 años, entendido como un escenario hidrológico extremo de baja probabilidad y alta magnitud, cuya probabilidad anual de excelencia es del orden del 1%, y que caracteriza condiciones críticas de caudal con alta capacidad erosiva. La fuente principal para esta variable es el documento presentado por Rivera (2016) para el Municipio del Distrito Metropolitano de Quito como se observa en la Figura 5.

Figura 5

Caudales para un periodo de retorno de 100 años y mapa de las cuencas del Río Monjas. Los valores de caudal provienen de estudios de TECNOSUELOS y fueron tomados del informe de Rivera (2016)

Cuenca	Q (m ³ /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

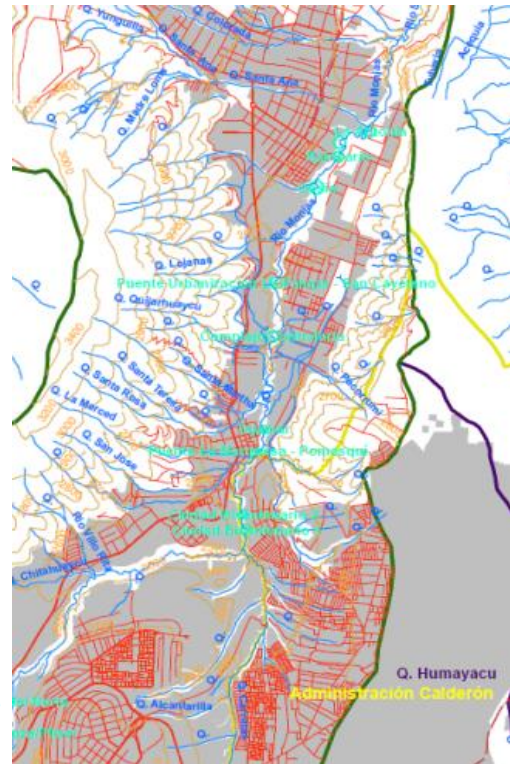


Tabla 3.1. Caudales para un periodo de retorno de 100 años generados en diferentes sitios del Río Monjas. Fuente TECNOSUELOS

Nota. Figura adaptada de *Consultoría para la elaboración del plan de gestión integral de riesgos de la cuenca del río Monjas, I Fase: Diagnóstico de la situación actual de amenazas, vulnerabilidades y riesgos* (p. 36-65), por Rivera, 2016.

La Figura 5 facilita información valiosa para el cálculo del caudal a lo largo del Río Monjas. Gracias a la tabla que aparece en esta Figura, se conocieron los valores de caudal (periodo de retorno de 100 años) para cada una de las cuencas mencionadas, tomando en cuenta que ese valor representa el caudal justo en el punto de intersección entre la cuenca y el río. Sin

embargo, como el mismo pie de la tabla lo confirma, estos caudales no tienen un punto de referencia con coordenadas; por lo que aquí es donde se utilizó el mapa de las cuencas que se pueden observar en la Figura 5, el cual entrega un esquema que servirá como guía de donde está ubicada cada cuenca con respecto al Río Monjas.

A pesar de ello, en el mapa de la Figura 5, se pudieron reconocer algunas, pero no todas las cuencas de la tabla, entre ellas están: Q. Carretas, San José, Sta. Teresa, Pacorrumi, Quijarhuaycu, Las Lojanas y Santa Ana.

Tomando esto en cuenta, se tuvo que delimitar esta red hídrica para procesarla en QGIS; se llevó a cabo un procesamiento del Modelo Digital de Elevación (MDE) que fue otorgado por Instituto Geográfico Militar del Ecuador (IGM). Las cuencas reconocidas después de analizar la Figura 5, fueron identificadas y trazadas en QGIS, donde se verificó que estos segmentos intersecaran la capa del Río Monjas previamente dibujada (longitud total 21.397 km); esto con el fin de conocer en qué kilómetro de la longitud total del río se encontraban los puntos de intersección y así asociarlos al valor de caudal de la tabla que aparece en la Figura 5.

Con esta información, se creó una gráfica de dispersión de líneas suavizadas en una hoja de Excel, llamada Posición del Punto (km) - Caudal (m^3/s); que posteriormente serviría para generar una línea de tendencia con base en la gráfica y finalmente obtener la ecuación que representa esta línea. La ecuación de la gráfica fue utilizada para relacionar cada punto descrito en el apartado 4.2.6, donde se hace mención que cada talud tendrá tres distancias en tres dimensiones calculadas desde el río hacia la longitud de la base, por lo que, por cada talud existirán tres puntos de intersección en el río. Estos puntos serán la variable independiente “x”, representada por el kilómetro de la longitud del río en donde se encontrarán los mismos, y la

variable dependiente “y” será justamente lo que se quiere hallar, el caudal relacionado a estos puntos.

Como ya se lo realizó con la anterior variable, al tener tres datos asociados a un mismo talud, se procedió con el promedio de estos valores para determinar el valor final de caudal en m^3/s relacionado con cada talud.

4.2.8. Área de Protección Ecológica Dentro del Predio

Para esta variable se recurrió a la fuente oficial del Municipio del Distrito Metropolitano de Quito (MDMQ, 2024). Mediante la plataforma GeoQuito, se descargó la capa vectorial de “Predios” en formato shapefile (.shp); esta base de datos catastral ofreció la representación precisa de los predios tanto públicos como privados.

El objetivo de esta variable es cuantificar el valor de área que es inutilizable o que no se debería utilizar por la inestabilidad de los taludes. La manera de hacer esta representación fue crear una capa de polígonos en QGIS para delimitar el área no utilizable, siendo esta la extensión entre la capa que representa la longitud del talud y la capa del Río Monjas. Sin embargo, este no es el valor final que desea conocer, lo que se quiere saber es cuánto del área está dentro de un predio oficial; así que, para determinar la exposición específica de la propiedad privada, se ejecutó un geoprocesamiento de intersección entre la capa de "área no utilizable" y la capa de predios oficiales.

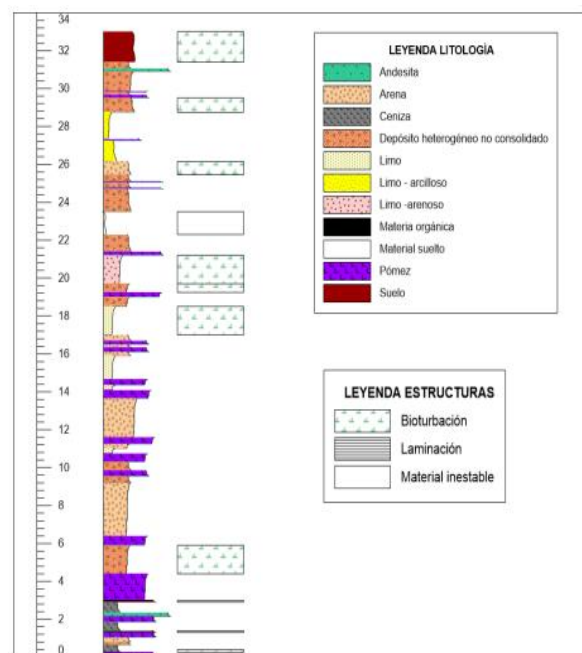
Este enfoque metodológico se justifica ante la problemática identificada en la cuenca, donde diagnósticos previos (Rivera, 2016) han detectado numerosos predios ubicados dentro de las franjas de protección de quebradas.

4.2.9. Litología

Debido a la longitud del tramo de análisis (7.144 km) y a la imposibilidad técnica de llevar a cabo estudios detallados en la totalidad de los 71 taludes identificados, se implementó inicialmente una metodología de inferencia litológica sustentada en estudios de referencia. Se eligió como perfil estratigráfico representativo para la zona la columna descrita por Ortega y Quishpe (2025) en su estudio geotécnico realizado en el barrio La Pampa (parte central del tramo), como se observa en la Figura 6. Concretamente el estudio se realizó en el talud situado en las coordenadas (783998.71 E, 9996547.08 N), que se ubica precisamente en el punto medio entre los puntos n.º 52 y n.º 53 del análisis.

Figura 6

Columna estratigráfica del talud que se encuentra entre los puntos n.º 52 y n.º 53 del análisis



Nota. Tomado de *Breve estudio geotécnico del talud en el barrio La Pampa, Pomasqui* (p. 28), por D. Ortega y J. Quishpe, 2025, Pontificia Universidad Católica del Ecuador.

Sin embargo, revisando dicho estudio de base (Ortega & Quishpe, 2025), se encontró una inconsistencia técnica importante: aunque en la descripción textual de sus conclusiones lo definen como "limos arenosos y limos arcillosos", los datos granulométricos mostrados en su Tabla 1 (Resumen de análisis granulométrico) clasifican a todos los estratos estudiados como arenas bien graduadas y arenas mal graduadas con finos "SW, SP-SM" (19 de 21 estratos fueron clasificados como SP-SM "arena mal graduada con limo" y 2 de 21 estratos como SW "arena bien graduada") según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS).

Para caracterizar el tramo se asumió homogeneidad geológica en los depósitos cuaternarios de la cuenca, lo cual es respaldado por estudios a escala regional (p. ej., Altamirano Tigrero, 2022; Aguirre Paladines, 2023) que señalan la continuidad de potentes secuencias volcánicas (formaciones Chiche, Cangahua y San Miguel). Aguirre Paladines (2023) los describe como capas sucesivas de lutitas, limolitas y areniscas de diferentes colores (p. ej., "café claro" y "tonalidades grises"), que revelan materiales poco consolidados y fáciles de erosionar.

No obstante, si bien la metodología inicial establecida en la Tabla 1 de esta investigación contemplaba la determinación de la litología exclusivamente mediante fuentes secundarias, la extensión del tramo y las discrepancias detectadas en la bibliografía del estudio de la zona, exigieron un nivel de rigor superior para evitar generalizaciones imprecisas. Por lo tanto, se optó por añadir a la revisión bibliográfica una campaña de exploración geotécnica directa "in situ" con el fin de corroborar la litología predominante.

El acceso directo a todos los taludes se volvió impracticable debido a la elevada densidad urbana del área y al uso de suelo residencial (conjuntos privados y viviendas). A pesar de estas restricciones, se pudo llevar a cabo la inspección y extracción de estratos en 13 taludes ubicados a lo largo del cauce. Estos fueron los puntos n.º 8, 9, 10, 15, 22, 31, 37, 41, 42, 44-45, 57, 59 y

61. El punto n.º 44-45 hace referencia a que la extracción del estrato se lo realizó en una zona entre los dos taludes.

La toma de muestras se priorizó en la cresta del talud; sin embargo, en los puntos donde las restricciones por propiedad privada o seguridad impedían el acceso superior, se procedió a la recolección de estratos en la base o a media altura, justificando esta variabilidad por la disponibilidad de acceso al terreno. Para garantizar la precisión de este levantamiento, se empleó la aplicación “Mobile Topographer” (Applicativity, 2023) para la obtención de coordenadas de precisión y la herramienta “Mergin Maps” (Mergin Maps, s.f.) para la georreferenciación y validación en tiempo real sobre el mapa base (el registro fotográfico del proceso de obtención de muestras y su ubicación se presenta en el Anexo C).

Se intentó llevar a cabo una caracterización preliminar "in situ", de acuerdo con las pautas establecidas en la norma ASTM D2488-09a (Descripción e identificación de suelos - Procedimiento Visual-Manual). Se realizaron ensayos manuales de dilatación, tenacidad y resistencia en estado seco para establecer si la fracción fina era limo o arcilla, suponiendo que se encontrarían suelos granulares con una proporción de finos.

Sin embargo, esta metodología tuvo limitaciones significativas en el campo: se observó que las partículas gruesas y finas estaban muy unidas entre sí, lo que dificultó la separación manual del material para su análisis individual. En particular, la prueba de tenacidad no arrojó resultados definitivos porque los filamentos característicos de la plasticidad no se pudieron crear, lo cual evidencia que el material es quebradizo. Debido a la falta de certeza de una clasificación manual-visual, se optó por seguir con un periodo experimental riguroso.

Las muestras recolectadas fueron analizadas en laboratorio con rigurosos estándares globales para determinar sus propiedades físicas cuantitativas. Como punto de partida, para la determinación del contenido de humedad natural, se aplicó la norma ASTM D2216-19 (Determinación de laboratorio del contenido de humedad), cuyos resultados detallados para cada muestra se presentan en el Anexo D (Tabla D1).

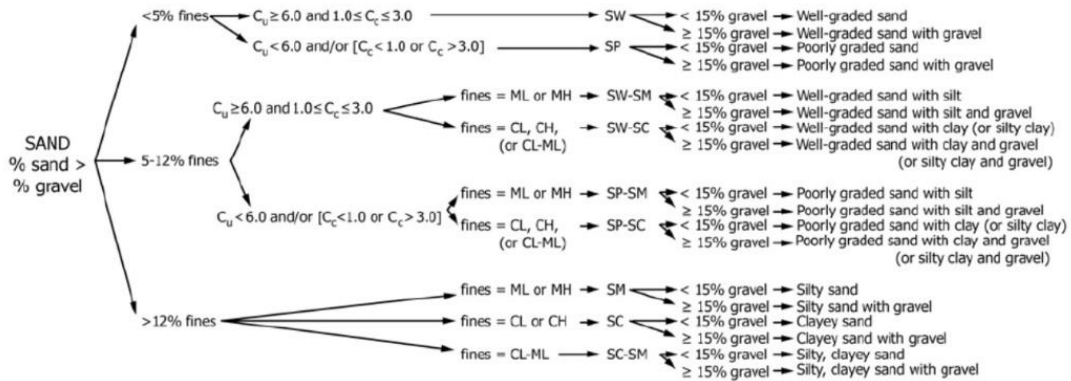
La norma ASTM D6913/D6913M-17 (Distribución de tamaño de partículas por análisis de tamizado) fue la utilizada para llevar a cabo el estudio granulométrico, que es esencial para la categorización del suelo; los cuadros de granulometría generados están registrados en el Anexo C. Como el análisis visual indicaba que había material fino adherido a las partículas granulares, se usó el procedimiento de tamizado por lavado que se describe en la norma ASTM D1140-17 (Determinación de materiales más finos que el tamiz No. 200 mediante lavado) para asegurar una cuantificación exacta de la fracción fina (arcillas y limos) (verificar Anexo E – Figura E1).

El Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) fue el método que se empleó para determinar la clasificación final de los suelos. Esto se realizó de acuerdo con la práctica estándar ASTM D2487-17, que es la "Clasificación de suelos para propósitos de ingeniería - Sistema SUCS". La norma define un flujograma para tomar decisiones (Figura 7) y la aplicación de la carta de plasticidad (Figura 8) para clasificar el material en función de su granulometría y sus Límites de Atterberg.

Figura 7

Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) según la norma ASTM D2487-17:

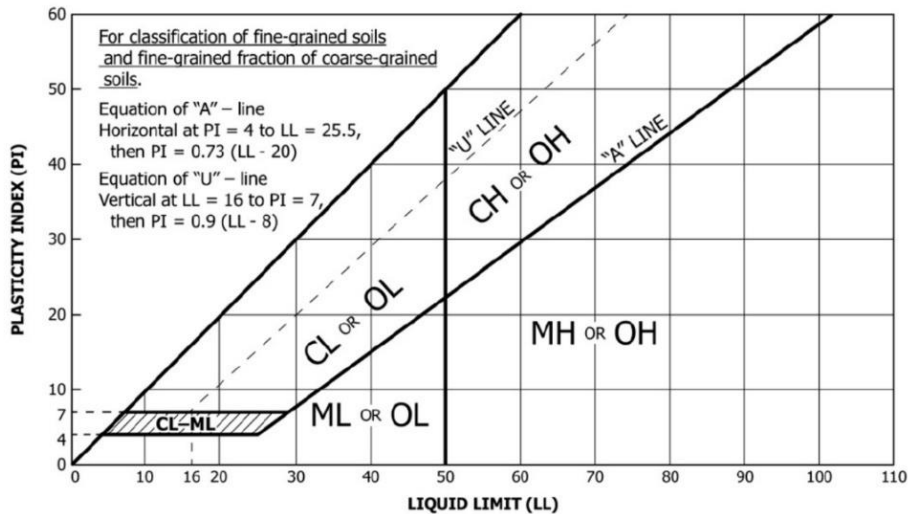
Flujograma de procedimiento para la identificación de suelos con mayor porcentaje de arena



Nota. Adaptado de la norma ASTM D2487-17 (ASTM International, 2017).

Figura 8

Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) según la norma ASTM D2487-17: Carta de Plasticidad para la clasificación de suelos de grano fino



Nota. Adaptado de la norma ASTM D2487-17 (ASTM International, 2017).

Al analizar los resultados granulométricos iniciales (Tabla 3 y Anexo C), se observó que el porcentaje de material pasante del tamiz N.º 200 en las muestras requería, según la norma ASTM D2487-17, la ejecución de ensayos de Límites de Atterberg para diferenciar entre limos y arcillas. Para ello, se procedió según la norma ASTM D4318-17e1 (Determinación del Límite Líquido, Límite Plástico e Índice de Plasticidad).

Durante la ejecución experimental, se intentó determinar los límites de consistencia en las 13 muestras. Para el Límite Líquido, se aplicó el Método A (Multipunto); no obstante, se identificó un comportamiento singular en el material que impedía la validación del ensayo (observar Anexo E – Figura E2). Conforme a lo estipulado en el apartado 12.5 de la norma ASTM D4318-17, tras múltiples intentos incrementando el contenido de agua, la pasta de suelo tendía a deslizarse en la copa en lugar de fluir plásticamente, o requería un número de golpes consistentemente menor a 25 para cerrar la ranura, lo cual, según la normativa, indica que el Límite Líquido no puede ser determinado.

Simultáneamente, la determinación del Límite Plástico presentó dificultades críticas relacionadas con la cohesión del material (observar Anexo E – Figura E3). El apartado 17.2.1 de la misma norma establece que el proceso de conformación del filamento hasta alcanzar los 3.2 mm de diámetro no debe exceder los 2 minutos. Sin embargo, en la práctica, la carencia de cohesión y el comportamiento friable del suelo obligaban a reiniciar el amasado repetidamente, extendiendo el tiempo de ejecución entre 30 y 60 minutos para obtener apenas las dos cápsulas de control (6 gramos cada una). Ante la imposibilidad de cumplir los criterios de tiempo y comportamiento mecánico exigidos por la norma, y dada la incertidumbre técnica resultante, se solicitó la validación de expertos del Laboratorio de Materiales de Construcción de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador (PUCE) (observar Anexo E – Figura E4).

Para dicha validación, se seleccionaron estratégicamente las muestras de los puntos n.º 10, 37 y 61. El criterio de selección se basó en que estos puntos presentaban los mayores contenidos de material fino pasante del tamiz No. 200 (aunque ninguno superaba el 50%) y, por ende, representaban la mayor probabilidad teórica de exhibir plasticidad. Los reportes oficiales emitidos por el laboratorio de la PUCE (adjuntos en el Anexo F) ratificaron el criterio experimental de los autores: incluso en estas muestras críticas, el resultado fue NP (No Plástico).

Esta conclusión se ampara en el apartado 19.2 de la norma ASTM D4318-17, el cual establece que la designación NP se aplica cuando es imposible determinar el límite líquido o el límite plástico debido a que el suelo no puede ser enrollado o la masa no fluye plásticamente. Este dictamen técnico es congruente con el comportamiento observado durante la fase de campo (ensayo visual-manual) y los intentos fallidos de ejecución de límites en la totalidad de las muestras, corroborando la naturaleza mecánica granular y friable de los suelos volcánicos del sector.

Bajo este criterio técnico unificado, se generalizó el comportamiento No Plástico (NP) para la totalidad de los puntos muestreados. La normativa sugiere intentar los ensayos de límites independientemente del porcentaje de finos, procedimiento que fue realizado exhaustivamente por los autores sin éxito. Adicionalmente, la confirmación del laboratorio en las muestras con mayor contenido de finos permite inferir que el resto de las muestras con menor porcentaje de finos también arrojarían un reporte mencionando que las muestras carecen de plasticidad; algo que ya fue comprobado por los autores previamente y que justifica el hecho de que no fue necesario obtener un reporte oficial del laboratorio para estas muestras restantes. Por consiguiente, se asume una ubicación en la zona inferior de la Carta de Plasticidad (teóricamente en el origen o bajo la línea A).

Se estableció el modelo litológico para los 71 puntos de análisis del talud como sigue, fundamentándose en esta resolución y siguiendo el flujograma de clasificación de la norma ASTM D2487-17:

- Muestras SM (Predominante): De las trece muestras analizadas de manera física, se categorizaron a doce como SM (Arena limosa), dado que estas arenas tenían más del 12 % de finos no plásticos. Dado que estos puntos se encuentran distribuidos a lo largo de todo el tramo de estudio, se considera que el estrato SM es el más representativo de la zona. Por lo tanto, se optó por generalizar este tipo de suelo para el resto de los puntos no muestreados. Esta decisión prioriza la data primaria obtenida “in situ” sobre la bibliografía, al contar con una mayor densidad y distribución espacial de ensayos propios validados.
- Excepción del Punto 41: esta muestra fue la única excepción experimental propia, que se catalogó como SW-SM (Arena bien graduada con limo). Sus coeficientes de uniformidad (C_u) y curvatura (C_c) cumplieron los requisitos de buena gradación (coef. curvatura entre 1 y 3 y coef. uniformidad mayor a 6). Los coeficientes y la curva granulométrica (dado que para este punto si fue necesaria) están especificados en el Anexo C.
- Asignación Bibliográfica (Puntos n.º 52 y 53): para estos puntos específicos, ubicados en la zona de influencia directa del estudio de referencia de Ortega y Quishpe (2025), se adoptó la clasificación SP-SM (Arena mal graduada con limo). Esta decisión se fundamenta en que 19 de los 21 estratos analizados en dicha investigación obtuvieron esta clasificación, y la ubicación espacial de los

puntos n.º 52 y n.º 53 coincide con el talud caracterizado en dicha fuente secundaria.

Finalmente, como evidencia de la rigurosidad del proceso y la supervisión técnica, el Anexo E presenta el registro fotográfico de la ejecución de los ensayos por parte del equipo de investigación y la validación conjunta con el personal técnico del laboratorio; de la misma manera en la Tabla 3 se expone un resumen de los resultados encontrados tras los ensayos.

Tabla 3

Resumen de los resultados de las 13 muestras en laboratorio

Punto	Contenido de Agua - Humedad (%)	% Tipo de Suelo			Límites			SUCS
		Grava	Arena	Finos	LL	LP	IP	
P 8	3.26	15.26%	61.25%	23.49%	NP	NP	NP	SM
P 9	3.60	2.53%	52.36%	45.12%	NP	NP	NP	SM
P10	4.49	8.45%	48.75%	42.80%	NP	NP	NP	SM
P15	6.35	9.53%	49.50%	40.98%	NP	NP	NP	SM
P22	3.70	6.91%	70.47%	22.63%	NP	NP	NP	SM
P31	6.50	3.54%	74.37%	22.09%	NP	NP	NP	SM
P37	3.22	1.10%	49.14%	49.76%	NP	NP	NP	SM
P41	3.06	6.66%	83.32%	10.01%	NP	NP	NP	SW-SM
P42	5.38	7.70%	50.77%	41.54%	NP	NP	NP	SM
P44-45	4.31	9.52%	49.00%	41.48%	NP	NP	NP	SM
P57	0.92	20.36%	58.97%	20.67%	NP	NP	NP	SM
P59	1.48	3.73%	68.34%	27.92%	NP	NP	NP	SM
P61	5.09	0.91%	63.88%	35.21%	NP	NP	NP	SM

Nota. Elaboración propia.

4.3. Obtención y Procesamiento de Datos en QGIS

En este subcapítulo se describe el proceso por el cual se obtuvieron los resultados de cada variable en QGIS, tomando la metodología y consideraciones previamente explicadas en el

apartado 4.2. Al final de la explicación del desarrollo de cada variable, se expondrán Figuras representativas de los valores críticos de las mismas.

4.3.1. Longitud del Talud

Para encontrar el valor del segmento que representa la variable “Longitud del talud”, se utilizó la expresión “\$length” en la calculadora de campos de QGIS. El valor máximo encontrado fue igual a 462.44 metros, correspondiente al punto/talud n° 63 del análisis, como se observa en la Figura 9.

Figura 9

Longitud del talud más crítica del tramo de análisis. Punto n.º 63



	N de Talud	Longitud (m)	NOMBRE
1	63	462.4398183121...	ESCARPE 63

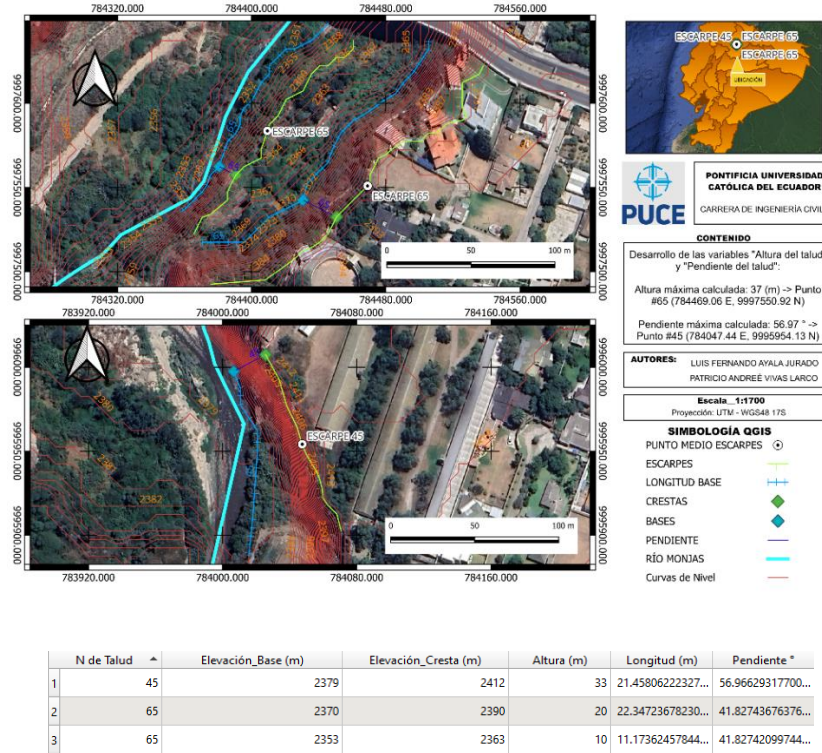
Nota. Capturas de pantalla elaboradas a partir de Google Earth Pro (Google, 2024), y con procesamiento y digitalización en QGIS (QGIS Development Team, 2025). Edición propia.

4.3.2. Pendiente y Altura del Talud

El primer paso para determinar estas dos variables fue encontrar la elevación de los puntos registrados como “Bases” y “Crestas”, verificando el valor de la cota de la curva de nivel más cercana a cada punto de análisis; esta metodología se repetirá en el procesamiento de las demás variables cuando se haga referencia a encontrar la elevación de algún punto. Como se explicó en capítulos previos, la altura será calculada mediante la diferencia de cotas entre cresta-base; y en el caso de los sistemas de taludes, la altura total será igual a la diferencia entre el punto de cresta que pertenezca a la longitud de talud más elevada y el punto de base de la longitud de base menos elevada. Justamente la máxima altura de talud encontrada en el análisis, 37 metros, pertenece a un sistema de taludes, específicamente al punto n.º 65. Con respecto al cálculo de la pendiente de los sistemas de taludes, el procedimiento seguido fue realizar un promedio entre los valores de pendientes encontradas en el sistema. La pendiente máxima encontrada en el proceso fue igual a 56.97° , correspondiente al punto n.º 45, como se muestra en la Figura 10.

Figura 10

Altura y pendiente más críticas del tramo de análisis. Punto n.º 65 y n.º 45



Nota. Procesamiento y digitalización en QGIS (QGIS Development Team, 2025). Edición propia.

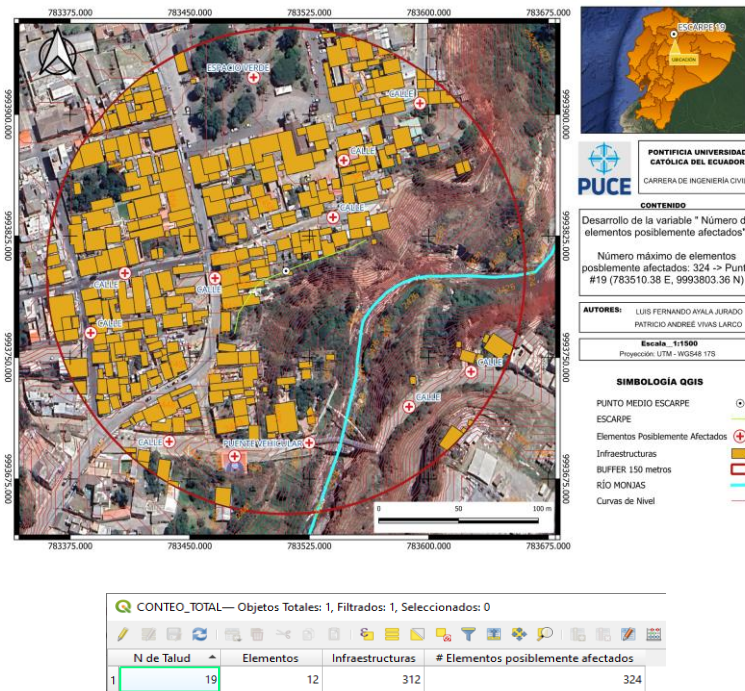
4.3.3. Número de Elementos Posiblemente Afectados

El primer paso fue utilizar la caja de herramientas de QGIS, específicamente el apartado llamado “Geometría por expresión”, el cual ayudó a crear un punto en exactamente la mitad de la longitud del talud, utilizando la expresión “line_interpolate_point(\$geometry, length(\$geometry)/2)”, este punto sería el origen para crear la capa de buffer de 150 metros. Para el cálculo de esta variable se realizaron dos intersecciones: la primera entre la capa de las infraestructuras y el buffer de 150 metros y la segunda entre la capa de “Elementos posiblemente

afectados” y el buffer nuevamente. Como último paso se realizó un conteo total, como se aprecia en la Figura 11, proporcionando como resultado crítico un número de elementos posiblemente afectados igual a 324, correspondiente al punto/talud n.º 19. En el caso de los sistemas de taludes, se realizó un buffer de 150 metros desde el punto medio de cada longitud de talud que estaba dentro del sistema, para finalmente realizar un promedio del conteo total de elementos posiblemente afectados de cada buffer perteneciente al sistema de taludes.

Figura 11

Valor crítico de la variable "Número de elementos posiblemente afectados". Punto n.º 19



Nota. Procesamiento y digitalización en QGIS (QGIS Development Team, 2025). Edición propia.

Por otra parte, ciertos segmentos de longitud del talud presentan valores que exceden el diámetro de esta zona de análisis (> 300 metros), sin embargo, se decidió mantener el buffer de

150 metros de radio. Esta elección metodológica está basada en un enfoque geotécnico: la inestabilidad del talud no proviene de un colapso uniforme y simultáneo a lo largo de la superficie de deslizamiento, sino de un mecanismo de falla progresiva. De acuerdo con lo mencionado por Suárez Díaz (1998), este fenómeno se origina porque la resistencia movilizada a lo largo de la superficie de falla no es uniforme, y ocurre debido a la fisuración, desmoronamiento e inclinación del talud.

Este criterio de definición se respalda al compararlo con diagnósticos detallados de la cuenca. Según Rivera (2016), el "Área de Influencia Directa" que presenta el riesgo más alto por deslizamientos y erosión regresiva corresponde a las zonas de protección localizadas entre 50 y 100 metros desde la parte superior del talud. Por lo tanto, el rango de 150 metros escogido no sólo incluye, sino que también sobrepasa esta área de exposición crítica que ha sido identificada en estudios locales, asegurando que se analice la zona de mayor conexión con desarrollos y viviendas, aun cuando los extremos más lejanos de algunos taludes estén fuera del área de estudio.

4.3.4. Distancia del Elemento Posiblemente Afectado a la Cresta del Talud

Para esta variable, de nuevo se empezó determinando las elevaciones de los puntos de análisis: cresta y elemento posiblemente afectado. Posteriormente, se utilizó la calculadora de campos para determinar el valor de la distancia " d ", expresión encontrada en los subcapítulos anteriores, que representa la distancia tridimensional entre los puntos cresta-elemento. Como ya se explicó previamente, uno de los problemas más alarmantes que se pueden percibir en la zona, es que las urbanizaciones y viviendas están extremadamente cercanas al borde del talud; esto se comprobó mediante esta variable, dado que, como se verifica en la Figura 12, se encontró que 28 taludes tienen una distancia cresta-elemento igual a 0. Con respecto a los sistemas de taludes, se

determinó el elemento posiblemente afectado más cercano a cualquiera de las longitudes de talud que conforman el sistema.

Figura 12

Puntos que poseen una distancia igual a cero entre el elemento posiblemente afectado y la cresta del talud

N de Talud	Elevación_cresta (m)	Elevación_elemento (m)	Altura (m)	Dist_2D (m)	Dist_3D (m)
1	3	2482	2482	0	0
2	8	2480	2480	0	0
3	9	2480	2480	0	0
4	10	2481	2481	0	0
5	11	2470	2470	0	0
6	12	2461	2461	0	0
7	14	2456	2456	0	0
8	15	2446	2446	0	0
9	18	2464	2464	0	0
10	19	2453	2453	0	0
11	20	2449	2449	0	0
12	21	2458	2458	0	0
13	24	2455	2455	0	0
14	26	2432	2432	0	0
15	27	2439	2439	0	0
16	28	2434	2434	0	0
17	30	2429	2429	0	0
18	35	2424	2424	0	0
19	36	2418	2418	0	0
20	37	2421	2421	0	0
21	44	2415	2415	0	0
22	49	2408	2408	0	0
23	51	2406	2406	0	0
24	53	2404	2404	0	0
25	55	2393	2393	0	0
26	60	2390	2390	0	0
27	65	2390	2390	0	0
28	71	2389	2389	0	0

Nota. Procesamiento en QGIS (QGIS Development Team, 2025). Edición propia.

4.3.5. Carga de la Infraestructura en la Cresta del Talud

Para poder determinar la carga por cada talud es necesario saber que se utilizó la herramienta de QGIS 3.44.1 en su mayoría, dado que era inviable realizar un levantamiento de toda la zona talud por talud. Realizar un levantamiento estructural de cada edificación resulta una tarea de gran dificultad, por lo cual se realizó el siguiente proceso:

4.3.5.1. Determinación del Tamaño de la Muestra. Para establecer esta variable, fue fundamental extenderse más allá de la zona de estudio y realizar un análisis completo a lo largo de todo el recorrido del Río Monjas (21.397 km). Al combinar la información de estudios adicionales y llevar a cabo un procesamiento geoespacial en QGIS, se detectaron 9392 viviendas. Este registro consideró y seleccionó de manera estricta aquellos edificios situados sobre la línea de escarpe de la cresta, dejando fuera las estructuras que se ubicaban fuera del área de influencia directa.

Para poder categorizar estas casas se aplicó un Muestreo Aleatorio Simple (M.A.S.) para poblaciones finitas, utilizando la Ecuación 11. Donde los parámetros fueron seleccionados bajo un análisis realista.

- $Z = 1.96$ para un 95% de confianza, se utilizó el valor común para este tipo de investigaciones de ingeniería, esto significa que un 95% de los resultados obtenidos sean fidedignos.
- $p = 0.5$ y $q = 0.5$, al carecer de estudios previos que indiquen cual es la proporción exacta entre casas de 1, 2 y 3 o más pisos, se optó por tomar los valores de máxima varianza, esto significa que se maximizó el tamaño de la muestra,

asegurando que el estudio evalúe más escenarios, evitando que los datos den una gran cantidad de error.

- $E= 0.05$, se optó por usar un margen de error del 5%, esto considerando que este margen de error es aceptable para la estimación de los porcentajes de casas.

Al sustituir los valores se tiene:

$$n = \frac{9392 \times 1.96^2 \times 0.5 \times 0.5}{0.05^2 \times (9392 - 1) + 1.96^2 \times 0.5 \times 0.5} = 369.10$$

Por lo tanto, se deben evaluar 369 viviendas, pero hay que tomar en cuenta que, como se mencionó en capítulos anteriores, el Río Monjas en su totalidad se dividió en 3 tramos, al analizar el tramo intermedio, finalmente se evaluarán 123 (369/3) infraestructuras.

4.3.5.2. Clasificación de Edificaciones y Recolección de Datos. Utilizando la herramienta de "Selección Aleatoria" de QGIS, se identificaron las viviendas de la muestra. Posteriormente, mediante inspección visual en plataformas satelitales (Google Earth y Street View), se determinó el número de pisos de cada elemento.

El análisis arrojó la siguiente distribución porcentual de tipologías en la zona:

- 1 piso: 3 viviendas (2%)
- 2 pisos: 79 viviendas (64%)
- 3 o más Pisos: 41 viviendas (33%)

Estos porcentajes (P1, P2, P3) evidencian una predominancia de construcciones de dos plantas, dato clave para la ponderación de la carga global.

4.3.5.3. Análisis de Cargas Unitarias y Factor de Seguridad (NEC-15). Para transformar la geometría de las viviendas en una carga distribuida (Ton/m^2), se procedió conforme a la Norma Ecuatoriana de la Construcción referente a Cargas No Sísmicas (NEC-SE-CG, 2015).

Se partió del análisis de pesos volumétricos detallado en la sección 4.2.5, donde se determinó una Carga Muerta (D) de $0.76 \text{ Ton}/m^2$ (peso propio de losas, vigas y columnas). Adicionalmente, la NEC-SE-CG establece para uso residencial una Carga Viva (L) de $2.0 \text{ kN}/m^2$ ($0.20 \text{ Ton}/m^2$) (apartado 4.2.1). Se pueden ver los detalles del cálculo en el Anexo B (Figura B1).

Con el fin de trabajar con la condición más crítica de servicio, se evaluaron las combinaciones de carga estipuladas en la norma NEC-SE-CG (Sección 3.4.3.):

$$\text{Combinación 1: } 1.4 D = 1.4 (0.76) = 1.06 \text{ Ton}/m^2$$

$$\text{Combinación 2: } 1.2 D + 1.6 L = 1.2 (0.76) + 1.6 (0.20) = 1.23 \text{ Ton}/m^2$$

Se seleccionó la Combinación 2 ($1.23 \text{ Ton}/m^2$) por tener el mayor valor. De este análisis se desprende el factor de carga último (f) implícito en el diseño, asegurando que el modelo de riesgo contemple las edificaciones en su estado de carga máxima probable.

4.3.5.4. Modelo matemático para la Carga Total por Talud. Finalmente, para asignar el valor de la variable "Carga" a cada unidad de análisis (talud), se integraron el área de implantación y los factores ponderados mediante la Ecuación 21.

$$Carga_{total} = A_{cresta} \times [(P_1 \times 1) + (P_2 \times 2) + (P_3 \times 3)] \times (f) \quad (21)$$

Donde:

- A_{cresta} = Área total de las viviendas ubicadas exclusivamente sobre la cresta del talud (m^2), obtenida mediante geoprocesamiento.
- P1, P2, P3 = Porcentajes de incidencia por número de pisos (0.02, 0.64, 0.33).
- 1, 2, 3 = Número de pisos (niveles).
- f = Carga de diseño factorizada por piso (1.23 Ton/ m^2).

Esta metodología permite que, al ingresar el área de construcción de cualquier talud, se obtenga automáticamente una carga en toneladas que considera tanto la probabilidad estadística de la altura de las casas como las combinaciones de carga exigidas por la normativa ecuatoriana.

Una vez se ha determinado la carga por metro cuadrado, junto con los buffers de 150 metros de radio, se lleva a cabo el siguiente procedimiento.

4.3.5.5. Procedimiento en QGIS para Determinación de la Carga.

4.3.5.5.1. Delimitación de áreas de aporte (Márgenes Izquierda y Derecha). Al necesitar solamente las infraestructuras que se encuentran por encima de la cresta de cada talud, esto debido a que las casas que se encuentran en la base del talud no aportan la misma carga al talud, se realizaron polígonos en QGIS que siguen la línea de la longitud del talud y rodean todos los buffers, esto se realizó tanto en la parte derecha como en la parte izquierda de la capa del Río Monjas.

4.3.5.5.2. Intersección Espacial y Corrección Topológica. Con las zonas delimitadas, se procedió a realizar una intersección entre la capa de infraestructuras importada de Google Open Buildings (Google Research, 2023) y los polígonos de delimitación de cresta. Este paso generó

nuevos polígonos correspondientes solo a la fracción de la vivienda que se asienta sobre la cresta de cada talud, tanto para los taludes de la izquierda como para los taludes de la derecha.

Finalmente, se realizó una última intersección entre estas capas finales y los buffers correspondientes a cada talud, seleccionando de manera cuidadosa aquellos que pertenecían al lado izquierdo y al lado derecho, con el fin de garantizar la coherencia espacial entre las capas de cada sector. Este procedimiento tuvo como objetivo identificar con precisión el número real de infraestructuras ubicadas dentro del buffer y, simultáneamente, sobre la longitud del talud respectivo.

4.3.5.5.3. Cálculo de Áreas y Validación. Mediante la calculadora de campos de QGIS, se recalculó el área de los polígonos (\$area), esto debido a que se podían tener polígonos cortados. Gracias a este paso, se obtuvo el valor real de área por metro cuadrado (m^2) de las infraestructuras dentro de los buffers.

Una vez obtenida esta información, se utilizó la herramienta “Estadística por categorías” en QGIS, con el propósito de verificar el número de infraestructuras que estaban encima de la cresta de cada talud (el cual debía ser igual o menor al número de elementos posiblemente afectados). Finalmente, se realizó la sumatoria de áreas de los polígonos correspondientes, para obtener el área total de infraestructuras que estaba dentro de cada buffer y a la vez encima de la longitud del talud.

4.3.5.5.4. Tratamiento para Sistemas de Taludes. En los puntos donde se identificaron “Sistemas de Taludes” el proceso es el mismo, el único cambio se realiza al final, donde se hace un promedio de las áreas de las infraestructuras que se encuentran por encima de la longitud del talud superior con las que se encuentran por encima de la longitud del talud inferior.

Por ejemplo, uno de los taludes que tienen “Sistema” es el talud n.º 13, en este caso el área de las casas por encima de la cresta superior fue de 769.85 m^2 y el área de las casas por encima de la cresta inferior fue de 303.6 m^2 , por lo tanto, después de realizar el promedio el área de las casas para este talud en conjunto fue de 536.72 m^2 .

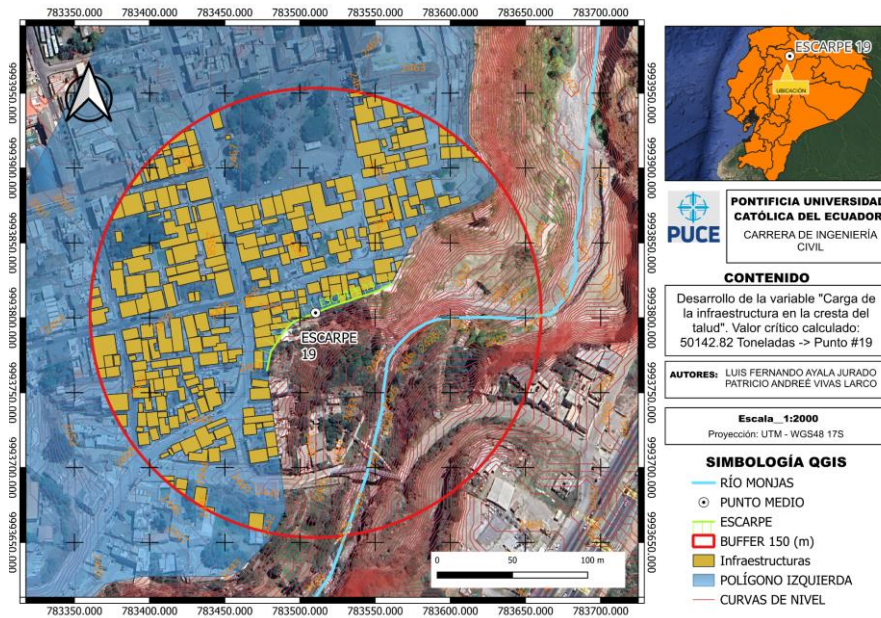
4.3.5.5.5. Resultados de la Variable. Finalmente se aplicó la Ecuación 21 (carga total) en hojas de cálculo de Excel, para obtener la carga de las infraestructuras encima de la cresta de cada talud.

De este análisis se determinó que el talud n.º 19 fue el que presentaba más área dentro del buffer con 17592.004 m^2 y un valor de carga encima de la cresta del talud igual a 50142.82 Toneladas, como se observa la Figura 13.

Figura 13

Punto crítico con respecto a la variable "Carga de la infraestructura en la cresta del talud".

Punto n.º 19



N de Talud	NÚMERO DE CASAS	ÁREA CASAS (m2)	CARGA (Ton)
Pt. 19	282	17592.004	50142.81526

Nota. Procesamiento y digitalización en QGIS (QGIS Development Team, 2025) y Microsoft Excel. Edición propia.

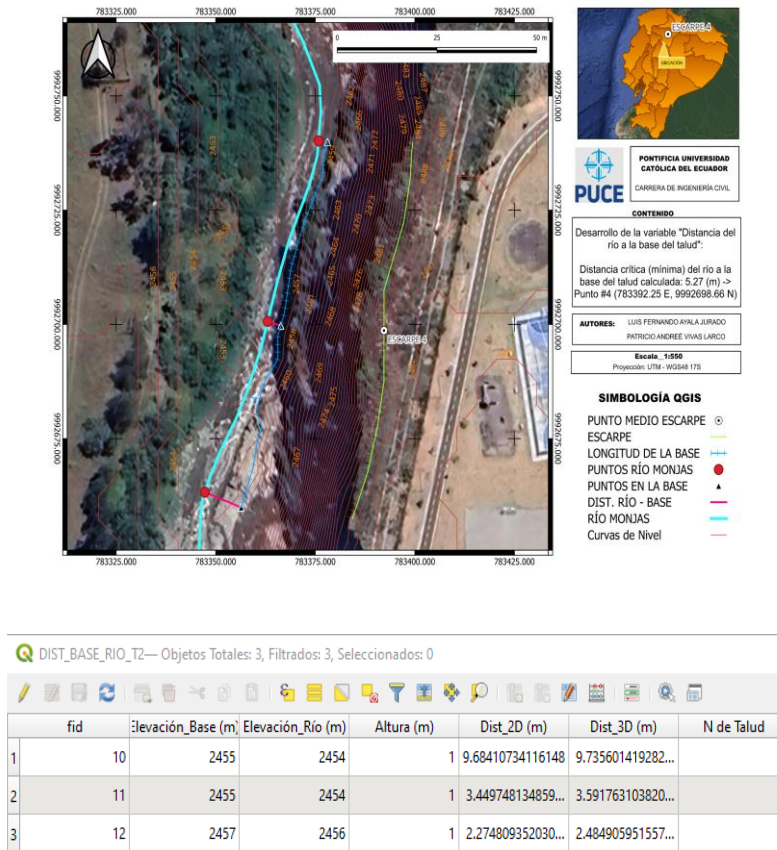
4.3.6. Distancia del Río a la Base del Talud

Se empezó utilizando la herramienta “Geometría por expresión”, la cual ayudó a crear un punto en exactamente la mitad de la longitud de la base, utilizando la expresión “line_interpolate_point(\$geometry, length(\$geometry)/2)”. Como segundo paso, se encontraron las elevaciones de los puntos de las bases y puntos de referencia dentro de la capa del Río Monjas. Consecutivamente, se utilizó la calculadora de campos para determinar el valor de la distancia “d”, expresión encontrada en subcapítulos anteriores, que representa la distancia

tridimensional entre los puntos base-río. Finalmente, se realizó el promedio de las 3 distancias respectivas, dando como valor crítico una distancia del río a la base del talud igual a 5.27 metros, correspondiente al punto/talud n.º 4, como se muestra en la Figura 14. Con respecto al sistema de taludes, este análisis se realizó con la longitud de la base más cercana al río.

Figura 14

Talud crítico con respecto a la variable "Distancia del Río a la base del talud". Punto n.º 4



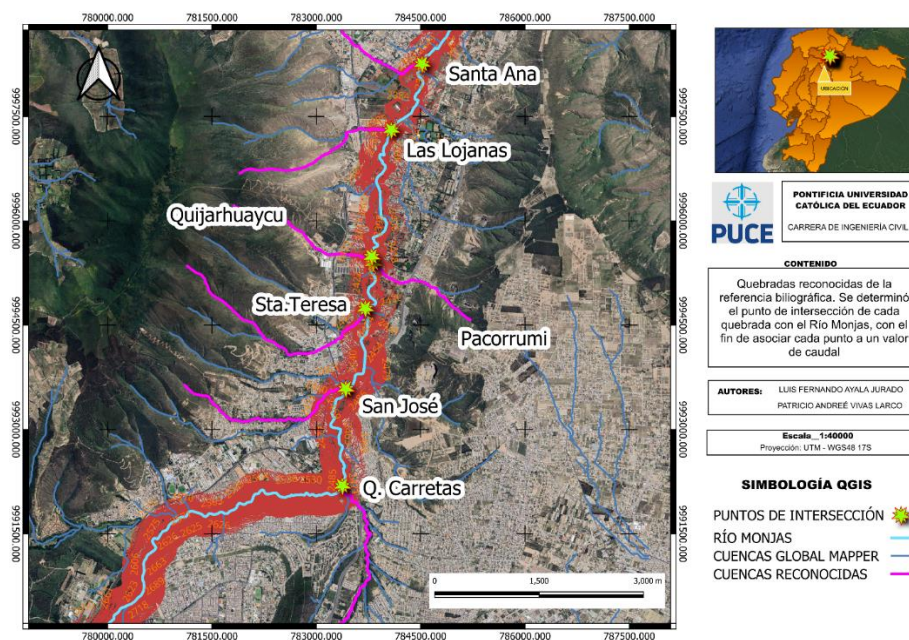
Nota. Procesamiento y digitalización en QGIS (QGIS Development Team, 2025). Edición propia.

4.3.7. Caudal del Río

Como ya fue explicado en el subcapítulo anterior, lo primero que se realizó fue dibujar las cuencas conocidas e intersecarlas con la capa del Río Monjas. En la Figura 15 se representa lo mencionado.

Figura 15

Cuencas que intersecan el Río Monjas



Nota. Procesamiento y digitalización en QGIS (QGIS Development Team, 2025). Edición propia.

Consecutivamente se utilizó la expresión: “line_locate_point(geometry(get_feature('RÍO MONJAS', 'fid', 1)), \$geometry)” en la calculadora de campos, para así determinar el kilómetro en el cual se encontraba posicionado cada punto de intersección, como se muestra en la Figura 16.

Figura 16

Posición de los puntos de intersección entre las cuencas y el Río Monjas

PUNTOS_CAUDAL_CONOCIDOS— Objetos Totales: 7, Filtrados: 7, Seleccionados: 0

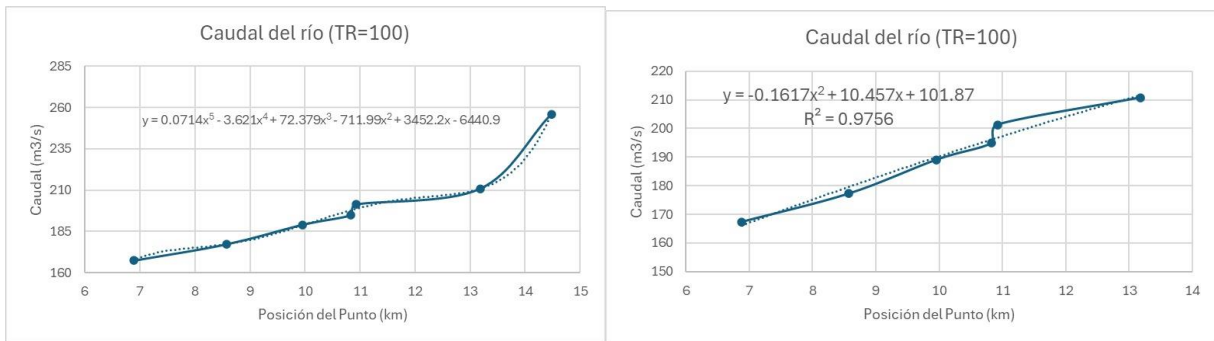
fid	Cuenca	Q (m ³ /s)	Posición_Punto (m)	Posición_Punto (km)
1	Q. Carretas	167.35	6883.4911986130965	6.883491198613097
2	San José	177.23	8575.216150830505	8.575216150830505
3	Sta. Teresa	189.03	9959.58903671462	9.95958903671462
4	Pacorrumi	194.84	10832.630785798752	10.832630785798752
5	Quijarhuaycu	201.27	10924.39889845602	10.92439889845602
6	Las Lojanas	210.7	13180.94742549056	13.18094742549056
7	Santa Ana	255.83	14478.476706970378	14.478476706970378

Nota. Digitalización en QGIS (QGIS Development Team, 2025). Edición propia.

Se trasladaron estos datos a una hoja de Excel para crear la gráfica Posición del Punto (km) - Caudal (m³/s) que se representa en la Figura 17.

Figura 17

Gráficas Posición - Caudal realizadas con los puntos conocidos



Nota. Gráficos elaborados por los autores a partir de los datos obtenidos, utilizando Microsoft Excel.

Sin embargo, se notó que este último punto de la gráfica modificaba significativamente la tendencia de la línea, por lo que, con el fin de obtener datos más conservativos, se decidió eliminar este punto y volver a crear la gráfica (como se observa en el gráfico de la derecha de la Figura 17), obteniendo una gráfica más realista y con una línea de tendencia que tiene una ecuación polinómica de grado 2.

Con la Ecuación 22 obtenida:

$$y = -0.1617x^2 + 10.457x + 101.87 \quad (22)$$

Que tiene un valor de $R^2 = 0.9756$ y por consiguiente se logró obtener los valores de caudal para cada punto de interés del Río Monjas. El llamado “coeficiente de determinación” (R^2), de acuerdo con Montgomery y Runger (2002), se trata de una indicación de cuán bien se ajusta el modelo de regresión, el cual expone la parte de la variación en la variable dependiente explicada en el modelo. En esta investigación, el resultado de 0.9756 sugiere que la ecuación presentada justifica más del 97.56 % de la variabilidad de los datos observados, lo que respalda su aplicación para la estimación hidrológica.

Como se visualiza en la tendencia de la gráfica, mientras va avanzando la posición de los puntos en los kilómetros de río, va aumentando el caudal, lo que es lógico debido a que las cuencas que intersecan al río aportan flujo y por lo tanto el caudal crece. Tomando eso en cuenta, el punto con el valor más crítico de caudal ($218.34 \text{ m}^3/\text{s}$) es justamente el punto/talud n.º 71, el cual es el último punto del análisis y se lo puede verificar en la Tabla 4.

Tabla 4*Máximo valor de caudal en el tramo de análisis. Punto n.º 71*

# Talud	Posición (km)	Q (m ³ /s)	Q_Promedio (m ³ /s)
	14.27310028	218.1820606	
Pt. 71	14.29649457	218.31862	218.3397257
	14.33079065	218.5184964	

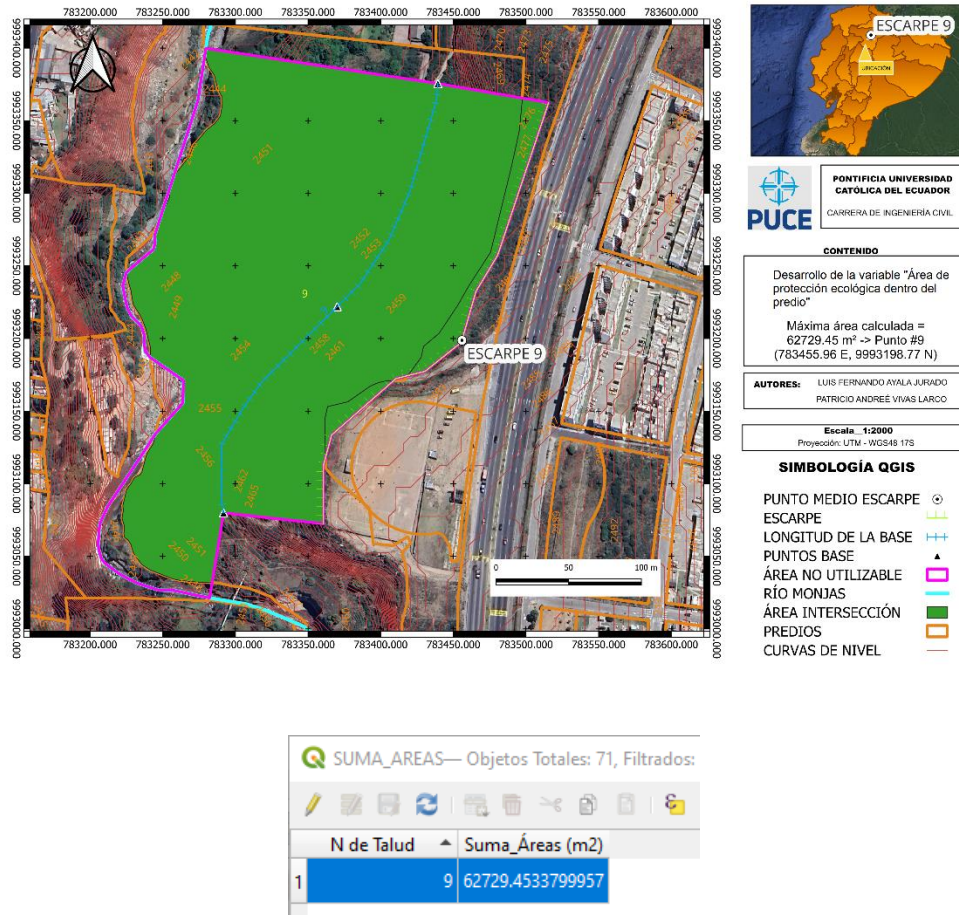
Nota. Tabla de elaboración propia a partir de los datos obtenidos utilizando Microsoft Excel.

4.3.8. Área de Protección Ecológica Dentro del Predio

El proceso para delimitar el polígono de “Área no utilizable” fue el siguiente: se aseguró de que el perímetro del polígono pase exactamente por el segmento de la longitud del talud, extendiéndose hasta la capa del Río Monjas. Para ello, se utilizó como guía los puntos extremos la capa de la longitud de la base, y consecutivamente se siguió la dirección de las líneas que unían estos puntos con los puntos del río. Finalmente, como ya fue descrito en anteriores subcapítulos, se realizó una intersección entre esta capa y la capa de predios, para que genere una nueva capa de polígonos con el valor real del área que es inutilizable en cada predio, esto relacionado con cada talud. Cabe recalcar que este proceso puede intersecar más de un predio, por lo que al final, se cuantifica el valor total de área que existe dentro de esta intersección entre la capa de área no utilizable y la capa de predios. Teniendo en cuenta este proceso, el punto/talud más crítico fue el n.º 9, con un total de Área = 62729.45 m², lo cual se puede comprobar en la Figura 18.

Figura 18

Talud crítico con respecto a la variable "Área de protección ecológica dentro del predio". Punto n.º 9



Nota. Procesamiento y digitalización en QGIS (QGIS Development Team, 2025). Edición propia.

4.4. Categorización de Variables

Con el objetivo de dar un valor a los datos procesados de cada variable, se procedió a hacer una categorización de cada criterio. La escala de categorización es numérica, utilizando los números 1, 2, 3, 4 y 5. Los rangos de evaluación para cada variable están organizados en

categorías y pautas, que fueron establecidas a través de un análisis exhaustivo de las condiciones en la cuenca del Río Monjas, en relación con cada variable específica. Se tuvo como objetivo que las categorías de cada criterio fueran compatibles con el manejo de datos en QGIS, considerando que, en lugar de restringir las categorías a los máximos y mínimos locales del tramo de estudio, se optó por una estandarización a nivel de cuenca. Esta estrategia permite que el modelo de riesgo por deslizamiento represente la variabilidad total del sistema fluvial. El criterio para la categorización se nombra en el apartado 2.4.6.

4.4.1. Número de Elementos Posiblemente Afectados

La categorización de esta variable se la puede verificar en la Tabla 5.

Tabla 5

Categorización de la variable "Número de Elementos Posiblemente Afectados"

Variable	Unidad	Categorías	Criterio	Valor
1. Número de elementos posiblemente afectados	#	$x < 25$	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
		$x > 120$	Peligro muy alto	5

Nota. Elaboración propia.

El nivel más bajo (< 25 elementos) se relaciona con áreas con poca población, dado que estas localidades son principalmente espacios verdes. Los rangos asignados a los valores 2 y 3 (25 a 80 elementos) fueron establecidos para reflejar el cambio en la exposición de la zona y las áreas de crecimiento informal mencionadas en la evaluación de riesgo que realizó el Municipio del Distrito Metropolitano de Quito en 2016. Por último, los rangos superiores que reciben el valor 4 y 5 (>80 elementos) se refieren a situaciones de mayor exposición, lo que permite al

modelo señalar las zonas donde el colapso del talud podría causar una crisis socioeconómica. Esta medición se ajusta a las directrices del “Análisis de elementos expuestos por dimensión social y dimensión económica” que CENEPRED definió en 2014.

4.4.2. Distancia del Elemento Posiblemente Afectado a la Cresta del Talud

La categorización de esta variable se la puede verificar en la Tabla 6.

Tabla 6

Categorización de la variable "Distancia del Elemento Posiblemente Afectado a la Cresta del Talud"

Variable	Unidad	Categorías	Criterio	Valor
2. Distancia del elemento posiblemente afectado a la cresta del talud	m	$x > 150$	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
		$x < 5$	Peligro muy alto	5

Nota. Elaboración propia.

La categorización de esta variable se relaciona plenamente con el incumplimiento de la normativa de retiros para bordes de quebrada (Secretaría General de Seguridad y Gobernabilidad, 2021) y los informes de situación por eventos peligrosos en la zona (SNGRE, 2020). Se adaptó esta información junto con las mediciones obtenidas en el procesamiento de QGIS para que las categorías tengan coherencia.

4.4.3. Carga de la Infraestructura en la Cresta del Talud

La categorización de esta variable se la puede verificar en la Tabla 7.

Tabla 7

Categorización de la variable "Carga de la Infraestructura en la Cresta del Talud"

Variable	Unidad	Categorías	Criterio	Valor
3. Carga de la infraestructura en cresta del talud	Ton	$x < 5000$	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
		$x > 30000$	Peligro muy alto	5

Nota. Elaboración propia.

Esta variable fue netamente categorizada bajo un análisis de los datos obtenidos en QGIS (Área en m^2) y posteriormente en las hojas de cálculo de Excel (Carga en Ton/m^2 multiplicada por el Área en m^2).

4.4.4. Altura del Talud

La categorización de esta variable se la puede verificar en la Tabla 8.

Tabla 8

Categorización de la variable "Altura del Talud"

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

Nota. Elaboración propia.

Si bien es cierto que el tramo de análisis tiene un valor máximo de altura de talud igual a 37 metros, mediante las curvas de nivel, se detectó que en otros sectores se evidenciaban mayores valores de altura. Así que, como ya se explicó en la introducción de este subcapítulo, el objetivo de la categorización es que se exponga la posible variabilidad de mediciones a lo largo de los 21.397 km de río. Con base en ello se establecieron los rangos de categorización de esta variable.

4.4.5. Pendiente del Talud

La categorización de esta variable se la puede verificar en la Tabla 9.

Tabla 9

Categorización de la variable "Pendiente del Talud"

Variable	Unidad	Categorías	Criterio	Valor
5. Pendiente del talud	°	$x < 10$	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
		$x > 45$	Peligro muy alto	5

Nota. Elaboración propia.

Para determinar los valores dentro de las categorías, se tomó como referencia el “CUADRO 58: Matriz de peligro” del manual de CENEPRED (2014), donde se describen explícitamente estos valores cuando se menciona a la pendiente. Se ajustaron los rangos para que esté seccionado de una manera más clara.

4.4.6. Litología

La categorización de esta variable se la puede verificar en la Tabla 10.

Tabla 10

Categorización de la variable "Litología".

Variable	Unidad	Categorías	Criterio	Valor
6. 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.

Es crucial determinar que este estudio se enfoca en el análisis de riesgo, por lo tanto, no tiene como objetivo llevar a cabo una caracterización geológica que dependa de la obtención experimental de parámetros mecánicos precisos (por ejemplo, ángulo de fricción o cohesión) para cada estrato. Esto implicaría una amplia serie de ensayos triaxiales o de corte directo.

Si bien la permeabilidad también es una propiedad que puede determinarse rigurosamente mediante ensayos de laboratorio o pruebas “in situ”, se la ha elegido como parámetro principal en esta categorización por su importancia conceptual para describir cómo se comporta el suelo

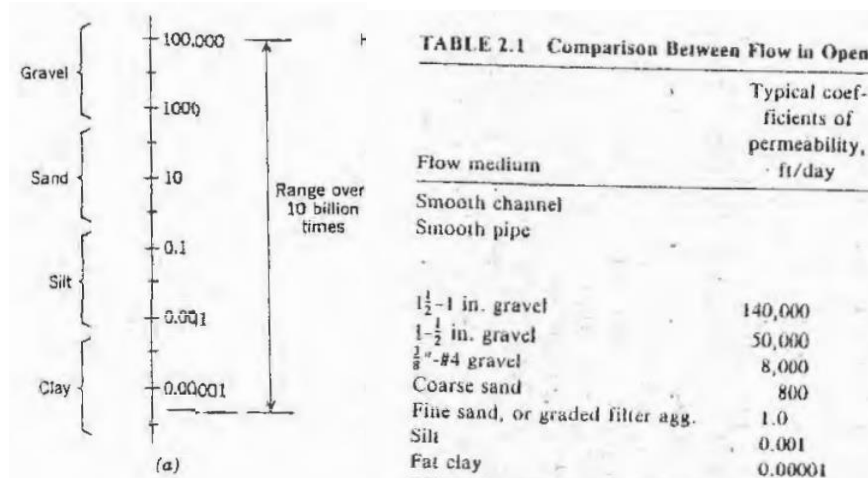
frente al agua. Más allá de su medición puntual, el coeficiente “ k ” es el indicador ideal para vincular la permeabilidad con la resistencia del terreno: una mayor permeabilidad garantiza la disipación de la presión de poros y, consecuentemente, la preservación de la resistencia al corte. Si el estudio fuera netamente geológico, sería indispensable definir las propiedades intrínsecas de cada material; sin embargo, para efectos de evaluar la susceptibilidad ante deslizamientos por saturación, este parámetro ofrece la justificación física más representativa sin depender exclusivamente de una caracterización mecánica exhaustiva.

Bajo este criterio, para esta categorización, se utilizan los valores del coeficiente de permeabilidad (k) extraídos de la Figura 2.1 y Tabla 2.1 de Cedergren (1989), verificables en la Figura 19. Se destaca que existe una diferenciación en los órdenes de magnitud respecto a los valores presentados en textos generales como Das y Sobhan (2018) en su Tabla 7.1, quienes reportan permeabilidades ligeramente superiores para suelos similares (condiciones de laboratorio idealizadas). No obstante, se ha priorizado la fuente de Cedergren por ofrecer un criterio más conservador y ajustado a la realidad de campo: al considerar valores de permeabilidad más bajos para los mismos tipos de suelo, se asume una menor velocidad de drenaje y, por ende, una mayor probabilidad de retención de agua y aumento de presión de poros, lo cual es el escenario más seguro para la estimación del riesgo.

Para la definición de los niveles, se realizó la conversión de unidades de pies/día (ft/day) a centímetros/segundo (cm/s) utilizando el factor: $1 \text{ ft/day} \approx 3.53 \times 10^{-4} \text{ cm/s}$

Figura 19

Valores típicos de coeficiente de permeabilidad (k)



Nota. La figura ilustra la correlación entre la litología y los rangos del coeficiente de permeabilidad (k). Adaptado de *Seepage, drainage, and flow nets* (pp. 20, 22), por H. R. Cedergren, 1989, John Wiley & Sons.

- Nivel 1: Suelos Granulares puros (peligro Muy Bajo): el límite inferior del rango de " k " para suelos granulares, según la Figura 19, lo marca la arena fina con un valor de coeficiente de permeabilidad (k) igual a $1 \text{ ft/day} \approx 3.53 \times 10^{-4} \text{ cm/s}$. En estos valores, la estructura de vacíos es abierta, permitiendo un drenaje libre. El agua se evacúa con rapidez, impidiendo la acumulación de presión de poros que pudiera desestabilizar el talud.
- Nivel 2: Suelos Granulares con Finos (peligro Bajo): este nivel corresponde a la zona de transición visible en la Figura 19 entre las arenas finas ($k = 1 \text{ ft/day} \approx 3.53 \times 10^{-4} \text{ cm/s}$) y los limos ($k = 0.001 \text{ ft/day} \approx 3.53 \times 10^{-7} \text{ cm/s}$). Geotécnicamente, representa a las arenas que contienen porcentajes de finos

(limos o arcillas) que obstruyen parcialmente los canales de flujo. Aunque el drenaje no es inmediato, la permeabilidad se mantiene por encima del umbral crítico de los limos puros, permitiendo una disipación de presiones aceptable para evitar fallas en condiciones normales.

- Nivel 3: Limos (peligro Medio): El límite superior de este nivel se fija en el valor exacto para Limos (Silt) indicado en la Figura 19 ($k = 0.001 \text{ ft/day} \approx 3.53 \times 10^{-7} \text{ cm/s}$). Este rango cubre la transición hacia materiales prácticamente impermeables. Aquí, el drenaje se vuelve "pobre" y la retención de agua es significativa, haciendo al talud vulnerable ante la presencia de agua que satura la matriz del suelo.
- Nivel 4: Arcillas y Arcillo-limosas (peligro Alto): en este nivel el coeficiente de permeabilidad "k" es igual o menor a $0.00001 \text{ ft/day} \approx 3.53 \times 10^{-9} \text{ cm/s}$. Este valor corresponde al marcador de Arcilla Grasa (Fat Clay) en la Figura 19. Con una permeabilidad tan ínfima que el agua que logra infiltrarse no puede salir, generando un ablandamiento progresivo.
- Nivel 5: Suelos Orgánicos (peligro Muy Alto): los suelos que contienen una cantidad considerable de materia orgánica (OL, OH, PT) se clasifican en esta categoría. La naturaleza física de estos materiales es el peligro crítico, Das y Sobhan (2018) sostienen que los suelos orgánicos se distinguen estructuralmente porque tienen una naturaleza fibrosa y muy compresible, la cual proviene de la descomposición vegetal. Esta configuración interna hace que las partículas minerales sólidas no tengan un contacto firme, lo cual genera un material

"esponjoso" con resistencia al corte casi nula. En el contexto de laderas, estos suelos funcionan como planos de debilidad crítica. No pueden soportar cargas y tienen una alta probabilidad a deslizarse cuando están saturados.

4.4.7. Distancia del Río a la Base del Talud

La categorización de esta variable se la puede verificar en la Tabla 11.

Tabla 11

Categorización de la variable " Distancia del Río a la Base del Talud"

Variable	Unidad	Categorías	Criterio	Valor
7. Distancia del río a la base del talud	m	$x > 50$	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
		$x < 5$	Peligro muy alto	5

Nota. Elaboración propia.

Se adaptó un criterio similar al “Cuadro 25” del manual de CENEPRED (2014), que tiene como título “Cercanía a una fuente de agua”. Los rangos fueron ajustados con base en los datos obtenidos en QGIS y a la geomorfología específica del Río Monjas descrita por Rivera (2016), definiendo el criterio de “Peligro Muy Alto” (< 5 m) como la zona de impacto directo por socavación lateral.

4.4.8. Caudal del Río

La categorización de esta variable se la puede verificar en la Tabla 12.

Tabla 12

Categorización de la variable " Caudal del Río"

Variable	Unidad	Categorías	Criterio	Valor
8. Caudal del río	m ³ /s	$x < 130$	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
		$x > 235$	Peligro muy alto	5

Nota. Elaboración propia.

Esta variable fue netamente categorizada con base en la Figura 5 (Tabla 3.1 de la Figura).

4.4.9. Longitud del Talud

La categorización de esta variable se la puede verificar en la Tabla 13.

Tabla 13

Categorización de la variable "Longitud del Talud"

Variable	Unidad	Categorías	Criterio	Valor
9. Longitud del talud	m	$x < 60$	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
		$x > 165$	Peligro muy alto	5

Nota. Elaboración propia.

La categorización de esta variable fue realizada con base en los datos obtenidos del procesamiento en QGIS, estableciendo una diferencia de 35 metros entre los valores finales de cada rango.

4.4.10. Área de Protección Ecológica Dentro del Predio

La categorización de esta variable se la puede verificar en la Tabla 14.

Tabla 14

Categorización de la variable "Área de protección ecológica dentro del predio"

Variable	Unidad	Categorías	Criterio	Valor
10. Área de protección ecológica dentro del predio	m ²	$x < 1000$	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
		$x > 30000$	Peligro muy alto	5

Nota. Elaboración propia.

Los rangos fueron designados tras el procesamiento geoespacial en QGIS para capturar la magnitud del conflicto de uso de suelo en la cuenca, donde el nivel de 'Peligro Muy Alto' (> 30000 m²) identifica grandes extensiones de terreno inutilizable.

4.5. Construcción de la Matriz de Comparación por Pares (AHP)

Una vez definidas las diez variables de análisis (descritas en la sección 4.2), las cuales se pueden observar en la Tabla 15, se procedió a estructurar el modelo de decisión bajo los principios del Proceso Analítico Jerárquico. Siguiendo la metodología establecida por Saaty (1990), el problema se descompuso en una estructura jerárquica donde el objetivo principal,

estimar el riesgo por deslizamiento, se sitúa en la cima, seguido por los criterios de evaluación (las variables seleccionadas) y, finalmente, las alternativas (los taludes del tramo).

Tabla 15

Codificación de las variables de análisis

Codificación	Nombre de la variable
C1	Número de elementos posiblemente afectados
C2	Distancia del elemento posiblemente afectado a la cresta del talud
C3	Carga de la infraestructura en la cresta del talud
C4	Altura del talud
C5	Pendiente del talud
C6	Litología
C7	Distancia del río a la base del talud
C8	Caudal del río
C9	Longitud del talud
C10	Área de protección ecológica dentro del predio

Nota. Elaboración propia

La asignación de valores dentro de la matriz de 10 x 10, se realizó mediante la Escala Fundamental de Saaty, la cual fue explicada previamente en el marco teórico. Su característica principal es que valora la importancia relativa en un rango del 1 al 9, donde justamente la determinación de estos juicios de valor no fue arbitraria; más bien fue un criterio neto de los autores del presente documento, fundamentado en la evidencia bibliográfica de la zona (SNGRE,

2020) y los diagnósticos técnicos de la cuenca (Rivera, 2016), que exponen un gran riesgo por deslizamiento de los taludes del sector.

Al momento de realizar la comparación por pares, se indujo a que el orden o niveles de prioridad de las variables fuera el siguiente:

4.5.1. Nivel 1: Variables Críticas (Prioridad Máxima)

4.5.1.1. Número de Elementos Posiblemente Afectados. Esta variable se definió como la de máxima importancia en el modelo. La justificación nace en el uso de suelo de la zona, donde se tiene una gran densidad y diversidad de infraestructuras expuestas. Los reportes de SNGRE (2020) evidencian que los eventos en el Río Monjas no afectan únicamente a viviendas aisladas, sino que comprometen sistemas complejos: infraestructura vial, puentes, establecimientos educativos y bienes públicos.

4.5.1.2. Carga de la Infraestructura en la Cresta. Esta decisión tiene como respaldo los estudios de Rivera (2016), quien identifica a los "asentamientos humanos" y la construcción de viviendas en los bordes como factores antrópicos determinantes que sobrecargan taludes de por sí inestables.

4.5.2. Nivel 2: Condicionantes Físicos Primarios (Alta Importancia)

4.5.2.1. Pendiente del Talud. En concordancia con la literatura geotécnica y los estudios locales, la pendiente se mantiene como el factor geométrico más influyente. El diagnóstico técnico de la cuenca realizado por Rivera (2016) caracteriza al relieve de la zona como de "laderas escarpadas" y señala la presencia de taludes con pendientes muy pronunciadas que "se aproximan a los 80 grados", identificando a esta geometría como un condicionante crítico de la inestabilidad.

4.5.2.2. Litología. Aunque se generalizó un tipo de suelo para el tramo, la literatura (Rivera, 2016; Ortega & Quishpe, 2025) hace énfasis en que la composición de los materiales (arenas/limos sin consolidar) es fundamental para la susceptibilidad a la erosión.

4.5.2.3. Distancia del Río a la Base. Se decidió dar prioridad a esta variable por la evidencia de erosión en la base observada en varios puntos de la totalidad del tramo (21.397 km), como en “La Esperanza” y “Balcón del Norte”. En estas áreas, los informes técnicos tales como el de Rivera (2016) señalan que la susceptibilidad a los deslizamientos es una "consecuencia secundaria a la acción hídrica (socavación)".

4.5.2.4. Altura del Talud. Se considera un factor crítico de amenaza. Según Suárez Díaz (1998), la geometría del talud, específicamente su altura, es una de las dimensiones principales que gobiernan la magnitud del evento, influyendo directamente en el volumen de material desplazado y el alcance del movimiento.

4.5.3. Nivel 3: Factores Secundarios (Importancia Media)

4.5.3.1. Distancia del Elemento Posiblemente Afectado a la Cresta del Talud. Es cierto que con base en las fuentes bibliográficas (SNGRE, 2020; Rivera, 2016) esta variable es un indicador considerable de exposición, sin embargo, como se verificó en apartado 4.3, en la zona de estudio la proximidad de las viviendas al borde es una condición bastante común; por lo que se decidió priorizar más las variables que consideraban el número total de viviendas en la zona de análisis (variables C1 y C3).

4.5.3.2. Caudal del Río. Aunque el caudal es el agente erosivo, su influencia es dependiente a la cercanía del flujo a la base del talud. Se decidió priorizar la variable geométrica "Distancia del Río a la Base" sobre la variable hidráulica neta, dado que el caudal sólo es destructivo bajo la premisa de que el flujo está cercano a la base.

4.5.4. Nivel 4: Variables de Menor Influencia (Baja Importancia)

4.5.4.1. Longitud del Talud. Se le asignó una importancia menor basándose en el principio de falla progresiva (Suárez Díaz, 1998). Este concepto fue explicado en el apartado 4.3, dado que los taludes no colapsan monolíticamente en toda su extensión longitudinal, una mayor longitud no implica necesariamente una mayor probabilidad de falla inminente en comparación con factores directos como la carga o la pendiente.

4.5.4.2. Área de Protección Ecológica Dentro del Predio. En el modelo AHP, en la jerarquización final, esta variable ocupa la última posición en términos de ponderación. Esta resolución se fundamenta en un principio de no redundancia e independencia entre los componentes de exposición. Esta variable asume un rol complementario y administrativo, puesto que el modelo incorpora a una variable de exposición crítica en la máxima posición de prioridad. Su función en el modelo es establecer la densidad catastral y la posesión de tierras, pero no refleja por sí sola con la misma intensidad que la variable principal de exposición la gravedad del daño potencial.

Tomando esta información de cada variable, la matriz de comparación por pares de 10 criterios (variables) con el proceso AHP, se la puede observar en la Tabla 16.

Tabla 16*Matriz de comparación por pares de 10 criterios con el proceso AHP*

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10
C1	1.000	3.000	1.000	2.000	2.000	2.000	2.000	3.000	4.000	8.000
C2	0.333	1.000	0.333	1.000	0.500	1.000	1.000	1.000	2.000	3.000
C3	1.000	3.000	1.000	2.000	2.000	2.000	2.000	3.000	4.000	7.000
C4	0.500	1.000	0.500	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	2.000	4.000
C5	0.500	2.000	0.500	1.000	1.000	1.000	1.000	2.000	3.000	5.000
C6	0.500	1.000	0.500	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	2.000	4.000
C7	0.500	1.000	0.500	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	2.000	4.000
C8	0.333	1.000	0.333	1.000	0.500	1.000	1.000	1.000	2.000	3.000
C9	0.250	0.500	0.250	0.500	0.333	0.500	0.500	0.500	1.000	2.000
C10	0.125	0.333	0.143	0.250	0.200	0.250	0.250	0.333	0.500	1.000
Suma	5.042	13.833	5.060	10.750	9.533	10.750	10.750	13.833	22.500	41.000

Nota. Elaboración propia

4.6. Determinación de Pesos de Criterios

Para el proceso de obtención de pesos ponderados, se utilizó el algoritmo clásico del Proceso Analítico Jerárquico que fue presentado por Saaty (1990), el cual incluye dos pasos:

4.6.1. Normalización de la Matriz

Con el objetivo de uniformizar los valores y hacerlos comparables, se convirtió la matriz de juicios iniciales en una matriz normalizada. Este procedimiento se llevó a cabo dividiendo cada elemento de la matriz (a_{ij}) por la sumatoria de su columna correspondiente ($\sum a_{ij}$). Este paso es crucial para asegurar que la suma total de los pesos finales sea uno (1), transformando los juicios subjetivos en valores matemáticos proporcionales. En la Tabla 17 se puede observar la matriz normalizada.

Tabla 17*Matriz normalizada*

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	Peso (w)
C1	0.198	0.217	0.198	0.186	0.210	0.186	0.186	0.217	0.178	0.195	0.197
C2	0.066	0.072	0.066	0.093	0.052	0.093	0.093	0.072	0.089	0.073	0.077
C3	0.198	0.217	0.198	0.186	0.210	0.186	0.186	0.217	0.178	0.171	0.195
C4	0.099	0.072	0.099	0.093	0.105	0.093	0.093	0.072	0.089	0.098	0.091
C5	0.099	0.145	0.099	0.093	0.105	0.093	0.093	0.145	0.133	0.122	0.113
C6	0.099	0.072	0.099	0.093	0.105	0.093	0.093	0.072	0.089	0.098	0.091
C7	0.099	0.072	0.099	0.093	0.105	0.093	0.093	0.072	0.089	0.098	0.091
C8	0.066	0.072	0.066	0.093	0.052	0.093	0.093	0.072	0.089	0.073	0.077
C9	0.050	0.036	0.049	0.047	0.035	0.047	0.047	0.036	0.044	0.049	0.044
C10	0.025	0.024	0.028	0.023	0.021	0.023	0.023	0.024	0.022	0.024	0.024
	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

Nota. Elaboración propia**4.7. Obtención del Vector de Prioridades (w)**

Se determinó el Vector Propio (Eigenvector) o vector de prioridades, que representa el peso definitivo de cada variable dentro del modelo de riesgo por deslizamiento. Para obtener este valor, se calculó el promedio aritmético de las filas de la matriz normalizada. Posteriormente se implementó una escala de colores para que sea más visible los niveles de prioridad descritos en el anterior subcapítulo. Los pesos finales de cada variable se los puede verificar en la Tabla 18.

Tabla 18*Pesos de cada variable del análisis.*

Codificación	Peso (w)	Ranking
C1	0.197	Top 1
C3	0.195	Top 2
C5	0.113	Top 3
C4	0.091	Top 4-6
C7	0.091	Top 4-6
C6	0.091	Top 4-6
C8	0.077	Top 7-8
C2	0.077	Top 7-8
C9	0.044	Top 9
C10	0.024	Top 10

Nota. Elaboración propia

4.8. Verificación del Índice de Consistencia (CR)

Para esta validación, se siguió el procedimiento de cálculo del “Ratio de Consistencia” (CR) propuesto por Saaty (1990) y aplicado en estudios recientes como el de Cargua et al. (2024).

El proceso de verificación consistió en los siguientes pasos que se desarrollaron en una hoja de cálculo de Excel:

- Cálculo del Vector Suma Ponderada: se multiplicó la matriz original de comparaciones (A) por el vector de pesos (w) obtenido en el apartado 4.7
- Estimación del Autovalor Máximo (λ_{max}): se obtuvo promediando la división de los elementos del vector suma ponderada (M) entre sus respectivos pesos originales.
- Cálculo del Índice de Consistencia (CI): se aplicó la Ecuación 9:

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1}$$

Siendo “n” el número de variables del análisis.

- Determinación del “Ratio de Consistencia” (CR): finalmente, se comparó el “Índice de Consistencia” (CI) con el “Índice Aleatorio” (RI) correspondiente a una matriz de tamaño 10 (cuyo valor estandarizado es 1.49), mediante la Ecuación 10:

$$CR = \frac{CI}{RI}$$

Los resultados de este proceso se los puede verificar en la Tabla 19.

Tabla 19

Proceso para encontrar el valor de CR

M=A* w	COCIENTE=M/ w
1.99330871	10.11545016
0.774182047	10.05231086
1.969450671	10.11963166
0.919639024	10.07282544
1.141428979	10.13339668
0.919639024	10.07282544
0.919639024	10.07282544
0.774182047	10.05231086
0.441046126	10.04632162
0.240588929	10.08418742
$\lambda =$	10.08220856
n=	10
RI=	1.49
CI=(λ -n)/(n-1)	0.009134284
CR=CI/RI	0.006130392
CR = 0.6130%	

Nota. Elaboración propia

El estudio reveló un “Ratio de Consistencia” (CR) de 0.006130392 (0.6130 %). Como este valor está por debajo del umbral de tolerancia de 0.10 (10%) fijado por Saaty en 1990, se determina que la matriz de pesos presenta una consistencia matemática adecuada y que los valores obtenidos son apropiados para su utilización en el análisis de riesgo por deslizamiento de taludes en el tramo del Río Monjas del presente documento.

4.9. Cálculo del Índice de Riesgo por Deslizamiento (LRI)

El objetivo final, de acuerdo con lo establecido en la estructura jerárquica, es estimar el nivel de riesgo por deslizamiento presente en cada talud. Para calcular este indicador de manera matemática, se tomó como base el modelo que Cargua et al. (2024) usaron en su investigación. Este grupo aplica el Proceso de Jerarquía Analítica para establecer, mediante una suma ponderada lineal, un Índice de Susceptibilidad al Deslizamiento (LSI).

No obstante, para la investigación actual, es crucial realizar una diferenciación conceptual. Este estudio modifica el modelo de Cargua et al. (2024), que se centra en las variables de susceptibilidad (factores físicos), para incluir de manera simultánea tanto las variables de exposición, factores detonantes y susceptibilidades físicas.

Por consiguiente, dado que la ecuación sintetiza la interacción entre la inestabilidad física y la exposición de los elementos, el índice resultante se lo denomina Índice de Riesgo por Deslizamiento (LRI - Landslide Risk Index). El cálculo se realiza mediante la Ecuación 23:

$$LRI = \sum_{i=1}^n R_i * w_i \quad (23)$$

Siendo:

- R_i = El valor de la categorización de cada variable (Escala del 1 al 5).
- w_i = Ponderación para cada una de las variables obtenido del análisis AHP.
- n = Número de variables (10)
- LRI = Índice de Riesgo por Deslizamiento

4.10. Validación de Resultados Mediante Inspección de Campo

Con el fin de comprobar y ajustar los resultados de la base de datos obtenida en QGIS, que estaba plenamente influenciada por las curvas de nivel previamente importadas, se tomó la decisión de realizar una salida de campo para llevar a cabo mediciones con equipos topográficos. Esta validación de datos se desarrolló sólo para los puntos críticos y los puntos cercanos a los mismos, donde el principal objetivo fue comprobar las características de los taludes críticos y obtener unas curvas de nivel con mayor precisión en la zona de estudio.

4.10.1. Levantamiento Aerofotogramétrico con Vehículo Aéreo No Tripulado (Dron)

Para actualizar la topografía de las áreas críticas identificadas, se utilizó un Dron (UAV) con el fin de crear modelos digitales de elevación de alta resolución. Esta tecnología es valiosa debido a su habilidad para registrar la forma actual del terreno en lugares difíciles de acceder, como en las pendientes escarpadas del Río Monjas, superando las limitaciones de resolución de las imágenes satelitales comunes como Google Earth Pro o la función Google Satélite en QGIS.

Para realizar este estudio, se utilizó un dron "DJI Phantom 4 Pro" para recolectar datos, el cual se lo puede observar en la Figura 20. La planificación de las rutas de vuelo, también llamada "misión", se llevó a cabo mediante la aplicación Map Pilot (Drones Made Easy, 2020). Esta

herramienta permitió automatizar el recorrido aéreo estableciendo un polígono de interés en la zona crítica y determinó los caminos de vuelo más apropiados para mantener una velocidad y altitud estables, garantizando la superposición fotográfica requerida entre las imágenes consecutivas.

Posteriormente, se realizó el procesamiento de las imágenes con la aplicación especializada Agisoft PhotoScan Pro (Agisoft LLC, 2018). El paso inicial consistió en alinear las imágenes con el fin de generar una nube de puntos densa, la que sirvió para volver a crear la geometría del terreno por medio de una malla tridimensional texturizada. Finalmente, se crearon cortes topográficos y se lograron las curvas de nivel con la exactitud necesaria para el estudio del riesgo por deslizamiento, todo esto sobre este Modelo Digital de Elevación (MDE) de alta resolución (2 x 2 centímetros).

Figura 20

Vuelo del Dron DJI Phantom 4 Pro para la obtención de datos.



Nota. Elaboración propia

4.10.2. Verificación con Estación Total

Se llevó a cabo un levantamiento de control terrestre con una estación total (observar Figura 21) para verificar la calidad del modelo fotogramétrico y garantizar su precisión en términos geométricos. El procedimiento se enfocó en verificar la altura del talud directamente, lo que permitió comparar si el modelo elaborado por el dron era verticalmente preciso. Así, se garantizó que los datos de altura, un factor fundamental para calcular el riesgo por deslizamiento, estuvieran en concordancia con la realidad física del terreno. Asimismo, se logró verificar con rapidez si la altura de los taludes críticos coincidía con el valor que se había obtenido en el procesamiento de datos a través de QGIS, usando este equipo topográfico.

Figura 21

Uso de la estación total para la obtención de datos.



Nota. Elaboración propia.

CAPÍTULO V

5. Análisis de Resultados

5.1. Presentación de Resultados

En este subcapítulo se exponen los resultados obtenidos tras la aplicación del modelo de Proceso de Jerarquía Analítica (AHP) y el procesamiento geoespacial en QGIS.

5.1.1. Resultados del Análisis AHP

El procedimiento para calcular el LRI (Índice de Riesgo por Deslizamiento) se realizó en una hoja de cálculo de Excel. Se crearon fichas (tablas) para cada talud/punto donde finalmente se aplicó la Ecuación 23. A continuación, se presentará la Tabla 20, donde se encuentra el número de punto, el tipo de talud y su respectivo LRI. Las fichas de cada talud/punto antes de las inspecciones de campo, se encuentran en el Anexo G – Tabla G1.

Tabla 20

Puntos del análisis con su respectivo valor de LRI antes de las inspecciones de campo

Punto	Tipo	LRI
1	Talud simple	3.0033
2	Talud simple	2.3834
3	Sistema de taludes	2.6240
4	Talud simple	2.5474
5	Talud simple	2.7420
6	Talud simple	2.1820
7	Talud simple	2.4387
8	Talud simple	3.8280
9	Talud simple	2.7297
10	Talud simple	4.0026
11	Talud simple	3.6489
12	Talud simple	3.4924
13	Sistema de taludes	2.5610
14	Talud simple	3.3785
15	Talud simple	3.4450

Punto	Tipo	LRI
16	Talud simple	3.3120
17	Talud simple	2.8951
18	Talud simple	3.0649
19	Talud simple	3.8436
20	Talud simple	2.9749
21	Talud simple	2.7743
22	Talud simple	2.3767
23	Talud simple	3.7202
24	Talud simple	4.0026
25	Talud simple	2.8799
26	Talud simple	3.7841
27	Talud simple	2.7414
28	Talud simple	2.9893
29	Talud simple	2.8448
30	Sistema de taludes	3.0536
31	Talud simple	3.4335
32	Talud simple	2.6416
33	Talud simple	2.4158
34	Talud simple	1.9096
35	Talud simple	2.3594
36	Talud simple	2.8656
37	Talud simple	2.9243
38	Talud simple	2.5113
39	Talud simple	2.6883
40	Talud simple	2.6215
41	Talud simple	2.2059
42	Talud simple	2.5918
43	Talud simple	2.4706
44	Talud simple	3.3402
45	Talud simple	3.3530
46	Talud simple	3.3086
47	Talud simple	3.3665
48	Talud simple	1.9473
49	Talud simple	2.3912
50	Talud simple	3.5524
51	Talud simple	3.7199
52	Talud simple	3.4576
53	Talud simple	3.6550
54	Talud simple	3.0477
55	Talud simple	3.1103
56	Talud simple	3.4961
57	Talud simple	3.6548
58	Talud simple	3.3370

Punto	Tipo	LRI
59	Talud simple	3.4818
60	Talud simple	3.0083
61	Talud simple	2.8040
62	Talud simple	2.2771
63	Talud simple	2.5253
64	Talud simple	2.1181
65	Sistema de taludes	3.4076
66	Talud simple	2.5164
67	Talud simple	2.4124
68	Talud simple	2.4099
69	Talud simple	1.8871
70	Talud simple	2.0411
71	Talud simple	3.8496

Nota. Elaboración propia

5.1.2. Identificación de los Puntos con Mayor Riesgo por Deslizamiento

En la Tabla 21 se puede observar cuales fueron los puntos críticos del análisis antes de las inspecciones de campo.

Tabla 21

Puntos con mayor LRI antes de las inspecciones de campo

Punto	Tipo	Coordenada X (Este)	Coordenada Y (Norte)	LRI
10	Talud simple	783152.27	9993277.28	4.0026
24	Talud simple	783615.58	9993970.37	4.0026

Nota. Elaboración propia

En el procesamiento del modelo AHP, se identificaron dos puntos críticos que presentan valores idénticos en el Índice de Riesgo por Deslizamiento (4.0026), estos son los puntos n.º 10 y n.º 24. La igualdad en el índice no implica que los taludes sean idénticos en sus características físicas o en sus mediciones realizadas en QGIS, sino que la interacción conjunta de sus factores (variables) genera un cálculo final equiparable. Esto se puede comprobar al verificar la ficha de

cada punto, donde, aunque las mediciones de cada variable no fueron iguales, el valor de categorización si lo fue, como se comprueba en la Tabla 22. Es muy importante mencionar que en la etapa en la cual se terminó de hacer el procesamiento de datos, aún no se realizaba ninguna de las inspecciones de campo: la primera fue para realizar el vuelo del dron y las mediciones con estación total, y la segunda inspección fue para realizar el proceso explicado en 4.2.9, con respecto a la extracción de estratos y posteriores ensayos de laboratorio para determinar el tipo de suelo de algunos taludes y consecutivamente de todo el tramo. Tomando esto en cuenta, se justifica el hecho de que en la Tabla 22, para la Variable 6: “Litología”, se asignara un tipo de suelo “SP-SM” para los dos puntos; dado que hasta ese entonces solo se tenía como fuente el estudio de Ortega y Quishpe (2025), en donde 19 de 21 estratos tuvieron esa denominación de SUCS, por lo que en esa instancia se generalizó a todo el tramo de análisis con un tipo de suelo “SP-SM”.

Tabla 22

Fichas de calificación de los Puntos n.º 10 y n.º 24 antes de las inspecciones de campo

Variable	Unidad	Pt. 10	Pt. 24	Valor
1. Número de elementos posiblemente afectados	#	245.0000	237.0000	5
2. Distancia del elemento posiblemente afectado a la cresta del talud	m	0.0000	0.0000	5
3. Carga de la infraestructura en cresta del talud	Ton	38015.4424	39776.8623	5
4. Altura del talud	m	35.0000	32.0000	3
5. Pendiente del talud	°	34.7090	37.8321	4
6. Litología	SUCS	SP-SM	SP-SM	2

Variable	Unidad	Pt. 10	Pt. 24	Valor
7. Distancia río a la base del talud	m	26.2841	24.9307	3
8. Caudal del río	m ³ /s	176.4617	183.9503	3
9. Longitud del talud	m	151.3714	154.0543	4
10. Área de protección ecológica dentro del predio	m ²	7576.9304	7344.8698	3
Calificación Final (LRI)				4.0026

Nota. Elaboración propia

El punto n.º 10 se encuentra a un costado de la Av. Manuel Córdova Galarza en sentido Sur-Norte en el sector de Pomasqui. Se tiene como referencia de ubicación al concesionario de automóviles “Urgentito Pomasqui”. Hay infraestructuras encima de la cresta del talud, no solo en un punto, más bien a lo largo de toda su longitud. Su identificación en Google Earth Pro y QGIS se la puede observar en la Figura 22.

Figura 22

Identificación del punto n.º 10 en Google Earth Pro y QGIS



Nota. Capturas de pantalla elaboradas a partir de Google Earth Pro (Google, 2024), y con procesamiento y digitalización en QGIS (QGIS Development Team, 2025). Edición propia.

El punto n.º 24 se encuentra a un costado de la calle “La Paz” en sentido Sur-Norte en el sector de Pomasqui. Se tiene como referencia de ubicación el “Parque Central Pomasqui”, donde se encuentra la Iglesia Católica Santa Rosa y Santa Clara. Al igual que el punto n.º 10, se encuentran bastantes viviendas en el borde superior del talud. Su identificación en Google Earth Pro y QGIS se la puede observar en la Figura 23.

Figura 23

Identificación del punto n.º 24 en Google Earth Pro y QGIS



Nota. Capturas de pantalla elaboradas a partir de Google Earth Pro (Google, 2024), y con procesamiento y digitalización en QGIS (QGIS Development Team, 2025). Edición propia.

5.2. Verificación de Resultados

Como se mencionó previamente en la metodología, en este apartado se verificarán los resultados obtenidos de los puntos críticos mediante una primera inspección de campo, en donde se utilizaron equipos de topografía (Dron y estación total). En esta sección no se abordará la segunda salida de campo, la cual, si bien ocurrió posteriormente en el orden cronológico, ya fue explicada en el apartado 4.2.9, dado que formó parte de la metodología del estudio.

5.2.1. Resultados de la Inspección de Campo - Dron

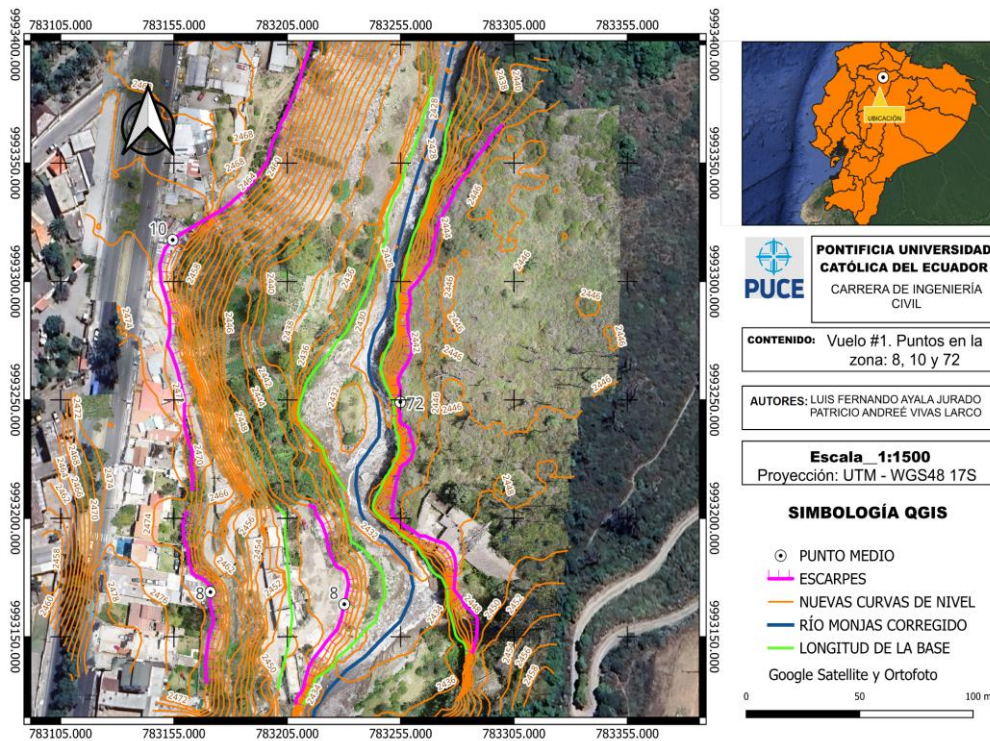
Posterior a todo el proceso realizado en Agisoft PhotoScan Pro, se exportó el archivo .tif (Ortofoto) y .shape (Curvas de Nivel) a QGIS. El vuelo programado del dron no solo capturó las imágenes del punto crítico, sino también las imágenes de los puntos de alrededor, lo cual fue

beneficioso para la verificación de resultados, dado que, los taludes que estaban próximos al punto crítico, también tenían un LRI alto.

5.2.1.1. Vuelo n.º 1. En la Figura 24 se pueden observar los resultados del primer vuelo representado en QGIS.

Figura 24

Primer vuelo de la inspección de campo. Puntos n.º 8, 10 y 72 aparecen en él



Nota. Procesamiento y digitalización en QGIS (QGIS Development Team, 2025). Edición propia.

Este vuelo tuvo como resultado el nuevo dibujo de tres taludes y un ajuste en la capa del dibujo del Río Monjas; esta capa fue modificada para seguir la dirección correcta del río que es visible gracias a la ortofoto.

El talud/punto n.º 10 que era el punto crítico, tuvo sobre todo una extensión en su longitud. Mediante las nuevas curvas de nivel se pudo presenciar con mayor facilidad esta extensión y también la cercanía real de la base al río. El talud/punto n.º 8 tuvo una gran modificación al pasar de ser un talud simple a un sistema de taludes; esto se lo comprobó en campo dado que justamente en esta zona “plana” del sistema fue donde se hizo el vuelo del dron y las mediciones con la estación total. Además, en este punto se pudo observar cómo los habitantes de esta zona arrojan relleno en la base y cresta del talud debido a la situación crítica del terreno (verificar Anexo A - Figura A3). Finalmente, apareció un nuevo punto (n.º 72) que no estuvo en el primer procesamiento de datos en QGIS, esto debido a que la imagen satelital y las curvas de nivel no correspondían en ese sector, pero gracias al vuelo se pudo registrar este talud, el cual tiene una casa abandonada encima de la cresta y que está al borde del deslizamiento en su totalidad. Se pueden verificar los taludes desde la vista de la inspección de campo en la Figura 25.

Figura 25

Puntos identificados en campo. (a) = n.º 10, (b) = n.º 72 y (c) = n.º 8



(a)

(b)

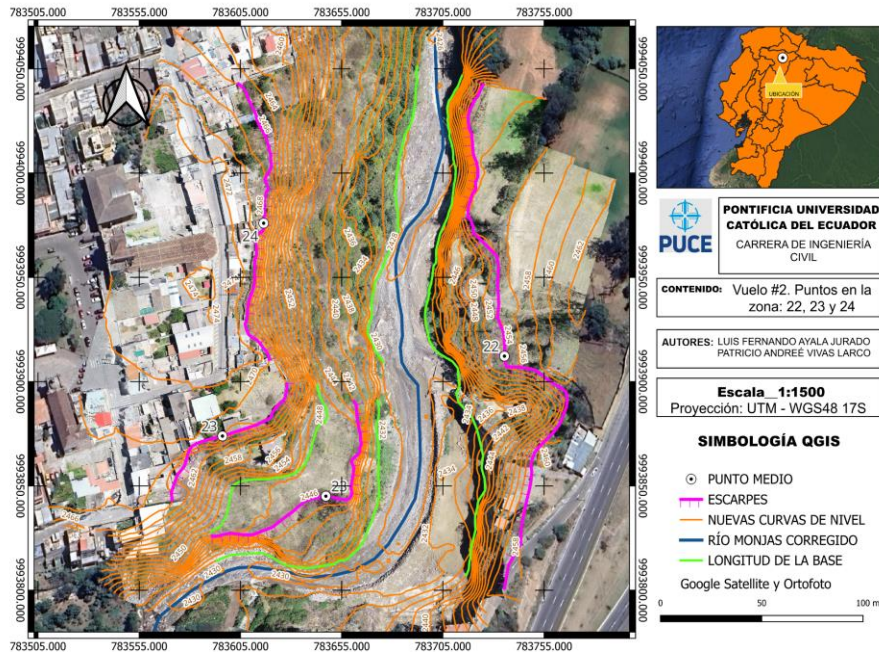
(c)

Nota. Elaboración propia

5.2.1.2. Vuelo n.º 2. En la Figura 26 se pueden observar los resultados del segundo vuelo representado en QGIS.

Figura 26

Segundo vuelo de la inspección de campo. Puntos n.º 22, 23 y 24 aparecen en él



Nota. Procesamiento y digitalización en QGIS (QGIS Development Team, 2025). Edición propia.

El segundo vuelo, al igual que el primero, tuvo como resultado el nuevo dibujo de tres taludes y un ajuste en la capa del dibujo del Río Monjas; esta capa fue modificada para seguir la dirección correcta del río que es visible gracias a la ortofoto, la cual se puede observar en el Anexo H – Figura H1.

El talud/punto n.º 24 que era el punto crítico, no tuvo cambios considerables en el dibujo de la longitud del talud, pero si hubo un acercamiento de la longitud de la base al río, que

corresponde con lo marcado por las nuevas curvas de nivel. El talud/punto n.º 23 si tuvo un gran cambio al pasar de ser un talud simple a un sistema de taludes; gracias al vuelo del dron y consecutivamente a las curvas de nivel, se pudo presenciar esta modificación. Finalmente, la corrección más grande se la logró ver en el talud/punto n.º 22, debido a que las primeras curvas de nivel no mostraban una concordancia con la imagen de Google Satélite en QGIS, por lo que el dibujo original de este talud no hacía notar la realidad de esa zona. Gracias a la inspección de campo y el vuelo del dron, se pudo presenciar el peligro que presenta este punto, estando a pocos metros de la Av. Simón Bolívar en sentido Norte-Sur, donde el deslizamiento de masas de una gran parte del talud, ya se había producido (revisar Anexo A – Figura A4). Se pueden verificar los taludes desde la vista de la inspección de campo en la Figura 27.

Figura 27

Puntos identificados en campo. (a) = n.º 24, (b) = n.º 23 y (c) = n.º 22.



(a)

(b)



(c)

Nota. Elaboración propia

5.2.2. Resultados de la Inspección de Campo - Estación Total

Con el fin de corroborar la altura de los taludes que corresponden a los puntos críticos, se realizó mediciones a la base y cresta de estos taludes para finalmente encontrar el valor de su altura en metros. Los autores del presente documento fueron los operadores del equipo topográfico, donde en algunos casos un operador realizó dos mediciones por punto con el fin de estar seguro de su medición. Se realizó el promedio de las mediciones de cada punto para determinar el valor final de las mismas. Las fotografías de los valores obtenidos de la estación total se encuentran en el Anexo I – Figura I1 y Anexo I – Figura I2

5.2.2.1. Punto n.º 10. Como se visualiza en la Figura 28, se presentan los puntos en donde se ubicó la estación total y se realizaron las mediciones de cresta y base.

Figura 28

Puntos clave de la medición con estación total. Talud n.º 10



Nota. Digitalización en QGIS (QGIS Development Team, 2025). Edición propia.

Debido a que no se pudo tener acceso a la zona de al frente del talud, se colocó la estación total en la parte “plana” del sistema de taludes del punto n.º 8; en donde se encontró el único sector para tomar medidas de la base y cresta del talud n.º 10. Finalmente, como se comprueba en la Figura 29, se determinó que el talud n.º 10 tiene una altura igual a 39.64 metros.

Figura 29

Altura del Punto n.º 10 determinada con estación total

MEDICIONES CRESTA (m)			PROMEDIO (m)	ALTURA (m)
Luis	23.248	23.172	23.09666667	39.63766667
Patricio	22.87			
MEDICIONES BASE (m)				
Luis	-16.576		PROMEDIO (m)	
Patricio	-16.428	-16.619	-16.541	

Nota. Proceso realizado en una hoja de cálculo de Microsoft Excel. Elaboración Propia

5.2.2.2. Punto n.º 24. Como se verifica en la Figura 30, a diferencia del anterior punto, en este caso sí se pudieron realizar las mediciones al frente del punto crítico, lo que facilitó la ubicación de la estación total.

Figura 30

Puntos clave de la medición con estación total. Talud n.º 24



Nota. Digitalización en QGIS (QGIS Development Team, 2025). Edición propia.

La posición del equipo topográfico estuvo encima de la cresta del punto n.º 22. Finalmente, se determinó que el talud n.º 24 tiene una altura igual a 42.57 metros, como se observa en la Figura 31.

Figura 31

Altura del Punto n.º 24 determinada con estación total

MEDICIONES CRESTA (m)		PROMEDIO (m)	ALTURA (m)
Luis	11.536	10.848	42.5725
Patricio	10.16		
MEDICIONES BASE (m)		PROMEDIO (m)	
Luis	-31.544	-31.7245	
Patricio	-31.905		

Nota. Proceso realizado en una hoja de cálculo de Microsoft Excel. Elaboración Propia

5.3. Recálculo del LRI

Con el fin de recalcular el valor del LRI con los datos obtenidos de las dos inspecciones de campo previamente mencionadas, se realizó un nuevo procesamiento de datos en QGIS de los puntos involucrados en los dos vuelos y se aplicó la generalización de tipo de suelo descrita en 4.2.9. Se corrigieron las fichas de estos puntos y se volvió a aplicar la Ecuación 23, recordando que los pesos ponderados de las variables no cambian, pero el valor de la categorización de cada variable si lo puede hacer, esto se lo puede comprobar en el recálculo del LRI de cada punto como se muestra en la Tabla 25.

En el caso de la variable C6 “Litología”, se aplicó a todos los puntos la generalización mencionada en el apartado 4.2.9, la cual no implicó ningún cambio, dado que, como se comprueba en la sección 4.4.6, donde se presenta la categorización de esta variable, los tipos de suelo “SM, SP-SM y SW-SM” pertenecen al mismo nivel de categoría (2). Las fichas de calificación de cada punto después de las inspecciones de campo se encuentran en el Anexo J – Tabla J1.

Tabla 23

Recálculo del LRI de los puntos involucrados en la primera inspección de campo

Punto	Tipo	Coordenada X (Este)	Coordenada Y (Norte)	LRI
8	Sistema de taludes	783171.07	9993168.82	3.9003
10	Talud simple	783154.45	9993317.52	4.1378
22	Talud simple	783735.41	9993912.20	2.6982
23	Sistema de taludes	783596.12	9993873.89	3.9680
24	Talud simple	783616.47	9993975.95	4.0939
72	Talud simple	783254.88	9993249.08	2.7801

Nota. Elaboración propia

Se puede comprobar que las coordenadas de los puntos han variado mínimamente con respecto a las primeras coordenadas expuestas en el documento. Esto se debe a que, como se dibujó una nueva longitud de talud para cada punto, el punto medio de esta longitud también cambia. Justamente de este punto medio es de donde se obtienen las coordenadas.

5.4. Discusión de Resultados

En primer lugar, mediante la Tabla 26, se presentarán las fichas corregidas de los dos puntos críticos:

Tabla 24

Fichas corregidas de los puntos críticos después de las inspecciones de campo

Variable	Unidad	Pt. 10	Valor
1. Número de elementos posiblemente afectados	#	214	5
2. Distancia del elemento posiblemente afectado a la cresta del talud	m	0	5
3. Carga de la infraestructura en la cresta del talud	Ton	31770.7055	5
4. Altura del talud	m	40	3
5. Pendiente del talud	°	30.70822	4
6. Litología	SUCS	SM	2
7. Distancia del río a la base del talud	m	7.6507	4
8. Caudal del río	m ³ /s	176.7336	3
9. Longitud del talud	m	219.5199	5
10. Área de protección ecológica dentro del predio	m ²	9710.2430	3
Calificación Final (LRI)			4.1378

Variable	Unidad	Pt. 24	Valor
1. Número de elementos posiblemente afectados	#	233	5
2. Distancia del elemento posiblemente afectado a la cresta del talud	m	0	5
3. Carga de la infraestructura en cresta del talud	Ton	33113.0094	5
4. Altura del talud	m	42	3
5. Pendiente del talud	°	34.7478	4
6. Litología	SUCS	SM	2
7. Distancia del río a la base del talud	m	8.2936	4
8. Caudal del río	m ³ /s	183.9469	3
9. Longitud del talud	m	145.9356	4
10. Área de protección ecológica dentro del predio	m ²	6818.3766	3
Calificación Final (LRI)			4.0939

Nota. Elaboración propia

Para el cálculo de la altura en el procesamiento de datos de QGIS, se utilizó la diferencia de elevación entre el punto de la cresta y el punto de la base. En el caso del punto n.º 10 dio una altura igual a 40 metros, que si lo compara con la medición de la estación total (39.64 metros), se entrega un error relativo igual a 0.9 %, lo cual es aceptable. El punto n.º 24 tuvo una altura igual a 42 metros, y si se realiza la comparación con la medición de la estación total (42.57 metros), arroja un error relativo igual a 1.36 %, el cual reiteradamente es un valor aceptable.

Los dos puntos tuvieron un mismo cambio que fue el cálculo de la variable “Distancia del río a la base del talud”, donde en los dos casos bajó considerablemente esta distancia, generando

que entre en el valor igual a 4 de su categorización (previamente los dos puntos estaban en el valor igual a 3 de la categorización). Pero el cambio que fue determinante sería la variable “Longitud del talud”, dado que en el caso del punto n.º 10 se extendió considerablemente su trazado en QGIS, mientras que el punto n.º 24 no tuvo un cambio que haga aumentar su valor de categorización en esta variable.

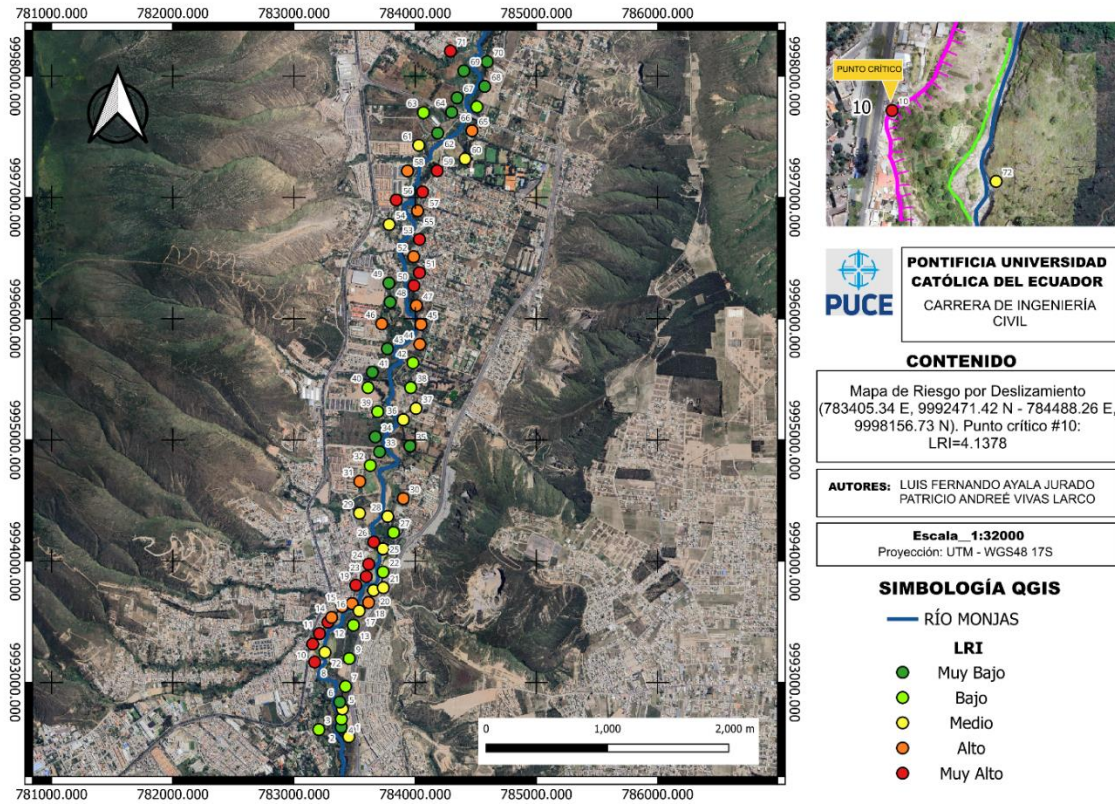
Finalmente, después de todo el procesamiento de datos en QGIS, el análisis AHP y la verificación mediante la inspección en campo, se determinó que el punto n.º 10 con coordenadas (783154.45 E, 9993317.52 N) es el punto con el valor máximo de LRI (Índice de Riesgo por Deslizamiento) en el tramo de análisis. El valor de LRI calculado fue igual a 4.1378.

5.5. Mapa de Riesgo por Deslizamiento

Una vez obtenidos los resultados finales del LRI de cada punto, se realizó un mapa en QGIS utilizando la simbología “graduado”, que representa el nivel de riesgo por deslizamiento de cada punto mediante cinco categorías: muy bajo, bajo, medio, alto y muy alto. La desviación estándar del conjunto de 72 datos fue igual a 0.5657 (valor automático calculado por QGIS). El mapa se lo puede observar en la Figura 32.

Figura 32

Mapa de Riesgo por deslizamiento del tramo analizado.



Símbolo	Valores	Leyenda
✓ ●	1.8871 - 2.4787	1.89 - 2.48
✓ ●	2.4787 - 2.7416	2.48 - 2.74
✓ ●	2.7416 - 3.0512	2.74 - 3.05
✓ ●	3.0512 - 3.4770	3.05 - 3.48
✓ ●	3.4770 - 4.1378	3.48 - 4.14

Nota. Procesamiento y digitalización en QGIS (QGIS Development Team, 2025). Edición propia.

CAPÍTULO VI

6. Conclusiones y Recomendaciones

6.1. Conclusiones

- Se concluye que la metodología híbrida propuesta (SIG + AHP) es una herramienta efectiva para zonificar y reconocer, a gran escala. Es ideal para evaluar extensiones lineales de gran importancia en las que no sería factible realizar estudios geotécnicos individuales por motivos técnicos o económicos. El modelo posibilitó la identificación de puntos críticos concretos (n.º 10 y n.º 24), pero su principal valor técnico es que es capaz de detectar patrones de concentración del riesgo, además de la evaluación individualizada de cada talud. El Mapa de Riesgo por Deslizamiento resultante exhibe "zonas calientes" donde se concentran taludes con un LRI elevado; esta es una de las funcionalidades que ofrece la metodología
- El procedimiento de Jerarquía Analítica (AHP) resultó ser una herramienta sólida para estimar el riesgo por deslizamiento de taludes alrededor del Río Monjas. La matriz de juicios de expertos logró una Razón de Consistencia (CR) del 0.613%, cifra que está por debajo del umbral máximo permitido, el 10%. Esto valida, desde un punto de vista matemático, la coherencia lógica en cuanto a la ponderación de las diez variables estudiadas y demuestra que los pesos otorgados no fueron aleatorios.
- Se concluye que la transición de un método basado en fuentes secundarias a uno apoyado en datos primarios obtenidos en el laboratorio disminuyó considerablemente la incertidumbre del modelo AHP. La generalización del suelo SM para 69 de los 72 taludes no es una conjetura, sino que se trata de una inferencia técnica fundamentada en la

uniformidad de las acumulaciones volcánicas y confirmada por la elevada coincidencia experimental (12 de 13 muestras). Esto proporciona al Mapa de Riesgo resultante una confiabilidad técnica más alta para la toma de decisiones a nivel municipal.

- Se logró unificar la caracterización litológica del tramo mediante una campaña de exploración directa en 13 puntos estratégicos. Esta investigación, a través de ensayos ASTM y validación externa, estableció de manera definitiva que el suelo imperante es No Plástico (NP), mientras que investigaciones previas mostraban discrepancias entre las conclusiones textuales y los datos granulométricos. Este hallazgo es fundamental porque altera el comportamiento mecánico de la zona, asumiéndola solo como friable, lo que descarta la probabilidad de comportamientos plásticos que podrían generar errores en el diseño de obras de estabilización.
- Fue fundamental incorporar levantamientos aerofotogramétricos (Dron) y Estación Total para enmendar las inexactitudes de los modelos satelitales globales. Esta etapa hizo posible detectar el punto n.º 22 como un área de falla activa inminente, que los datos satelitales no reflejaban adecuadamente. También modificó la altura del punto n.º 24, pasando de 32 metros calculados a 42 metros reales y del punto n.º 10, pasando de 35 metros calculados a 40 metros reales. Se llega a la conclusión de que, en topografías tan erosionadas y dinámicas como la del Río Monjas, el riesgo se subestima si solo se hace uso de información secundaria (DEMs globales).
- El análisis vectorial de prioridades (Eigenvector) reveló que el riesgo no se restringe solo a lo geológico. Las dos variables más significativas fueron la “carga de la infraestructura en la cresta del talud” (19.5%) y el “número de elementos posiblemente afectados” (19.7%). Esto conlleva a la conclusión de que la inestabilidad en el Río Monjas es un

suceso que ha sido fuertemente inducido, en el que el peso de las construcciones informales funciona como un factor crítico sobre la inestabilidad de taludes.

- La variable "Distancia del río a la base del talud" tuvo un papel determinante en la reclasificación del riesgo final. En los puntos críticos, se observó que la distancia ronda los 8 metros, lo cual pone el pie del talud en una situación de socavación lateral directa y constante. Se determina que, sin importar la resistencia del terreno en la cresta, el mecanismo desencadenante mayoritario de los movimientos de masa en la zona es la pérdida de confinamiento basal provocada por la acción hidráulica fluvial.
- Los taludes que corresponden a los puntos n.º 10 y n.º 24 se identificaron como los que tienen el mayor riesgo en el tramo de 7.144 km estudiado. Después del recálculo mediante las inspecciones de campo, el punto n.º 10 tuvo el LRI más alto del análisis (4.1378), seguido por el punto n.º 24 (LRI 4.0939). Estos puntos tienen en común una simultaneidad de riesgo en los diferentes criterios analizados: alturas iguales o por encima de 40 metros, cargas estáticas excesivas debido a la urbanización en la cresta y una litología conformada por arenas limosas (SM).

6.2. Recomendaciones

- Se aconseja a las autoridades pertinentes (EPMAPS y el Municipio de Quito) llevar a cabo inmediatamente una evaluación estructural en las viviendas que están ubicadas sobre la cresta de los puntos n.º 10 y 24, así como determinar si es necesario desalojar preventivamente. Se recomienda llevar a cabo obras de estabilización de emergencia, que no solamente protejan la base de la socavación, sino que también contemplen el aligeramiento de las cargas en el borde superior del talud, dado que el nivel de riesgo es "Muy Alto", especialmente en el punto n.º 10, identificado como el más crítico del tramo analizado.
- Se recomienda diseñar y construir defensas ribereñas (por ejemplo, muros de gaviones) en las secciones donde la distancia entre el río y el talud sea menor a 15 metros (categorías 4 y 5 del estudio), teniendo en cuenta que la erosión basal es un factor identificable. La meta es desplazar la línea de flujo principal lejos del pie del talud con el fin de frenar la pérdida de soporte lateral.
- Se sugiere que se actualice y aplique de manera estricta la normativa sobre retiros de borde de quebrada, tomando como base el impactante efecto que tiene la variable "Carga de la infraestructura en la cresta del talud". Considerando que la investigación indica que el LRI se eleva exponencialmente con el aumento de la carga estática, es esencial que no se lleven a cabo nuevas construcciones ni expansiones de las viviendas ya existentes en la franja de protección. Se destaca que el crecimiento urbano informal es el factor fundamental del riesgo en esa área. Además, se aconseja crear un plan de gestión de riesgos integral para el tramo, que contenga zonificación detallada y planes alternativos para situaciones de emergencia.

- Se recomienda encarecidamente realizar una campaña de exploración geotécnica detallada (calicatas, SPT o ensayos triaxiales), distribuida estratégicamente a lo largo de los 7.144 km del tramo, antes de planificar cualquier obra de mitigación o en etapas posteriores del estudio. La intención es sustituir el modelo litológico general por otro que defina de forma particular cada área; esto hará posible modificar la variable "Litología" en el modelo AHP y encontrar disparidades a nivel local. Asimismo, se recomienda implementar un sistema de monitoreo geotécnico mediante inclinómetros, piezómetros o monitoreo GNSS en los puntos críticos para vigilar deformaciones en tiempo real.
- Como el modelo presente del cálculo de la carga encima de la cresta del talud se fundamenta en métodos estadísticos, es aconsejable llevar a cabo un censo de carga exhaustivo ("exacto al 100%"), indispensablemente en los puntos que han sido catalogadas como de "Muy Alto" Riesgo (Puntos n.º 10 y n.º 24). Este estudio enfocado necesita reemplazar el cálculo por pisos empleado en el modelo AHP con un análisis real de cargas, teniendo en cuenta la antigüedad de la estructura, el tipo de mampostería y el área precisa de implementación. Esta información es fundamental para futuros estudios deterministas de estabilidad (cálculo del factor de seguridad mediante modelación por elementos finitos o equilibrio límite en softwares como PLAXIS o GeoStudio), en los cuales la carga ejerce una fuerza que desestabiliza directamente al talud.
- Como el proceso de erosión fluvial en la cuenca es extremadamente dinámico y cambia la forma de los taludes en breves periodos de tiempo, se aconseja llevar a cabo campañas anuales de topografía precisa.

- Se recomienda utilizar la misma metodología híbrida (AHP + SIG + Validación de Campo) en los otros dos segmentos del Río Monjas, verificando el éxito del segmento de 7.144 km. El propósito es elaborar un "Mapa Integral de Riesgo" unificado para toda la cuenca. Además, se recomienda implementar este modelo en otros proyectos de valoración de riesgos en laderas urbanas que presenten características similares. No obstante, es esencial determinar que la validación a través de inspección en campo (ya sea con fotogrametría por medio de drones o estación total) es un elemento indispensable y crucial de esta metodología. La investigación actual (en particular en la revisión de los puntos n.º 10, n.º 22 y n.º 24) se demostró que el uso exclusivo de modelos digitales globales o datos satelitales puede llevar a errores importantes al calcular la altura y pendiente reales. Por lo tanto, para asegurar la confiabilidad técnica en proyectos futuros, es imprescindible que el modelado digital esté siempre sujeto a una verificación rigurosa en campo.
- Se sugiere estandarizar esta metodología AHP como un protocolo técnico reproducible a nivel municipal para la evaluación sistemática de taludes urbanos.

7. Referencias Bibliográficas

- Agisoft LLC. (2018). *Agisoft PhotoScan Pro* (Versión 1.4.5) [Software de fotogrametría].
<http://www.agisoft.com>
- Aguirre Paladines, M. A. (2023). *Evaluación temporal de movimientos en masa asociados a la actividad fluvial del Río Monjas* [Tesis de pregrado, Escuela Politécnica Nacional].
Repositorio Digital EPN. <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/24881>
- Altamirano Tigrero, M. A. (2022). *Evolución geomorfológica fluvial reciente en ríos tropicales andinos del Ecuador: Evolución geomorfológica y fluvial de la quebrada El QEC (Río Monjas), a partir del crecimiento de la mancha urbana* [Tesis de ingeniería, Escuela Politécnica Nacional]. <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/23381>
- Applicativity. (2023). *Mobile Topographer* (Versión 10.5.1) [Aplicación móvil]. Google Play Store.
https://play.google.com/store/apps/details?id=com.applicativity.mobiletopographer&hl=es_EC
- Asamblea Nacional del Ecuador. (2024). Ley Orgánica para la Gestión Integral del Riesgo de Desastres. *Registro Oficial Suplemento 488*.
- ASTM International. (2017). Standard Test Methods for Determining the Amount of Material Finer than 75- μm (No. 200) Sieve in Soils by Washing (ASTM D1140-17).
<https://doi.org/10.1520/D1140-17>
- ASTM International. (2019). Standard Test Methods for Laboratory Determination of Water (Moisture) Content of Soil and Rock by Mass (ASTM D2216-19).
<https://doi.org/10.1520/D2216-19>

- ASTM International. (2017). Standard Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System) (ASTM D2487-17).
<https://doi.org/10.1520/D2487-17>
- ASTM International. (2009). Standard Practice for Description and Identification of Soils (Visual-Manual Procedure) (ASTM D2488-09a). <https://doi.org/10.1520/D2488-09A>
- ASTM International. (2000). Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils (ASTM D4318-00). <https://doi.org/10.1520/D4318-00>
- ASTM International. (2017). Standard Test Methods for Particle-Size Distribution (Gradation) of Soils Using Sieve Analysis (ASTM D6913/D6913M-17).
https://doi.org/10.1520/D6913_D6913M-17
- Cargua, C., Espin, R., Valencia, B., Simbaña, M., Araujo, S., Cornejo, C., & 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>
- Castellanos Orjuela, B. A., González Vargas, K., & Monroy Chacón, S. P. (2021). Análisis de la estabilidad del talud ubicado en kilómetro 7,4 vía Tamarindo Salado, Ibagué – Tolima [Tesis de pregrado, Universidad Cooperativa de Colombia]. Repositorio Institucional UCC. <https://repository.ucc.edu.co/entities/publication/b2086dfe-1753-43da-be33-b75787355f1b>
- Cedergren, H. R. (1989). Seepage, drainage, and flow nets (3.^a ed.). John Wiley & Sons.
- Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres. (2014). *Manual para la Evaluación de Riesgos Originados por Fenómenos Naturales* (2.^a

- versión). https://www.cenepred.gob.pe/web/wp-content/uploads/Guia_Manuales/Manual-Evaluacion-de-Riesgos_v2.pdf
- Cochran, W. G. (1977). *Sampling techniques* (3rd ed.). John Wiley & Sons.
- Colomina, I., & Molina, P. (2014). Unmanned aerial systems for photogrammetry and remote sensing: A review. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 92, 79–97.
- Cruden, D. M., & Varnes, D. J. (1996). Landslide types and processes. En A. K. Turner & R. L. Schuster (Eds.), *Landslides: Investigation and Mitigation* (pp. 36–75). National Academy Press. <https://onlinepubs.trb.org/Onlinepubs/sr/sr247/sr247-003.pdf>
- Das, B. M., & Sobhan, K. (2018). *Principles of geotechnical engineering* (9th ed.). Cengage Learning.
- Drones Made Easy. (2020). *Map Pilot for DJI* (Versión 4.1) [Software de aplicación móvil]. <https://dronesmadeeasy.com/>
- Eisenbeiss, H. (2009). *UAV Photogrammetry* [Tesis doctoral, ETH Zurich].
- El Comercio. (2018, noviembre 10). Los taludes del río Monjas registran una mayor erosión. *El Comercio*. <https://www.elcomercio.com/actualidad/quito/taludes-rio-monjas-erosion-quito/>
- GDAL/OGR Contributors. (2024). *GDAL/OGR Geospatial Data Abstraction Software Library* [Software]. Open Source Geospatial Foundation. <https://gdal.org>
- Google Research. (2023). *Open Buildings V3* [Conjunto de datos geoespaciales]. <https://sites.research.google/open-buildings/>
- Guzzetti, F., Mondini, A. C., Cardinali, M., Fiorucci, F., Santangelo, M., & Chang, K. T. (2012). Landslide inventory maps: New tools for an old problem. *Earth-Science Reviews*, 112, 42–66. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2012.02.001>

- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, M. P. (2014). *Metodología de la investigación* (6.ª ed.). McGraw-Hill Education.
- Mergin Maps. (s.f.). *Mergin Maps* (Versión móvil) [Aplicación móvil]. <https://merginmaps.com/>
- Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda. (2015). *Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC-SE-CG): Cargas no sísmicas*. <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/documentos-normativos-nec-norma-ecuatoriana-de-la-construccion/>
- Monteiro, J. S., Padilha, D. G., & 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>
- Montgomery, D. C., & Runger, G. C. (2002). *Probabilidad y estadística aplicadas a la ingeniería* (2.ª ed.). Limusa Wiley.
- Municipio del Distrito Metropolitano de Quito. (2024). *Código Municipal para el Distrito Metropolitano de Quito: Ordenanza Metropolitana No. 072-2024*.
https://www.gob.ec/sites/default/files/regulations/2024-11/CODIGO_MUNICIPAL_ORDE072-2024_pag_1-300.pdf
- Municipio del Distrito Metropolitano de Quito. (2019). Anexo 6: Identificación de actores o involucrados en el manejo del riesgo. En *Diagnóstico de la situación de riesgo cuenca Río Monjas*.
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%20Identificaci%C3%B3n%20de%20Actores/Anexo%206..pdf

- Municipio del Distrito Metropolitano de Quito. (2024). *GeoQuito: Visor Geográfico de Catastro* [Conjunto de datos geoespaciales].
<https://geoquito.quito.gob.ec/portal/apps/webappviewer/index.html?id=4a554c6f046349ea84929f6ebb99d514>
- Olaya, V. (2020). *Sistemas de Información Geográfica*. CreateSpace.
- Ortega Criollo, R. D., & Quishpe Coyago, J. W. (2025). Breve estudio geotécnico del talud de coordenadas (783998.71 E, 9996547.08N) en el barrio La Pampa, Pomasqui, Ecuador [Trabajo de integración curricular inédito]. Pontificia Universidad Católica del Ecuador.
- Otzen, T., & Manterola, C. (2017). Técnicas de muestreo sobre una población a estudio. *International Journal of Morphology*, 35(1), 227–232.
- QGIS Development Team. (2025). *QGIS Geographic Information System* (Versión 3.44 “Solothurn”) [Software]. Open Source Geospatial Foundation. <https://qgis.org>
- Rivera, M. (2016). *Consultoría para la elaboración del plan de gestión integral de riesgos de la cuenca del río Monjas*. Secretaría General de Seguridad y Gobernabilidad del Municipio Metropolitano de Quito.
- Ruiz González, J. A. (2022). *Proyecto de estabilización del talud en el sector Santa Ana abscisa (0+060 a 0+100), mediante el diseño de una pantalla atirantada con análisis tridimensional y cargas sísmicas* [Tesis de pregrado, Universidad Politécnica Salesiana].
<https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/22312>
- Saaty, T. L. (1990). 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)
- Saaty, T. L., & Vargas, L. G. (2012). *Models, Methods, Concepts & Applications of the Analytic Hierarchy Process* (2nd ed.). Springer. <https://doi.org/10.1007/978-1-4614-3597-6>

Secretaría General de Seguridad y Gobernabilidad. (2021). *Cuenca del Río Monjas:*

Problemática y acciones (Resoluciones C066-2019 y AQ-009-2021). Municipio del Distrito Metropolitano de Quito.

https://www7.quito.gob.ec/mdmq_ordenanzas/Administraci%C3%B3n%202019-2023/Sesiones%20de%20Concejo/2021/Sesi%C3%B3n%20194%20Ordinaria%202021-12-21/IV.%20Presentaci%C3%B3n%20SGSG-%20Río%20Monjas/presentaci%C3%B3n_sgs - cuenca_r%C3%ADo_monjas.pdf

Servicio Nacional de Gestión de Riesgos y Emergencias. (2020). *Glosario de términos asociado a la gestión del riesgo de desastres.* SNGRE.

Servicio Nacional de Gestión de Riesgos y Emergencias. (2020). *Informe de Situación – Eventos peligrosos, Río Monjas (28 octubre 2020).* <https://www.gestionderiesgos.gob.ec/wp-content/uploads/2021/08/Informe-de-Situacion-No-01-Eventos-Monjas-29102020.pdf>

Servicio Nacional de Gestión de Riesgos y Emergencias. (2020). *Informe de Situación No. 02 – Eventos peligrosos, Río Monjas (27 noviembre 2020).*

Suárez Díaz, J. (1998). *Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales.* Ingeniería de Suelos Ltda.

Terzaghi, K., Peck, R. B., & Mesri, G. (1996). *Soil mechanics in engineering practice* (3rd ed.). John Wiley & Sons.

Triola, M. F. (2018). *Estadística* (12.^a ed.). Pearson Educación.

Villagómez, D. (2003). *Evolución Plio–Cuaternaria del Valle Interandino Central en Ecuador* [Tesis de ingeniería, Escuela Politécnica Nacional].

Anexo A

Pruebas fotográficas de distintas situaciones en los taludes de análisis

Figura A1

Patio de autos “URGENTITO” localizado encima de la cresta del Talud n.º8



Nota. Elaboración Propia

Figura A2

Tubería informal expuesta a lo largo del Talud n.º 24



Nota. Elaboración Propia

Figura A3

Relleno arrojado en la parte “plana” del sistema de taludes n.º 8



Nota. Elaboración Propia

Figura A4

Situación crítica del Talud n.º 22, cercano a la Av. Simón Bolívar



Nota. Elaboración Propia

Anexo B

Procedimiento para el cálculo de carga viva, carga muerta y carga total, siguiendo la normativa NEC-SE-CG, 2015

Figura B1

Cálculo de carga viva, carga muerta y carga total

Vigas Total						
ELEMENTO	ÁREA SEC. TRANSV (m²)	LONGITUD (m/m²)	VOLUMEN (m³/m2)	Peso Especifico (kN/m³)	Ton/m³	Carga (Ton/m²)
Vigas: 0.2 m x 0.4 m	0.08	1.2	0.096	24	2.447	0.234943488
Vigas de amarre: 0.2 m x 0.2 m	0.04	1.33	0.0532	24	2.447	0.13019785
						0.365141338
Columnas Total						
ELEMENTO	VOLUMEN (m³/u)	CANTIDAD	ÁREA POR PISO m²	Peso Especifico (kN/m³)	Ton/m³	Carga (Ton/m²)
Columnas : 0.4 m x 0.3 m	0.35	9	94.711	24	2.4473	0.081395859
Columnetas: 0.15 m x 0.15 m	0.05625	4	94.711	24	2.4473	0.00581399
						0.087209849
Losa + Bovedillas						
ELEMENTO	VOLUMEN (m³/u)	CANTIDAD por m²	VOLUMEN (m³/m²)	Peso Especifico (kN/m³)	Ton/m³	Carga (Ton/m²)
Losa (1 m x 1 m x 0.18 m)	0.18	1	0.1176	24	2.447328	0.287805773
Bovedilla (0.2 m x 0.6 m x 0.13 m)	0.0156	4	0.0192	8.5	0.866762	0.01664183
Vacio de bovedilla (0.18 m x 0.1 m x 0.2 m)	0.0036	12	0.0432			

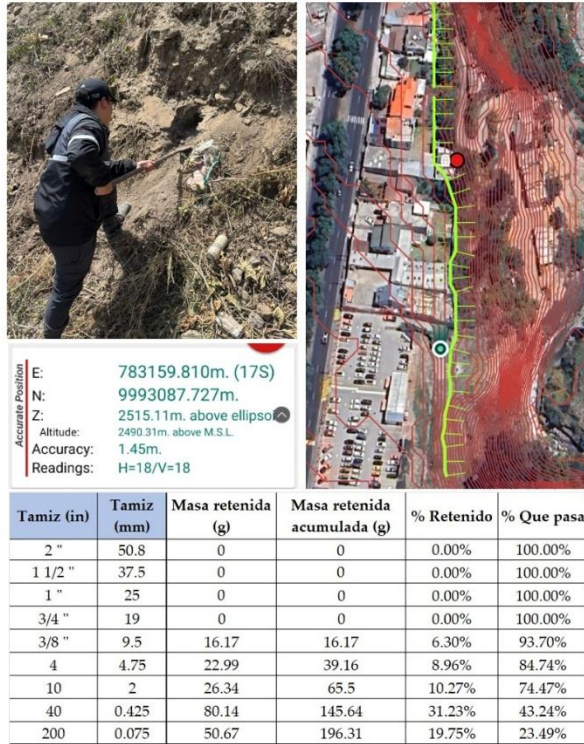
CARGA MUERTA		
Vigas	0.365141338	Ton/m²
Losas	0.287805773	Ton/m²
Bovedillas	0.01664183	Ton/m²
Columnas	0.087209849	Ton/m²
Total	0.75679879	Ton/m²
CARGA VIVA		
Viviendas	0.203944	Ton/m²
Total:	0.96074279	Ton/m²
1.4D	1.059518306	Ton/m²
1.2D+1.6L	1.234468948	Ton/m²

Nota. Elaboración propia a partir de cálculos realizados en Excel. Conversión de unidades empleada: 1 kilonewton = 0.101972 Toneladas

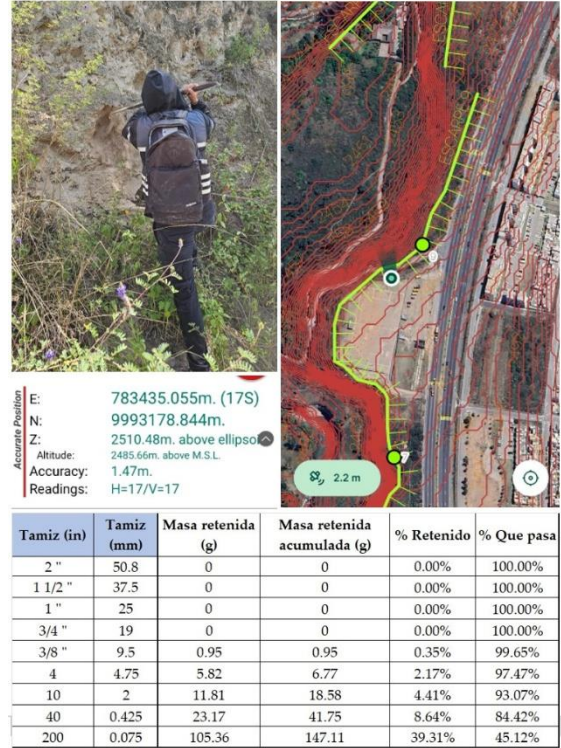
Anexo C

Cuadros del proceso de la segunda inspección de campo de cada punto

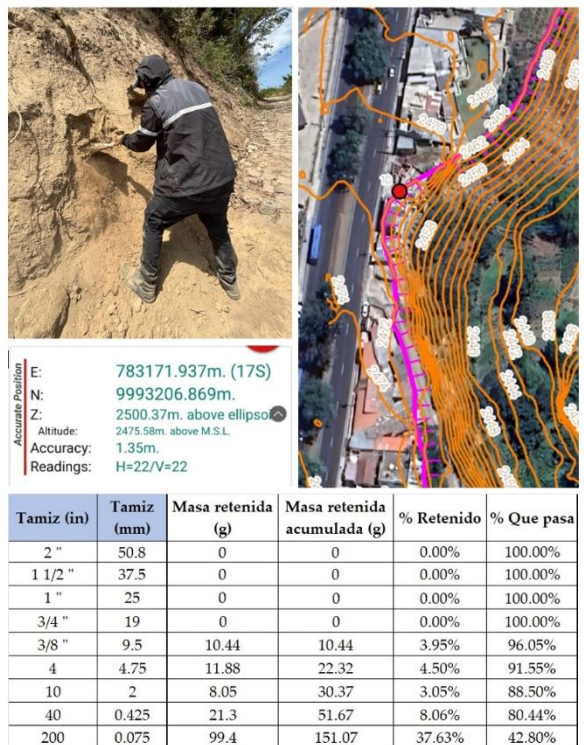
Punto 8



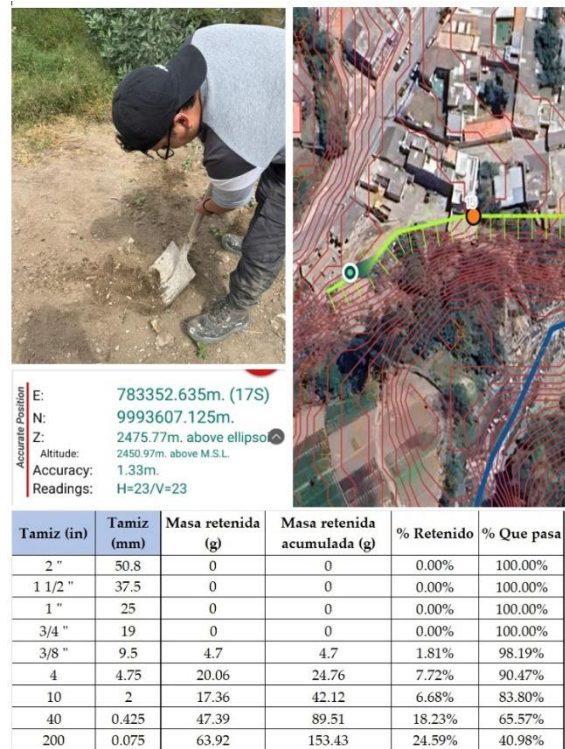
Punto 9



Punto 10



Punto 15



Punto 22



Accurate Position
 E: 783741.412m. (17S)
 N: 9993816.336m.
 Z: 2486.48m. above ellipsoid
 Altitude: 2461.67m. above M.S.L.
 Accuracy: 0.97m.
 Readings: H=59/V=59

Tamiz (in)	Tamiz (mm)	Masa retenida (g)	Masa retenida acumulada (g)	% Retenido	% Que pasa
2 "	50.8	0	0	0.00%	100.00%
1 1/2 "	37.5	0	0	0.00%	100.00%
1 "	25	0	0	0.00%	100.00%
3/4 "	19	0	0	0.00%	100.00%
3/8 "	9.5	6.4	6.4	2.61%	97.39%
4	4.75	10.57	16.97	4.30%	93.09%
10	2	26.01	42.98	10.59%	82.50%
40	0.425	65.84	108.82	26.81%	55.69%
200	0.075	81.22	190.04	33.07%	22.63%

Punto 31



Accurate Position
 E: 783557.876m. (17S)
 N: 9994674.291m.
 Z: 2445.76m. above ellipsoid
 Altitude: 2420.98m. above M.S.L.
 Accuracy: 1.22m.
 Readings: H=30/V=30

Tamiz (in)	Tamiz (mm)	Masa retenida (g)	Masa retenida acumulada (g)	% Retenido	% Que pasa
2 "	50.8	0	0	0.00%	100.00%
1 1/2 "	37.5	0	0	0.00%	100.00%
1 "	25	0	0	0.00%	100.00%
3/4 "	19	0	0	0.00%	100.00%
3/8 "	9.5	0	0	0.00%	100.00%
4	4.75	9.59	9.59	3.54%	96.46%
10	2	27.7	37.29	10.24%	86.22%
40	0.425	94.88	132.17	35.06%	51.16%
200	0.075	78.67	210.84	29.07%	22.09%

Punto 37



Accurate Position
 E: 784016.961m. (17S)
 N: 9995302.788m.
 Z: 2448.51m. above ellipsoid
 Altitude: 2423.72m. above M.S.L.
 Accuracy: 1.37m.
 Readings: H=21/V=21

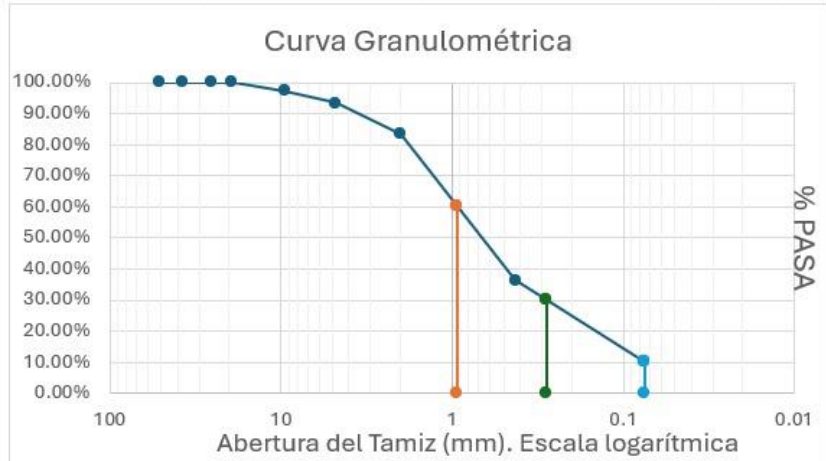
Tamiz (in)	Tamiz (mm)	Masa retenida (g)	Masa retenida acumulada (g)	% Retenido	% Que pasa
2 "	50.8	0	0	0.00%	100.00%
1 1/2 "	37.5	0	0	0.00%	100.00%
1 "	25	0	0	0.00%	100.00%
3/4 "	19	0	0	0.00%	100.00%
3/8 "	9.5	0	0	0.00%	100.00%
4	4.75	2.89	2.89	1.10%	98.90%
10	2	9.5	12.39	3.62%	95.28%
40	0.425	33.36	45.75	12.70%	82.59%
200	0.075	86.25	132	32.82%	49.76%

Punto 41. $D_{60} = 0.92696$, $D_{30} = 0.27924$ y $D_{10} = 0.074933$.

$C_u = 12.37$ y $C_c = 1.12$



Tamiz (in)	Tamiz (mm)	Masa retenida (g)	Masa retenida acumulada (g)	% Retenido	% Que pasa
2 "	50.8	0	0	0.00%	100.00%
1 1/2 "	37.5	0	0	0.00%	100.00%
1 "	25	0	0	0.00%	100.00%
3/4 "	19	0	0	0.00%	100.00%
3/8 "	9.5	7.36	7.36	2.77%	97.23%
4	4.75	10.35	17.71	3.89%	93.34%
10	2	26.71	44.42	10.05%	83.29%
40	0.425	124.65	169.07	46.90%	36.39%
200	0.075	70.09	239.16	26.37%	10.01%



Punto 42



Accurate Position
 E: 783954.643m. (17S)
 N: 9995678.103m.
 Z: 2444.49m. above ellipso
 Altitude: 2419.72m. above M.S.L.
 Accuracy: 2.22m.
 Readings: H=5/V=5

Tamiz (in)	Tamiz (mm)	Masa retenida (g)	Masa retenida acumulada (g)	% Retenido	% Que pasa
2 "	50.8	0	0	0.00%	100.00%
1 1/2 "	37.5	0	0	0.00%	100.00%
1 "	25	0	0	0.00%	100.00%
3/4 "	19	0	0	0.00%	100.00%
3/8 "	9.5	6.18	6.18	2.36%	97.64%
4	4.75	13.93	20.11	5.33%	92.30%
10	2	17.97	38.08	6.88%	85.43%
40	0.425	42.08	80.16	16.10%	69.32%
200	0.075	72.61	152.77	27.79%	41.54%

Punto 44-45



Accurate Position
 E: 784069.917m. (17S)
 N: 9995894.360m.
 Z: 2447.92m. above ellipso
 Altitude: 2423.14m. above M.S.L.
 Accuracy: 1.22m.
 Readings: H=30/V=30

Tamiz (in)	Tamiz (mm)	Masa retenida (g)	Masa retenida acumulada (g)	% Retenido	% Que pasa
2 "	50.8	0	0	0.00%	100.00%
1 1/2 "	37.5	0	0	0.00%	100.00%
1 "	25	0	0	0.00%	100.00%
3/4 "	19	0	0	0.00%	100.00%
3/8 "	9.5	12.36	12.36	4.81%	95.19%
4	4.75	12.09	24.45	4.71%	90.48%
10	2	16.24	40.69	6.33%	84.15%
40	0.425	36.33	77.02	14.15%	70.00%
200	0.075	73.22	150.24	28.52%	41.48%

Punto 57



Accurate Position
 E: 784049.735m. (17S)
 N: 9997025.825m.
 Z: 2431.16m. above ellipso
 Altitude: 2406.41m. above M.S.L.
 Accuracy: 2.39m.
 Readings: H=4/V=4

Tamiz (in)	Tamiz (mm)	Masa retenida (g)	Masa retenida acumulada (g)	% Retenido	% Que pasa
2 "	50.8	0	0	0.00%	100.00%
1 1/2 "	37.5	0	0	0.00%	100.00%
1 "	25	0	0	0.00%	100.00%
3/4 "	19	0	0	0.00%	100.00%
3/8 "	9.5	33.9	33.9	11.29%	88.71%
4	4.75	27.22	61.12	9.07%	79.64%
10	2	25.42	86.54	8.47%	71.17%
40	0.425	56.52	143.06	18.83%	52.35%
200	0.075	95.1	238.16	31.68%	20.67%

Punto 59



Accurate Position
 E: 784220.010m. (17S)
 N: 9997333.155m.
 Z: 2392.77m. above ellipso
 Altitude: 2368.02m. above M.S.L.
 Accuracy: 3.79m.
 Readings: H=1/V=1

Tamiz (in)	Tamiz (mm)	Masa retenida (g)	Masa retenida acumulada (g)	% Retenido	% Que pasa
2 "	50.8	0	0	0.00%	100.00%
1 1/2 "	37.5	0	0	0.00%	100.00%
1 "	25	0	0	0.00%	100.00%
3/4 "	19	0	0	0.00%	100.00%
3/8 "	9.5	2.51	2.51	0.93%	99.07%
4	4.75	7.57	10.08	2.80%	96.27%
10	2	17.04	27.12	6.31%	89.96%
40	0.425	74.5	101.62	27.58%	62.38%
200	0.075	93.06	194.68	34.45%	27.92%

Punto 61



Tamiz (in)	Tamiz (mm)	Masa retenida (g)	Masa retenida acumulada (g)	% Retenido	% Que pasa
2 "	50.8	0	0	0.00%	100.00%
1 1/2 "	37.5	0	0	0.00%	100.00%
1 "	25	0	0	0.00%	100.00%
3/4 "	19	0	0	0.00%	100.00%
3/8 "	9.5	0	0	0.00%	100.00%
4	4.75	2.07	2.07	0.91%	99.09%
10	2	6.03	8.1	2.66%	96.43%
40	0.425	48.2	56.3	21.24%	75.19%
200	0.075	90.75	147.05	39.99%	35.21%

Nota. Elaboración Propia

Anexo D

Tabla de porcentajes de porcentajes de humedad de las 13 muestras analizadas en laboratorio

Tabla D1

Porcentajes de humedad (contenido de agua) de las 13 muestras obtenidas

Punto	Cápsula	Peso Cápsula (g)	P.C + Suelo Húmedo (g)	P.C + Suelo seco (g)	%W	Dif W	%W Prom
31	CR7	32.68	219.66	208.03	6.63	0.26	6.50
	K1A	22.36	209.31	198.11	6.37		
10	PV03	49.87	230.74	223.18	4.36	0.25	4.49
	7.00	22.88	226.52	217.54	4.61		
8	M574	33.50	234.66	228.24	3.30	0.08	3.26
	T5	33.66	234.45	228.19	3.22		
15	PI	22.90	219.96	208.23	6.33	0.04	6.35
	N4	22.87	219.90	208.10	6.37		
9	J2	32.21	223.15	216.43	3.65	0.10	3.60
	PV2	22.62	233.33	226.11	3.55		
41	14.00	22.59	191.92	186.94	3.03	0.06	3.06
	11.00	22.87	191.21	186.16	3.09		
44-45	PV3	33.79	198.91	192.16	4.26	0.10	4.31
	L12	22.66	197.11	189.82	4.36		
37	PV2	22.62	164.89	160.56	3.14	0.16	3.22
	LOLA	32.97	173.44	168.96	3.29		
57	L25	22.64	178.04	176.57	0.95	0.07	0.92
	2B	23.58	186.01	184.59	0.88		
59	A200	44.90	186.92	185.07	1.32	0.32	1.48
	Z33	43.62	187.98	185.65	1.64		
42	T6	29.70	148.62	142.92	5.03	0.70	5.38
	T1	25.66	150.19	143.44	5.73		
61	XYZ	31.32	169.63	162.80	5.19	0.20	5.09
	JD1	32.12	159.30	153.25	4.99		
22	M1	49.03	220.88	214.66	3.76	0.11	3.70
	PT	47.28	218.13	212.12	3.65		

Nota. Elaboración Propia

Anexo E

Pruebas fotográficas de los estudiantes en el laboratorio realizando los ensayos ASTM

Figura E1

Autores realizando el tamizado por lavado



Nota. Elaboración Propia

Figura E2

Autores realizando el ensayo para determinar el Límite Líquido sin éxito



Nota. Elaboración Propia

Figura E3

Autores realizando el ensayo para determinar el Límite Plástico sin éxito



Nota. Elaboración Propia

Figura E4

Asistencia técnica del personal del Laboratorio de Materiales de Construcción de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador (PUCE) en los ensayos para determinar el Límite Líquido y Límite Plástico de las muestras. No se tuvo éxito en la realización de los ensayos.




Nota. Elaboración Propia


Anexo F

Reportes del Laboratorio de Materiales de Construcción de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador (PUCE)

Punto 10




ANIVERSARIO 79
Jubiloo hacia los 80 años



PUCE
Pontificia Universidad Católica del Ecuador

LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN



LABORATORIO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN
PUCE

"Solidarios en la construcción, excelencia en la calidad"

AREA DE MECÁNICA DE SUELOS Y GEOTECNIA
INFORME DE ENSAYO
CLASIFICACIÓN DE SUELOS PARA PROPÓSITOS DE INGENIERÍA (SUCS)

<p>PROYECTO: Proyecto de Integración Curricular Río Monjas LOCALIZACIÓN: Miraflores del Mundo MUESTRA: Tomada por el Cliente NORMA: ASTM D 2487 DESCRIPCIÓN: Punto 10 SONDEO: _____ PROFUNDIDAD: _____</p>	<p>SOLICITADO POR: Luis Ayala - Patricio Vivas FISCALIZACIÓN: _____ CONTRATISTA: _____ FECHA INGRESO: 2025-12-18 FECHA ENTREGA: 2025-12-29 ORDEN DE TRABAJO N°: 5282 S HOJA: 3 de 3</p>
--	---

1.- CONTENIDO DE HUMEDAD - Norma ASTM D 2216

Prap.	Prap. + sh.	Prap. + ss.	% Humedad	% Hum. Promed
49,87	230,74	223,18	4,36	4,49
22,88	226,52	217,54	4,61	

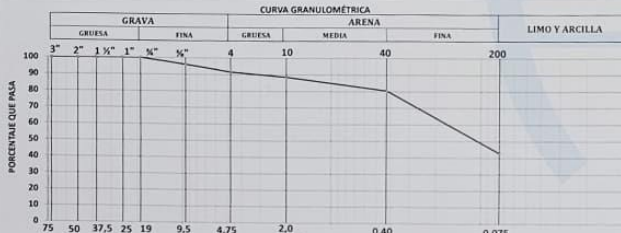
2.- LIMITE PLÁSTICO - Norma ASTM D 4318
SUELO NO PLÁSTICO

3.- LIMITE 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 RETENIDO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,95	8,45	11,50	19,56	57,20
% QUE PASA	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	96,0	91,5	88,5	80,4	42,8

CURVA GRANULOMÉTRICA




5.- RESUMEN DE RESULTADOS Y CLASIFICACIÓN

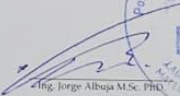
<p>HUMEDAD NATURAL (%): % Humedad: 4</p> <p>LÍMITES DE ATTERBERG: Límite Líquido, LL: NP Límite Plástico, LP: NP Índice de Plasticidad, IP: NP</p>	<p>ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO: % Grava: 8 % Arena: 49 % Finos: 43</p> <p>CONTENIDO ORGÁNICO: NO</p>
--	--

CLASIFICACIÓN SUCS: SM NOMBRE TÍPICO: Arena limosa


NOTA: Este informe no puede ser reproducido parcialmente.



Ing. Edson Cuervo
RESPONSABLE DEL AREA




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 y d




IES
JESUITAS ECUADOR

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: Punto 37
SONDEO: _____
PROFUNDIDAD: _____

SOLICITADO POR: Luis Ayala - Patricio Vivas
FISCALIZACIÓN: _____
CONTRATISTA: _____
FECHA INGRESO: 2025-12-16
FECHA ENTREGA: 2025-12-29
ORDEN DE TRABAJO N°: 5282.5
HOJA: 1 de 3

1.- CONTENIDO DE HUMEDAD - Norma ASTM D 2216

Prap.	Prap. + sh.	Prap. + ss.	% Humedad	% Hum. Promed.
22,62	164,89	160,56	3,14	3,22
32,97	173,44	168,96	3,29	

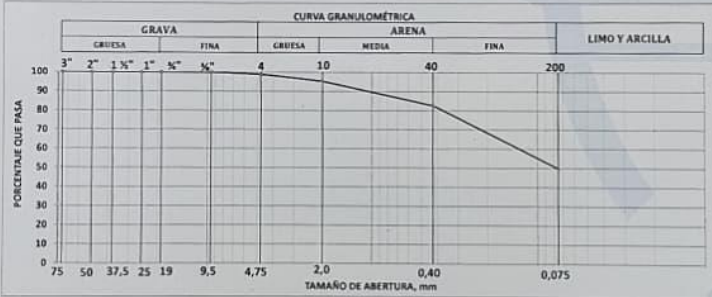
2.- LÍMITE PLÁSTICO - Norma ASTM D 4318
SUELO NO PLÁSTICO

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 RETENIDO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,10	4,72	17,41	50,24
% QUE PASA	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	98,9	95,3	82,6	49,8

CURVA GRANULOMÉTRICA




5.- RESUMEN DE RESULTADOS Y CLASIFICACIÓN

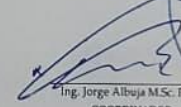
HUMEDAD NATURAL (%)
% Humedad: 3
LÍMITES DE ATTERBERG
Límite Líquido, LL: NP
Límite Plástico, LP: NP
Índice de Plasticidad, IP: NP


ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO
% Grava: 1
% Arena: 49
% Finos: 50
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. 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


f t i n y d



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: Punto 61
SONDEO: _____
PROFUNDIDAD: _____

SOLICITADO POR: Luis Ayala - Patricia Vivas
FISCALIZACIÓN: _____
CONTRATISTA: _____
FECHA INGRESO: 2025-12-16
FECHA ENTREGA: 2025-12-29
ORDEN DE TRABAJO N°: 5282 5
HOJA: 2 de 3

1.- CONTENIDO DE HUMEDAD - Norma ASTM D 2216

Prap.	Prap. + sh.	Prap. + ss.	% Humedad	% Hum. Pramed
31,32	169,63	162,80	5,19	5,09
32,12	159,30	153,25	4,99	

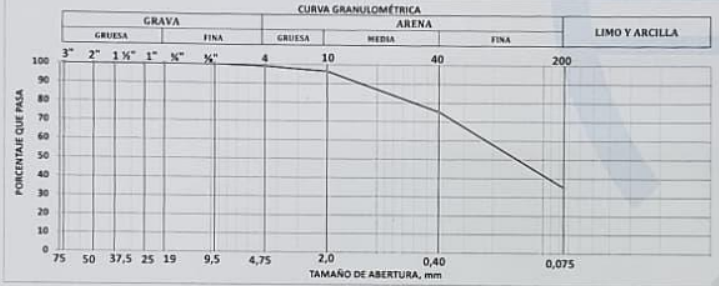
2.- LÍMITE PLÁSTICO - Norma ASTM D 4318
SUELO NO PLÁSTICO

3.- LÍMITE 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 RETENIDA	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,91	3,53	24,81	64,79
% QUE PASA	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	99,1	96,5	75,2	35,2

CURVA GRANULOMÉTRICA



5.- RESUMEN DE RESULTADOS Y CLASIFICACIÓN

HUMEDAD NATURAL (%):
% Humedad: 5
LÍMITES DE ATTERBERG:
Límite Líquido, LL: NP
Límite Plástico, LP: NP
Índice de Plasticidad, IP: NP


ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO:
% Grava: 1
% Arena: 64
% Finos: 35

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. 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

f t i n y d



LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN



Anexo G

Tabla de calificación de todos los puntos antes de las inspecciones de campo

Tabla D1

Fichas de calificación de todos los puntos, antes de las inspecciones de campo, con su respectivo valor de LRI

	Variable	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	LRI
	Unidad	#	m	Ton	m	°	SUCS	m	m³/s	m	m²	
Pt. 1	Valor Obtenido	50	15.7925	7546.6658	34	49.404	SP-SM	23.0972	169.1599	185.0209	2749.3116	3.0033
	Categoría	3	3	2	3	5	2	3	3	5	2	
Pt. 2	Valor Obtenido	13	6.6032	709.9915	34	52.1313	SP-SM	6.595	170.0834	51.0605	848.1079	2.3834
	Categoría	1	4	1	3	5	2	4	3	1	1	
Pt. 3	Valor Obtenido	41	0	8052.8127	24	22.3484	SP-SM	45.8167	170.0977	341.4861	38345.6386	2.624
	Categoría	2	5	2	2	3	2	2	3	5	5	
Pt. 4	Valor Obtenido	27	17.7869	3856.9256	35	51.3049	SP-SM	5.2708	170.6631	84.4611	510.8272	2.5474
	Categoría	2	3	1	3	5	2	4	3	2	1	
Pt. 5	Valor Obtenido	36	22.6333	8264.4929	32	51.4661	SP-SM	5.8445	171.1771	83.6766	792.4834	2.742
	Categoría	2	3	2	3	5	2	4	3	2	1	
Pt. 6	Valor Obtenido	18	83.0843	4587.8157	29	54.696	SP-SM	13.7822	171.8871	74.4597	228.9332	2.182
	Categoría	1	2	1	2	5	2	4	3	2	1	
Pt. 7	Valor Obtenido	24	9.9943	7461.4413	24	40.9276	SP-SM	37.5557	173.0562	276.5664	15315.8641	2.4387
	Categoría	1	4	2	2	4	2	2	3	5	4	
Pt. 8	Valor Obtenido	142	0	24809.013	30	38.9821	SP-SM	11.1786	175.1124	177.8779	3324.9115	3.828
	Categoría	5	5	4	2	4	2	4	3	5	2	
Pt. 9	Valor Obtenido	57	0	11990.1044	25	21.4727	SP-SM	112.9771	175.6959	349.5001	62729.4534	2.7297
	Categoría	3	5	2	2	3	2	1	3	5	5	
Pt. 10	Valor Obtenido	245	0	38015.4424	35	34.709	SP-SM	26.2841	176.4617	151.3714	7576.9304	4.0026

	Variable	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	LRI
	Unidad	#	m	Ton	m	°	SUCS	m	m³/s	m	m²	
Pt. 11	<i>Categoría</i>	5	5	5	3	4	2	3	3	4	3	3.6489
	<i>Valor Obtenido</i>	178	0	24738.3878	29	32.1735	SP-SM	19.872	177.5277	129.7308	4221.0496	
Pt. 12	<i>Categoría</i>	5	5	4	2	4	2	3	3	3	2	3.4924
	<i>Valor Obtenido</i>	160	0	23440.4611	22	26.2076	SP-SM	18.8922	178.2534	78.626	3507.1627	
Pt. 13	<i>Categoría</i>	5	5	4	2	3	2	3	3	2	2	2.561
	<i>Valor Obtenido</i>	35	60.6715	1529.8344	35	35.0446	SP-SM	14.9457	179.1453	184.6013	21056.6073	
Pt. 14	<i>Categoría</i>	2	2	1	3	4	2	4	3	5	4	3.3785
	<i>Valor Obtenido</i>	150	0	23925.8532	15	31.074	SP-SM	59.8897	179.1848	55.477	3305.0572	
Pt. 15	<i>Categoría</i>	5	5	4	2	4	2	1	3	1	2	3.445
	<i>Valor Obtenido</i>	189	0	29190.0638	8	20.5437	SP-SM	19.4666	179.7133	119.2426	1908.642	
Pt. 16	<i>Categoría</i>	5	5	4	1	3	2	3	3	3	2	3.312
	<i>Valor Obtenido</i>	174	2.7142	23288.5932	13	17.884	SP-SM	7.65	180.5478	47.0814	545.8907	
Pt. 17	<i>Categoría</i>	5	5	4	1	2	2	4	3	1	1	2.8951
	<i>Valor Obtenido</i>	75	15.7319	5034.8255	34	49.6253	SP-SM	9.3743	180.4701	59.6233	964.5533	
Pt. 18	<i>Categoría</i>	3	3	2	3	5	2	4	3	1	1	3.0649
	<i>Valor Obtenido</i>	92	0	9077.1102	34	29.2178	SP-SM	10.8083	181.0519	94.6609	426.117	
Pt. 19	<i>Categoría</i>	4	5	2	3	3	2	4	3	2	1	3.8436
	<i>Valor Obtenido</i>	324	0	50142.8153	20	34.4658	SP-SM	23.3984	181.745	107.5113	4382.8538	
Pt. 20	<i>Categoría</i>	5	5	5	2	4	2	3	3	3	2	2.9749
	<i>Valor Obtenido</i>	116	0	8337.7575	28	42.0608	SP-SM	20.2347	182.3545	59.2235	1464.1946	
Pt. 21	<i>Categoría</i>	4	5	2	2	4	2	3	3	1	2	2.7743
	<i>Valor Obtenido</i>	61	0	6699.2376	24	40.6082	SP-SM	34.1468	182.7069	104.6009	2345.1454	
Pt. 22	<i>Categoría</i>	3	5	2	2	4	2	2	3	3	2	2.3767
	<i>Valor Obtenido</i>	60	1	4817.0982	7	43.0421	SP-SM	36.4841	182.9569	32.6691	627.2294	
Pt. 23	<i>Categoría</i>	3	5	1	1	4	2	2	3	1	1	3.7202
	<i>Valor Obtenido</i>	204	0.082	29447.5159	29	32.7749	SP-SM	7.6901	182.9379	79.8176	5731.0922	
	<i>Categoría</i>	5	5	4	2	4	2	4	3	2	3	

	Variable	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	LRI
	Unidad	#	m	Ton	m	°	SUCS	m	m³/s	m	m²	
Pt. 24	Valor Obtenido	237	0	39776.8623	32	37.8321	SP-SM	24.9307	183.9503	154.0543	7344.8698	4.0026
	Categoría	5	5	5	3	4	2	3	3	4	3	
Pt. 25	Valor Obtenido	72	8.1521	8909.0697	16	42.467	SP-SM	9.5068	184.8944	113.762	1180.009	2.8799
	Categoría	3	4	2	2	4	2	4	3	3	2	
Pt. 26	Valor Obtenido	162	0	24403.4725	16	44.093	SP-SM	5.6919	185.3818	138.7773	1256.0217	3.7841
	Categoría	5	5	4	2	4	2	4	3	4	2	
Pt. 27	Valor Obtenido	77	0	19838.4508	14	26.3478	SP-SM	109.6513	185.5892	153.4375	10233.7087	2.7414
	Categoría	3	5	3	1	3	2	1	3	4	3	
Pt. 28	Valor Obtenido	66	0	13600.7282	16	37.0418	SP-SM	72.9786	186.9692	256.0787	11759.7613	2.9893
	Categoría	3	5	3	2	4	2	1	3	5	3	
Pt. 29	Valor Obtenido	59	5.8624	17549.0293	13	33.7419	SP-SM	108.2965	187.2528	322.2725	25580.1029	2.8448
	Categoría	3	4	3	1	4	2	1	3	5	4	
Pt. 30	Valor Obtenido	112	0	19061.5614	28	25.4351	SP-SM	102.4131	188.73	143.2427	17515.5196	3.0536
	Categoría	4	5	3	2	3	2	1	3	4	4	
Pt. 31	Valor Obtenido	139	8.5451	27380.9324	11	32.9621	SP-SM	141.8347	189.432	173.3725	25450.3248	3.4335
	Categoría	5	4	4	1	4	2	1	3	5	4	
Pt. 32	Valor Obtenido	50	16.9131	11946.1097	18	52.6407	SP-SM	71.604	190.0117	117.0183	3093.8701	2.6416
	Categoría	3	3	2	2	5	2	1	3	3	2	
Pt. 33	Valor Obtenido	19	5.5255	5364.8838	23	49.3448	SP-SM	32.8425	192.2673	104.082	3696.5145	2.4158
	Categoría	1	4	2	2	5	2	2	3	3	2	
Pt. 34	Valor Obtenido	6	79.4903	927.8214	19	28.51	SP-SM	44.528	192.9395	144.5921	9705.9596	1.9096
	Categoría	1	2	1	2	3	2	2	3	4	3	
Pt. 35	Valor Obtenido	31	0	4363.5128	13	30.1876	SP-SM	67.5909	192.3319	355.7039	37261.1857	2.3594
	Categoría	2	5	1	1	4	2	1	3	5	5	
Pt. 36	Valor Obtenido	51	0	6524.191	25	39.4469	SP-SM	25.5784	194.3507	101.3265	3277.6359	2.8656
	Categoría	3	5	2	2	4	2	3	3	3	2	
Pt. 37	Valor Obtenido	89	0	11828.2063	13	31.297	SP-SM	158.1274	195.1686	180.0547	21277.7876	2.9243
	Categoría	4	5	2	1	4	2	1	3	5	4	

	Variable	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	LRI
	Unidad	#	m	Ton	m	°	SUCS	m	m³/s	m	m²	
Pt. 38	Valor Obtenido	45	7.8705	12631.5002	13	29.4385	SP-SM	139.7551	196.2686	200.0874	6540.8923	2.5113
	Categoría	2	4	3	1	3	2	1	3	5	3	
Pt. 39	Valor Obtenido	64	27.6451	11170.3471	21	35.7812	SP-SM	60.1589	194.6489	261.4858	30024.1082	2.6883
	Categoría	3	3	2	2	4	2	1	3	5	5	
Pt. 40	Valor Obtenido	45	3.1731	7270.9574	22	34.5114	SP-SM	163.7687	196.4533	286.7845	21022.4471	2.6215
	Categoría	2	5	2	2	4	2	1	3	5	4	
Pt. 41	Valor Obtenido	11	2.103	1537.2081	22	41.4717	SP-SM	152.7186	197.1001	269.2249	11975.7076	2.2059
	Categoría	1	5	1	2	4	2	1	3	5	3	
Pt. 42	Valor Obtenido	36	1.6919	14490.4608	20	24.87	SP-SM	66.963	198.285	127.5291	7122.3929	2.5918
	Categoría	2	5	3	2	3	2	1	3	3	3	
Pt. 43	Valor Obtenido	41	41.7087	9580.7387	18	36.9462	SP-SM	19.954	199.096	94.6687	1873.0482	2.4706
	Categoría	2	3	2	2	4	2	3	3	2	2	
Pt. 44	Valor Obtenido	52	0	15360.056	34	36.1884	SP-SM	26.8305	200.3297	213.9328	8715.7076	3.3402
	Categoría	3	5	3	3	4	2	3	4	5	3	
Pt. 45	Valor Obtenido	39	6.22	20104.3827	33	56.9663	SP-SM	13.5268	201.1669	115.7235	2985.0113	3.353
	Categoría	2	4	4	3	5	2	4	4	3	2	
Pt. 46	Valor Obtenido	76	0.99	28805.6983	19	30.0349	SP-SM	171.9708	200.8877	256.435	56556.6049	3.3086
	Categoría	3	5	4	2	4	2	1	4	5	5	
Pt. 47	Valor Obtenido	72	5.245	23631.4552	27	43.8049	SP-SM	22.3927	202.566	264.6528	13799.9582	3.3665
	Categoría	3	4	4	2	4	2	3	4	5	3	
Pt. 48	Valor Obtenido	21	4.0703	4833.4049	9	23.5969	SP-SM	112.6549	202.7792	92.5814	9230.7431	1.9473
	Categoría	1	5	1	1	3	2	1	4	2	3	
Pt. 49	Valor Obtenido	35	0	3331.2157	21	28.2836	SP-SM	89.7912	203.6875	218.8216	26416.4171	2.3912
	Categoría	2	5	1	2	3	2	1	4	5	4	
Pt. 50	Valor Obtenido	112	4.0139	23353.9824	33	40.6693	SP-SM	23.8514	203.7167	77.5268	649.487	3.5524
	Categoría	4	5	4	3	4	2	3	4	2	1	
Pt. 51	Valor Obtenido	153	0	28465.2135	28	52.2836	SP-SM	69.9361	204.3118	169.405	91.5845	3.7199
	Categoría	5	5	4	2	5	2	1	4	5	1	

	Variable	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	LRI
	Unidad	#	m	Ton	m	°	SUCS	m	m³/s	m	m²	
Pt. 52	Valor Obtenido	102	2.5436	20118.0129	29	39.6102	SP-SM	48.8198	204.8118	148.8966	77.5026	3.4576
	Categoría	4	5	4	2	4	2	2	4	4	1	
Pt. 53	Valor Obtenido	135	0	26039.8518	24	36.8729	SP-SM	65.5681	206.6428	390.5738	7599.1559	3.655
	Categoría	5	5	4	2	4	2	1	4	5	3	
Pt. 54	Valor Obtenido	124	6.9929	16121.7551	12	29.1756	SP-SM	146.982	206.221	80.2609	7330.8391	3.0477
	Categoría	5	4	3	1	3	2	1	4	2	3	
Pt. 55	Valor Obtenido	105	0	17152.9947	21	25.961	SP-SM	42.7976	208.1366	78.3856	6361.7592	3.1103
	Categoría	4	5	3	2	3	2	2	4	2	3	
Pt. 56	Valor Obtenido	95	8.0343	29879.7696	30	40.3324	SP-SM	46.3133	209.0343	387.9491	22970.1571	3.4961
	Categoría	4	4	4	2	4	2	2	4	5	4	
Pt. 57	Valor Obtenido	117	7.3069	25678.2433	34	38.0977	SP-SM	17.0479	209.8561	172.5671	10219.6088	3.6548
	Categoría	4	4	4	3	4	2	3	4	5	3	
Pt. 58	Valor Obtenido	85	10.1708	22132.1876	21	30.7241	SP-SM	51.8789	210.7378	140.5893	7349.127	3.337
	Categoría	4	4	4	2	4	2	1	4	4	3	
Pt. 59	Valor Obtenido	108	1.1338	21987.2575	27	32.9956	SP-SM	56.2289	211.4811	281.3248	25324.9093	3.4818
	Categoría	4	5	4	2	4	2	1	4	5	4	
Pt. 60	Valor Obtenido	44	0	18830.5953	32	42.2683	SP-SM	117.1052	213.3234	425.1056	35945.0157	3.0083
	Categoría	2	5	3	3	4	2	1	4	5	5	
Pt. 61	Valor Obtenido	25	0.2924	12570.4349	34	27.3527	SP-SM	53.6455	212.3589	141.6977	8888.057	2.804
	Categoría	2	5	3	3	3	2	1	4	4	3	
Pt. 62	Valor Obtenido	12	3.4981	8427.7592	11	28.0977	SP-SM	46.5237	212.9639	103.786	5196.0076	2.2771
	Categoría	1	5	2	1	3	2	2	4	3	3	
Pt. 63	Valor Obtenido	3	1.3008	6420.2314	17	34.2317	SP-SM	239.6537	213.8497	462.4398	44813.8497	2.5253
	Categoría	1	5	2	2	4	2	1	4	5	5	
Pt. 64	Valor Obtenido	7	6.466	2292.1578	28	33.2678	SP-SM	93.7196	214.4969	115.8644	7850.7187	2.1181
	Categoría	1	4	1	2	4	2	1	4	3	3	

	Variable	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	LRI
	Unidad	#	m	Ton	m	°	SUCS	m	m³/s	m	m²	
Pt. 65	Valor Obtenido	49	0	12279.9497	37	41.8274	SP-SM	10.6043	214.4397	197.4923	4857.0355	3.4076
	Categoría	3	5	3	3	4	2	4	4	5	2	
Pt. 66	Valor Obtenido	23	5.4979	10950.8668	34	51.2309	SP-SM	38.6808	215.7788	82.1315	892.5385	2.5164
	Categoría	1	4	2	3	5	2	2	4	2	1	
Pt. 67	Valor Obtenido	4	14.991	81.4621	32	32.2924	SP-SM	41.8603	216.0412	187.8355	15100.7393	2.4124
	Categoría	1	4	1	3	4	2	2	4	5	4	
Pt. 68	Valor Obtenido	20	12.2439	1055.4701	30	51.3783	SP-SM	33.6096	216.9542	280.5687	7528.7788	2.4099
	Categoría	1	4	1	2	5	2	2	4	5	3	
Pt. 69	Valor Obtenido	2	210.3192	45.6764	16	40.6161	SP-SM	68.9217	217.6289	97.8946	10780.3414	1.8871
	Categoría	1	1	1	2	4	2	1	4	3	3	
Pt. 70	Valor Obtenido	11	37.3189	4680.3057	23	37.1145	SP-SM	74.5862	218.2205	102.6674	10425.0861	2.0411
	Categoría	1	3	1	2	4	2	1	4	3	3	
Pt. 71	Valor Obtenido	204	0	30927.0878	29	42.8938	SP-SM	167.2434	218.3397	192.9794	13704.8994	3.8496
	Categoría	5	5	5	2	4	2	1	4	5	3	

Nota. Elaboración Propia

Anexo H

Ortofotos de los puntos críticos

Figura H1

Puntos n.º 10 y n.º 24 con su respectiva Ortofoto (resultado del vuelo con Dron)

Ortofoto – punto n.º 10



Ortofoto – punto n.º 24



Nota. Ortofoto generada mediante fotogrametría digital, a partir de imágenes capturadas en campo y procesadas en el software Agisoft PhotoScan Pro.

Anexo I

Fotografías de los valores obtenidos mediante la estación total

Figura I1

Mediciones del punto n.º 10 a partir de la estación total

Desde la estación total hasta la Cresta



Desde la estación total hasta la base - río



Nota. El orden de las imágenes corresponde con el orden de los operadores de la Figura 29

Figura I1

Mediciones del punto n.º 24 a partir de la estación total

Desde la estación total hasta la Cresta



Desde la estación total hasta la base - río



Nota. El orden de las imágenes corresponde con el orden de los operadores de la Figura 31

Anexo J

Tabla de calificación de todos los puntos después de las inspecciones de campo

Tabla J1

Fichas de calificación de todos los puntos, después de las inspecciones de campo, con su respectivo valor de LRI

	Variable	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	LRI
	Unidad	#	m	Ton	m	°	SUCS	m	m³/s	m	m²	
Pt. 1	<i>Valor Obtenido</i>	50	15.7925	7546.6658	34	49.404	SM	23.0972	169.1599	185.0209	2749.3116	3.0033
	<i>Categoría</i>	3	3	2	3	5	2	3	3	5	2	
Pt. 2	<i>Valor Obtenido</i>	13	6.6032	709.9915	34	52.1313	SM	6.595	170.0834	51.0605	848.1079	2.3834
	<i>Categoría</i>	1	4	1	3	5	2	4	3	1	1	
Pt. 3	<i>Valor Obtenido</i>	41	0	8052.8127	24	22.3484	SM	45.8167	170.0977	341.4861	38345.6386	2.624
	<i>Categoría</i>	2	5	2	2	3	2	2	3	5	5	
Pt. 4	<i>Valor Obtenido</i>	27	17.7869	3856.9256	35	51.3049	SM	5.2708	170.6631	84.4611	510.8272	2.5474
	<i>Categoría</i>	2	3	1	3	5	2	4	3	2	1	
Pt. 5	<i>Valor Obtenido</i>	36	22.6333	8264.4929	32	51.4661	SM	5.8445	171.1771	83.6766	792.4834	2.742
	<i>Categoría</i>	2	3	2	3	5	2	4	3	2	1	
Pt. 6	<i>Valor Obtenido</i>	18	83.0843	4587.8157	29	54.696	SM	13.7822	171.8871	74.4597	228.9332	2.182
	<i>Categoría</i>	1	2	1	2	5	2	4	3	2	1	
Pt. 7	<i>Valor Obtenido</i>	24	9.9943	7461.4413	24	40.9276	SM	37.5557	173.0562	276.5664	15315.8641	2.4387
	<i>Categoría</i>	1	4	2	2	4	2	2	3	5	4	
Pt. 8	<i>Valor Obtenido</i>	122	0	21133.3948	36	55.0118	SM	10.4001	175.5241	86.7135	2678.9045	3.9003
	<i>Categoría</i>	5	5	4	3	5	2	4	3	2	2	
Pt. 9	<i>Valor Obtenido</i>	57	0	11990.1044	25	21.4727	SM	112.9771	175.6959	349.5001	62729.4534	2.7297
	<i>Categoría</i>	3	5	2	2	3	2	1	3	5	5	
Pt. 10	<i>Valor Obtenido</i>	214	0	31770.7055	40	30.7082	SM	7.6507	176.7336	219.5199	9710.243	4.1378
	<i>Categoría</i>	5	5	5	3	4	2	4	3	5	3	
Pt. 11	<i>Valor Obtenido</i>	178	0	24738.3878	29	32.1735	SM	19.872	177.5277	129.7308	4221.0496	3.6489

	Variable	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	LRI
	Unidad	#	m	Ton	m	°	SUCS	m	m³/s	m	m²	
	<i>Categoría</i>	5	5	4	2	4	2	3	3	3	2	
Pt. 12	<i>Valor Obtenido</i>	160	0	23440.4611	22	26.2076	SM	18.8922	178.2534	78.626	3507.1627	3.4924
	<i>Categoría</i>	5	5	4	2	3	2	3	3	2	2	
Pt. 13	<i>Valor Obtenido</i>	35	60.6715	1529.8344	35	35.0446	SM	14.9457	179.1453	184.6013	21056.6073	2.561
	<i>Categoría</i>	2	2	1	3	4	2	4	3	5	4	
Pt. 14	<i>Valor Obtenido</i>	150	0	23925.8532	15	31.074	SM	59.8897	179.1848	55.477	3305.0572	3.3785
	<i>Categoría</i>	5	5	4	2	4	2	1	3	1	2	
Pt. 15	<i>Valor Obtenido</i>	189	0	29190.0638	8	20.5437	SM	19.4666	179.7133	119.2426	1908.642	3.445
	<i>Categoría</i>	5	5	4	1	3	2	3	3	3	2	
Pt. 16	<i>Valor Obtenido</i>	174	2.7142	23288.5932	13	17.884	SM	7.65	180.5478	47.0814	545.8907	3.312
	<i>Categoría</i>	5	5	4	1	2	2	4	3	1	1	
Pt. 17	<i>Valor Obtenido</i>	75	15.7319	5034.8255	34	49.6253	SM	9.3743	180.4701	59.6233	964.5533	2.8951
	<i>Categoría</i>	3	3	2	3	5	2	4	3	1	1	
Pt. 18	<i>Valor Obtenido</i>	92	0	9077.1102	34	29.2178	SM	10.8083	181.0519	94.6609	426.117	3.0649
	<i>Categoría</i>	4	5	2	3	3	2	4	3	2	1	
Pt. 19	<i>Valor Obtenido</i>	324	0	50142.8153	20	34.4658	SM	23.3984	181.745	107.5113	4382.8538	3.8436
	<i>Categoría</i>	5	5	5	2	4	2	3	3	3	2	
Pt. 20	<i>Valor Obtenido</i>	116	0	8337.7575	28	42.0608	SM	20.2347	182.3545	59.2235	1464.1946	2.9749
	<i>Categoría</i>	4	5	2	2	4	2	3	3	1	2	
Pt. 21	<i>Valor Obtenido</i>	61	0	6699.2376	24	40.6082	SM	34.1468	182.7069	104.6009	2345.1454	2.7743
	<i>Categoría</i>	3	5	2	2	4	2	2	3	3	2	
Pt. 22	<i>Valor Obtenido</i>	42	4.9331	651.0974	24	65.5619	SM	22.0547	183.5904	280.8191	6261.8525	2.6982
	<i>Categoría</i>	2	5	1	2	5	2	3	3	5	3	
Pt. 23	<i>Valor Obtenido</i>	186	0	23792.9122	36	52.9275	SM	11.835	182.6247	106.1915	7520.3453	3.968
	<i>Categoría</i>	5	5	4	3	5	2	4	3	3	3	
Pt. 24	<i>Valor Obtenido</i>	233	0	33113.0094	42	34.7478	SM	8.2936	183.9469	145.9356	6818.3766	4.0939
	<i>Categoría</i>	5	5	5	3	4	2	4	3	4	3	
Pt. 25	<i>Valor Obtenido</i>	72	8.1521	8909.0697	16	42.467	SM	9.5068	184.8944	113.762	1180.009	2.8799

	Variable	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	LRI
	Unidad	#	m	Ton	m	°	SUCS	m	m³/s	m	m²	
	<i>Categoría</i>	3	4	2	2	4	2	4	3	3	2	
Pt. 26	<i>Valor Obtenido</i>	162	0	24403.4725	16	44.093	SM	5.6919	185.3818	138.7773	1256.0217	3.7841
	<i>Categoría</i>	5	5	4	2	4	2	4	3	4	2	
Pt. 27	<i>Valor Obtenido</i>	77	0	19838.4508	14	26.3478	SM	109.6513	185.5892	153.4375	10233.7087	2.7414
	<i>Categoría</i>	3	5	3	1	3	2	1	3	4	3	
Pt. 28	<i>Valor Obtenido</i>	66	0	13600.7282	16	37.0418	SM	72.9786	186.9692	256.0787	11759.7613	2.9893
	<i>Categoría</i>	3	5	3	2	4	2	1	3	5	3	
Pt. 29	<i>Valor Obtenido</i>	59	5.8624	17549.0293	13	33.7419	SM	108.2965	187.2528	322.2725	25580.1029	2.8448
	<i>Categoría</i>	3	4	3	1	4	2	1	3	5	4	
Pt. 30	<i>Valor Obtenido</i>	112	0	19061.5614	28	25.4351	SM	102.4131	188.73	143.2427	17515.5196	3.0536
	<i>Categoría</i>	4	5	3	2	3	2	1	3	4	4	
Pt. 31	<i>Valor Obtenido</i>	139	8.5451	27380.9324	11	32.9621	SM	141.8347	189.432	173.3725	25450.3248	3.4335
	<i>Categoría</i>	5	4	4	1	4	2	1	3	5	4	
Pt. 32	<i>Valor Obtenido</i>	50	16.9131	11946.1097	18	52.6407	SM	71.604	190.0117	117.0183	3093.8701	2.6416
	<i>Categoría</i>	3	3	2	2	5	2	1	3	3	2	
Pt. 33	<i>Valor Obtenido</i>	19	5.5255	5364.8838	23	49.3448	SM	32.8425	192.2673	104.082	3696.5145	2.4158
	<i>Categoría</i>	1	4	2	2	5	2	2	3	3	2	
Pt. 34	<i>Valor Obtenido</i>	6	79.4903	927.8214	19	28.51	SM	44.528	192.9395	144.5921	9705.9596	1.9096
	<i>Categoría</i>	1	2	1	2	3	2	2	3	4	3	
Pt. 35	<i>Valor Obtenido</i>	31	0	4363.5128	13	30.1876	SM	67.5909	192.3319	355.7039	37261.1857	2.3594
	<i>Categoría</i>	2	5	1	1	4	2	1	3	5	5	
Pt. 36	<i>Valor Obtenido</i>	51	0	6524.191	25	39.4469	SM	25.5784	194.3507	101.3265	3277.6359	2.8656
	<i>Categoría</i>	3	5	2	2	4	2	3	3	3	2	
Pt. 37	<i>Valor Obtenido</i>	89	0	11828.2063	13	31.297	SM	158.1274	195.1686	180.0547	21277.7876	2.9243
	<i>Categoría</i>	4	5	2	1	4	2	1	3	5	4	
Pt. 38	<i>Valor Obtenido</i>	45	7.8705	12631.5002	13	29.4385	SM	139.7551	196.2686	200.0874	6540.8923	2.5113
	<i>Categoría</i>	2	4	3	1	3	2	1	3	5	3	
Pt. 39	<i>Valor Obtenido</i>	64	27.6451	11170.3471	21	35.7812	SM	60.1589	194.6489	261.4858	30024.1082	2.6883

	Variable	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	LRI
	Unidad	#	m	Ton	m	°	SUCS	m	m³/s	m	m²	
	<i>Categoría</i>	3	3	2	2	4	2	1	3	5	5	
Pt. 40	<i>Valor Obtenido</i>	45	3.1731	7270.9574	22	34.5114	SM	163.7687	196.4533	286.7845	21022.4471	2.6215
	<i>Categoría</i>	2	5	2	2	4	2	1	3	5	4	
Pt. 41	<i>Valor Obtenido</i>	11	2.103	1537.2081	22	41.4717	SW-SM	152.7186	197.1001	269.2249	11975.7076	2.2059
	<i>Categoría</i>	1	5	1	2	4	2	1	3	5	3	
Pt. 42	<i>Valor Obtenido</i>	36	1.6919	14490.4608	20	24.87	SM	66.963	198.285	127.5291	7122.3929	2.5918
	<i>Categoría</i>	2	5	3	2	3	2	1	3	3	3	
Pt. 43	<i>Valor Obtenido</i>	41	41.7087	9580.7387	18	36.9462	SM	19.954	199.096	94.6687	1873.0482	2.4706
	<i>Categoría</i>	2	3	2	2	4	2	3	3	2	2	
Pt. 44	<i>Valor Obtenido</i>	52	0	15360.056	34	36.1884	SM	26.8305	200.3297	213.9328	8715.7076	3.3402
	<i>Categoría</i>	3	5	3	3	4	2	3	4	5	3	
Pt. 45	<i>Valor Obtenido</i>	39	6.22	20104.3827	33	56.9663	SM	13.5268	201.1669	115.7235	2985.0113	3.353
	<i>Categoría</i>	2	4	4	3	5	2	4	4	3	2	
Pt. 46	<i>Valor Obtenido</i>	76	0.99	28805.6983	19	30.0349	SM	171.9708	200.8877	256.435	56556.6049	3.3086
	<i>Categoría</i>	3	5	4	2	4	2	1	4	5	5	
Pt. 47	<i>Valor Obtenido</i>	72	5.245	23631.4552	27	43.8049	SM	22.3927	202.566	264.6528	13799.9582	3.3665
	<i>Categoría</i>	3	4	4	2	4	2	3	4	5	3	
Pt. 48	<i>Valor Obtenido</i>	21	4.0703	4833.4049	9	23.5969	SM	112.6549	202.7792	92.5814	9230.7431	1.9473
	<i>Categoría</i>	1	5	1	1	3	2	1	4	2	3	
Pt. 49	<i>Valor Obtenido</i>	35	0	3331.2157	21	28.2836	SM	89.7912	203.6875	218.8216	26416.4171	2.3912
	<i>Categoría</i>	2	5	1	2	3	2	1	4	5	4	
Pt. 50	<i>Valor Obtenido</i>	112	4.0139	23353.9824	33	40.6693	SM	23.8514	203.7167	77.5268	649.487	3.5524
	<i>Categoría</i>	4	5	4	3	4	2	3	4	2	1	
Pt. 51	<i>Valor Obtenido</i>	153	0	28465.2135	28	52.2836	SM	69.9361	204.3118	169.405	91.5845	3.7199
	<i>Categoría</i>	5	5	4	2	5	2	1	4	5	1	
Pt. 52	<i>Valor Obtenido</i>	102	2.5436	20118.0129	29	39.6102	SP-SM	48.8198	204.8118	148.8966	77.5026	3.4576
	<i>Categoría</i>	4	5	4	2	4	2	2	4	4	1	
Pt. 53	<i>Valor Obtenido</i>	135	0	26039.8518	24	36.8729	SP-SM	65.5681	206.6428	390.5738	7599.1559	3.655

	Variable	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	LRI
	Unidad	#	m	Ton	m	°	SUCS	m	m³/s	m	m²	
	<i>Categoría</i>	5	5	4	2	4	2	1	4	5	3	
Pt. 54	<i>Valor Obtenido</i>	124	6.9929	16121.7551	12	29.1756	SM	146.982	206.221	80.2609	7330.8391	3.0477
	<i>Categoría</i>	5	4	3	1	3	2	1	4	2	3	
Pt. 55	<i>Valor Obtenido</i>	105	0	17152.9947	21	25.961	SM	42.7976	208.1366	78.3856	6361.7592	3.1103
	<i>Categoría</i>	4	5	3	2	3	2	2	4	2	3	
Pt. 56	<i>Valor Obtenido</i>	95	8.0343	29879.7696	30	40.3324	SM	46.3133	209.0343	387.9491	22970.1571	3.4961
	<i>Categoría</i>	4	4	4	2	4	2	2	4	5	4	
Pt. 57	<i>Valor Obtenido</i>	117	7.3069	25678.2433	34	38.0977	SM	17.0479	209.8561	172.5671	10219.6088	3.6548
	<i>Categoría</i>	4	4	4	3	4	2	3	4	5	3	
Pt. 58	<i>Valor Obtenido</i>	85	10.1708	22132.1876	21	30.7241	SM	51.8789	210.7378	140.5893	7349.127	3.337
	<i>Categoría</i>	4	4	4	2	4	2	1	4	4	3	
Pt. 59	<i>Valor Obtenido</i>	108	1.1338	21987.2575	27	32.9956	SM	56.2289	211.4811	281.3248	25324.9093	3.4818
	<i>Categoría</i>	4	5	4	2	4	2	1	4	5	4	
Pt. 60	<i>Valor Obtenido</i>	44	0	18830.5953	32	42.2683	SM	117.1052	213.3234	425.1056	35945.0157	3.0083
	<i>Categoría</i>	2	5	3	3	4	2	1	4	5	5	
Pt. 61	<i>Valor Obtenido</i>	25	0.2924	12570.4349	34	27.3527	SM	53.6455	212.3589	141.6977	8888.057	2.804
	<i>Categoría</i>	2	5	3	3	3	2	1	4	4	3	
Pt. 62	<i>Valor Obtenido</i>	12	3.4981	8427.7592	11	28.0977	SM	46.5237	212.9639	103.786	5196.0076	2.2771
	<i>Categoría</i>	1	5	2	1	3	2	2	4	3	3	
Pt. 63	<i>Valor Obtenido</i>	3	1.3008	6420.2314	17	34.2317	SM	239.6537	213.8497	462.4398	44813.8497	2.5253
	<i>Categoría</i>	1	5	2	2	4	2	1	4	5	5	
Pt. 64	<i>Valor Obtenido</i>	7	6.466	2292.1578	28	33.2678	SM	93.7196	214.4969	115.8644	7850.7187	2.1181
	<i>Categoría</i>	1	4	1	2	4	2	1	4	3	3	
Pt. 65	<i>Valor Obtenido</i>	49	0	12279.9497	37	41.8274	SM	10.6043	214.4397	197.4923	4857.0355	3.4076
	<i>Categoría</i>	3	5	3	3	4	2	4	4	5	2	
Pt. 66	<i>Valor Obtenido</i>	23	5.4979	10950.8668	34	51.2309	SM	38.6808	215.7788	82.1315	892.5385	2.5164
	<i>Categoría</i>	1	4	2	3	5	2	2	4	2	1	
Pt. 67	<i>Valor Obtenido</i>	4	14.991	81.4621	32	32.2924	SM	41.8603	216.0412	187.8355	15100.7393	2.4124

	Variable	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	LRI
	Unidad	#	m	Ton	m	°	SUCS	m	m³/s	m	m²	
	<i>Categoría</i>	1	4	1	3	4	2	2	4	5	4	
Pt. 68	<i>Valor Obtenido</i>	20	12.2439	1055.4701	30	51.3783	SM	33.6096	216.9542	280.5687	7528.7788	2.4099
	<i>Categoría</i>	1	4	1	2	5	2	2	4	5	3	
Pt. 69	<i>Valor Obtenido</i>	2	210.3192	45.6764	16	40.6161	SM	68.9217	217.6289	97.8946	10780.3414	1.8871
	<i>Categoría</i>	1	1	1	2	4	2	1	4	3	3	
Pt. 70	<i>Valor Obtenido</i>	11	37.3189	4680.3057	23	37.1145	SM	74.5862	218.2205	102.6674	10425.0861	2.0411
	<i>Categoría</i>	1	3	1	2	4	2	1	4	3	3	
Pt. 71	<i>Valor Obtenido</i>	204	0	30927.0878	29	42.8938	SM	167.2434	218.3397	192.9794	13704.8994	3.8496
	<i>Categoría</i>	5	5	5	2	4	2	1	4	5	3	
Pt. 72	<i>Valor Obtenido</i>	76	0	1925.4251	10	74.057	SM	15.0594	176.404	263.5694	2877.0043	2.7801
	<i>Categoría</i>	3	5	1	1	5	2	3	3	5	2	

Nota. Elaboración Propia