UNIVERSIDAD PERUANA DE CIENCIAS APLICADAS

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA CIVIL

**Evaluación de los riesgos debido a un depósito informal de desmonte de mina
frente a una comunidad – Caso Depósito de Desmonte en Pataz Trujillo**

TESIS

Para optar el título profesional de Ingeniero Civil

AUTOR(ES)

Vilcas Cabieses, Johana Fiorella (0000-0003-0151-0443)

Cier Acevedo, Augusto Julio (0000-0001-5853-5081)

ASESOR

Duran Ramírez, Gary (0000-0002-2011-7463)

Lima, 23 de enero de 2020

DEDICATORIA

Se lo dedicamos a nuestras familias por su apoyo incondicional.

RESUMEN

La gestión de desastres en el Perú es necesaria para poder superar los diversos fenómenos a los que nuestro país es propenso. Sin embargo, esta es aún incipiente e incompleta. Uno de estos casos es el que se presenta en esta investigación. Una mina informal ubicada en la región de La Libertad, en el distrito de Pataz ha estado vertiendo desmontes (material de desecho) sobre un talud natural y ha llegado a un punto crítico de deslizamiento inminente. El depósito es de 35,000 m³ aproximadamente y está ubicado sobre un pueblo habitado. Por ello, esta tesis plantea realizar un análisis del riesgo, estudiando el peligro y su naturaleza, y el nivel de vulnerabilidad de los afectados. Para ello seguimos manuales del estado peruano de análisis de riesgo y le añadimos criterios geotécnicos y análisis de estabilidad de taludes en su condición estática y pseudo estática. Finalmente, se proponen formas de mitigar el riesgo de deslizamiento.

En el capítulo uno se revisa conceptos teóricos sobre estabilidad de taludes, resistencia al corte, equilibrio límite. Además, se revisa la realidad de la informalidad en el Perú. Finalmente, se definen conceptos que ayudan al análisis del riesgo.

En el segundo capítulo se explica la metodología a aplicar tanto para el análisis de estabilidad de taludes como para el proceso de análisis de riesgo.

En el tercer capítulo se alcanzan los detalles propios de la zona de estudio, así las investigaciones y ensayos realizados a los componentes geotécnicos presentes.

En el cuarto capítulo se hace el desarrollo del análisis de estabilidad, explicando los resultados y las hipótesis tomadas.

En el quinto capítulo se desarrolla todo el análisis del riesgo; explicando paso a paso la valoración de la peligrosidad y de la vulnerabilidad.

Palabras Claves: Análisis, Riesgo, Estabilidad, Minería, Informal, Ilegal

ABSTRACT

Risk Assessment due to an Informal Deposit of Waste Deposit in front of a Community - Case Waste Deposit in Pataz Trujillo

Disaster management in Peru is necessary to overcome the various phenomena to which our country is prone. However, this is still incipient and incomplete. One of these cases is the one we studied in this investigation. An informal mine located in the region of La Libertad, in the district of Pataz, has been pouring waste material over a natural slope and has reached a critical point of impending landslide. The volume deposit is approximately 35,000 m³ and is located on an inhabited town. Therefore, this thesis proposes an analysis of the risk, studying the danger and its nature, and the level of vulnerability of those affected. For this, we follow risk analysis manuals of the Peruvian state and add geotechnical criteria and slope stability analysis in its static and pseudo static condition. Finally, ways of mitigating the risk of slipping are proposed.

In chapter one, theoretical concepts on slope stability, shear strength, limit balance are reviewed. In addition, the reality of informality in Peru is reviewed. Finally, concepts that help to analyses the risk are defined. The second chapter explains the methodology to be applied for slope stability analysis and for the risk analysis process. In the third chapter, the details of the study area are reached as well as the investigations and tests carried out on the geotechnical components present. In the fourth chapter the development of the stability analysis is done, explaining the results and the hypotheses taken. The entire risk analysis is developed in the fifth chapter, step by step, explaining the assessment of danger and vulnerability.

Keywords: Analysis, Risk, Stability, Mining, Informal, Illegal

TABLA DE CONTENIDOS

RESUMEN	II
ABSTRACT	III
TABLA DE CONTENIDOS	IV
ÍNDICE DE CUADROS	VII
ÍNDICE DE FIGURAS	XI
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	XII
INTRODUCCIÓN	1
1. MARCO TEÓRICO	7
1.1 INTRODUCCIÓN	7
1.2 ESTABILIDAD DE TALUDES	7
1.2.1 Talud	7
1.2.2 Resistencia al corte	7
1.2.3 Método Equilibrio Límite	8
1.2.4 Factor de seguridad	9
1.3 MINERÍA INFORMAL E ILEGAL	10
1.3.1 Botaderos de desmonte de mina	11
1.4 ¿RIESGO, PELIGRO, VULNERABILIDAD?	11
1.4.1 Definiciones	11
1.4.2 Clasificación de los peligros según su origen	12
2. METODOLOGÍA	13
2.1 NIVEL DE INVESTIGACIÓN	13
2.2 DISEÑO DE INVESTIGACIÓN	13
2.3 PROCEDIMIENTO	13
2.3.1 Recopilación de Información del Sitio de Investigación	13
2.3.2 Análisis de Estabilidad Física	15
2.3.3 Análisis de Riesgos	16
3. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO A ESTUDIAR	28
3.1 UBICACIÓN Y ACCESO	28

3.2	INVESTIGACIÓN GEOTÉCNICA.....	29
3.2.1	Calicatas y Trincheras	30
3.2.2	Ensayos de DPL	30
3.3	ENSAYOS DE LABORATORIO	31
3.3.1	Ensayos Índices en Mecánica de Suelos	31
3.3.2	Ensayos de Compactación	32
3.3.3	Ensayos de Corte Triaxial	33
3.4	SISMICIDAD	33
4.	ANÁLISIS DE ESTABILIDAD	35
4.1	PROPIEDAD DE LOS MATERIALES.....	35
4.2	METODOLOGÍA DE LOS ANÁLISIS DE ESTABILIDAD	36
4.3	CONDICIONES HIPOTÉTICAS	37
4.4	RESULTADOS	37
5.	ANÁLISIS DE RIESGO	40
5.1	DEFINICIÓN DE PARÁMETROS	40
5.1.1	Identificación de peligrosidad	42
5.1.2	Factores Condicionantes.....	42
5.1.3	Factores Desencadenantes	43
5.1.4	Exposición Social	43
5.1.5	Fragilidad Social.....	43
5.1.6	Resiliencia Social	44
5.1.7	Exposición Económica	45
5.1.8	Fragilidad Económica.....	46
5.1.9	Resiliencia Económica	46
5.1.10	Exposición Ambiental	47
5.1.11	Fragilidad Ambiental.....	47
5.1.12	Resiliencia Ambiental.....	48
5.2	ANÁLISIS DE ASIGNACIÓN DE VALORACIÓN DE PARÁMETROS	48
5.2.1	Identificación de peligrosidad	48
5.2.2	Factores Condicionantes.....	49
5.2.3	Factores Desencadenantes	49
5.2.4	Exposición Social	50

5.2.5	Fragilidad Social.....	51
5.2.6	Resiliencia Social	52
5.2.7	Exposición Económica	52
5.2.8	Fragilidad Económica.....	53
5.2.9	Resiliencia Económica	53
5.2.10	Exposición Ambiental	54
5.2.11	Fragilidad Ambiental.....	55
5.2.12	Resiliencia Ambiental.....	55
5.3	ANÁLISIS DE NIVEL DE PELIGROSIDAD	56
5.3.1	Identificación de Peligrosidad	56
5.3.2	Factores condicionantes.....	58
5.3.3	Factores desencadenantes	59
5.3.4	Valor de Peligrosidad	61
5.4	ANÁLISIS DE NIVEL DE VULNERABILIDAD.....	61
5.4.1	Dimensión social	62
5.4.2	Dimensión económica	67
5.4.3	Dimensión ambiental.....	71
5.4.4	Valor total de vulnerabilidad	76
5.5	ANÁLISIS DE VALOR DE RIESGO	77
6.	POSIBLES SOLUCIONES	79
6.1	COLOCACIÓN DE DIQUE DE CONTENCIÓN CON SISTEMA ERDOX.....	79
6.2	REMOCIÓN DE MATERIAL DE DESMONTE DE MINA	79
6.3	COLOCACIÓN DE SISTEMA DE ENMALLADO CON PERNOS DE ANCLAJE	79
7.	CONCLUSIONES	81
8.	RECOMENDACIONES	82
9.	REFERENCIAS	83
	ANEXOS	85

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1.2-1 – Factores de Seguridad Mínimos para Presas de Tierra	10
Cuadro 2.3-1 – Escala de Satty.....	18
Cuadro 2.3-2 – Matriz Ejemplo.....	19
Cuadro 2.3-3 – Matriz Ejemplo – Con Valores de Escala de Saaty	19
Cuadro 2.3-4 – Cuadro Ejemplo – Suma de Columnas.....	20
Cuadro 2.3-5 – Matriz Ejemplo – Pesos Ponderados	20
Cuadro 2.3-6 – Matriz Ejemplo – Vector Suma Ponderada	20
Cuadro 2.3-7 – Matriz Ejemplo - λ_{MAX}	21
Cuadro 2.3-8 – Matriz Ejemplo para Descriptores.....	22
Cuadro 2.3-9 – Matriz Ejemplo para Descriptores - Ponderación	22
Cuadro 2.3-10 – Matriz Ejemplo – Parámetro: Textura de Suelo	23
Cuadro 2.3-11 – Cuadro Ejemplo - Resumen de Valor de Peligro	23
Cuadro 2.3-12 – Niveles de Peligrosidad	24
Cuadro 2.3-13 – División de Sectores	25
Cuadro 2.3-14 - Características del Caso de Estudio por Sector.....	25
Cuadro 2.3-15 – Niveles de Vulnerabilidad	26
Cuadro 2.3-16 – Niveles de Riesgo	27
Cuadro 3.2-1 – Resumen de Calicatas.....	30
Cuadro 3.2-2 – Resumen Ensayos DPL	31
Cuadro 3.3-1 – Resumen de Ensayos de Clasificación de Suelos.....	32
Cuadro 3.3-2 – Resumen de Ensayos de Compactación	33
Cuadro 3.3-3 – Resumen de Ensayos Triaxiales	33
Cuadro 4.1-1 – Parámetros de Resistencia para el Análisis de Estabilidad	36
Cuadro 4.3-1 – Resultados de Análisis de Estabilidad.....	39
Cuadro 5.2-1 – Valoración de Parámetros: Identificación de Peligrosidad	48
Cuadro 5.2-2 - Valoración de Parámetros: Factores Condicionantes.....	49
Cuadro 5.2-3 - Valoración de Parámetros: Factores Desencadenantes	50
Cuadro 5.2-4 - Valoración de Parámetros: Exposición Social	50
Cuadro 5.2-5 - Valoración de Parámetros: Fragilidad Social.....	51

Cuadro 5.2-6 - Valoración de Parámetros: Resiliencia Social	52
Cuadro 5.2-7 - Valoración de Parámetros: Exposición Económica	53
Cuadro 5.2-8 - Valoración de Parámetros: Fragilidad Económica.....	53
Cuadro 5.2-9 - Valoración de Parámetros: Resiliencia Económica	54
Cuadro 5.2-10 - Valoración de Parámetros: Exposición Ambiental	54
Cuadro 5.2-11 - Valoración de Parámetros: Fragilidad Ambiental.....	55
Cuadro 5.2-12 - Valoración de Parámetros: Resiliencia Ambiental	55
Cuadro 5.3-1 – Identificación de Peligrosidad: Textura del Suelo.....	56
Cuadro 5.3-2 - Identificación de Peligrosidad: Pendiente	57
Cuadro 5.3-3 - Identificación de Peligrosidad: Erosión	57
Cuadro 5.3-4 - Identificación de Peligrosidad: Capacidad de Botadero	57
Cuadro 5.3-5 - Identificación de Peligrosidad: Resumen de Valor de Peligro.....	58
Cuadro 5.3-6 - Factores Condicionantes: Factor de Seguridad Estático	58
Cuadro 5.3-7 - Factores Condicionantes: Factor de Seguridad Pseudo-Estático	58
Cuadro 5.3-8 - Factores Condicionantes: Tipo de Depósito	59
Cuadro 5.3-9 - Factores Condicionantes: Nivel Freático	59
Cuadro 5.3-10 - Factores Condicionantes: Resumen de Valor Condicionante	59
Cuadro 5.3-11 - Factores Desencadenantes: Isoaceleración Sísmica.....	59
Cuadro 5.3-12 - Factores Desencadenantes: Precipitación Máxima Diaria	60
Cuadro 5.3-13 - Factores Desencadenantes: Otras Acciones Humanas	60
Cuadro 5.3-14 - Factores Desencadenantes: Resumen de Valor Desencadenante.....	60
Cuadro 5.3-15 - Valor Asignado de Susceptibilidad.....	61
Cuadro 5.3-16 - Valor Asignado de Peligrosidad.....	61
Cuadro 5.3-17 – Niveles de Riesgo	61
Cuadro 5.4-1 - Exposición Social: Grupo Etario.....	62
Cuadro 5.4-2 - Exposición Social: Servicios Educativos Expuestos.....	62
Cuadro 5.4-3 - Exposición Social: Servicios de Salud Terciarios.....	62
Cuadro 5.4-4 - Exposición Social: Resumen de Valor de Exposición Social	63
Cuadro 5.4-5 - Fragilidad Social: Material de Construcción de la Edificación	63
Cuadro 5.4-6 - Fragilidad Social: Estado de Conservación de la Edificación	63
Cuadro 5.4-7 - Fragilidad Social: Incumplimiento de Procedimientos Constructivos de Acuerdo a Normatividad Vigente.....	64
Cuadro 5.4-8 - Fragilidad Social: Cercanía al Deslizamiento	64

Cuadro 5.4-9 - Exposición Social: Resumen de Valor de Fragilidad Social.....	64
Cuadro 5.4-10 – Resiliencia Social: Capacitación en Temas de Gestión del Riesgo.....	65
Cuadro 5.4-11 - Resiliencia Social: Conocimiento Histórico de Desastres	65
Cuadro 5.4-12 - Resiliencia Social: Actitud Frente al Riesgo.....	65
Cuadro 5.4-13 - Resiliencia social: Normatividad y Programas de Contingencia	66
Cuadro 5.4-14 - Resiliencia Social: Resumen de Valor de Resiliencia Social.....	66
Cuadro 5.4-15 – Valor de Dimensión Social.....	66
Cuadro 5.4-16 – Exposición Económica: Minería.....	67
Cuadro 5.4-17 – Exposición Económica: Agricultura	67
Cuadro 5.4-18 – Exposición Económica: Ganadería	67
Cuadro 5.4-19 – Exposición Económica: Energía	68
Cuadro 5.4-20 – Exposición Económica: Resumen de Valor de Exposición Económica ..	68
Cuadro 5.4-21 – Fragilidad Económica: Minería.....	68
Cuadro 5.4-22 – Fragilidad Económica: Agricultura	69
Cuadro 5.4-23 – Fragilidad Económica: Ganadería	69
Cuadro 5.4-24 – Fragilidad Económica: Energía	69
Cuadro 5.4-25 – Fragilidad Económica: Resumen de Valor Fragilidad Económica	69
Cuadro 5.4-26 – Resiliencia Económica: PEA desocupada	70
Cuadro 5.4-27 – Resiliencia Económica: Ingreso Familiar Promedio Mensual	70
Cuadro 5.4-28 – Resiliencia Económica: Organización y Capacitación Institucional.....	71
Cuadro 5.4-29 – Resiliencia Económica: Resumen de Valor Resiliencia Económica.....	71
Cuadro 5.4-30 – Valor de Dimensión Económica.....	71
Cuadro 5.4-31 – Exposición Ambiental: Deforestación.....	72
Cuadro 5.4-32 – Exposición Ambiental: Flora y Fauna.....	72
Cuadro 5.4-33 – Exposición Ambiental: Pérdida de Agua	73
Cuadro 5.4-34 – Exposición Ambiental: Resumen de Valor Exposición Ambiental	73
Cuadro 5.4-35 – Fragilidad Ambiental: Ecosistemas	73
Cuadro 5.4-36 – Fragilidad Ambiental: Explotación de los Recursos	74
Cuadro 5.4-37 – Fragilidad Ambiental: Localización de los Centros Poblados	74
Cuadro 5.4-38 – Fragilidad Ambiental: Resumen de Valor de Fragilidad Ambiental.....	74
Cuadro 5.4-39 – Resiliencia Ambiental: Capacitación en Temas de Conservación Ambiental	75

Cuadro 5.4-40 – Resiliencia Ambiental: Capacitación en Temas de Conservación Ambiental	75
Cuadro 5.4-41 – Resiliencia Ambiental: Capacitación en Temas de Conservación Ambiental	76
Cuadro 5.4-42 – Fragilidad Ambiental: Resumen de Valor de Fragilidad Ambiental.....	76
Cuadro 5.4-43 – Valor de Dimensión Ambiental.....	76
Cuadro 5.4-44 – Valor de Vulnerabilidad	77
Cuadro 5.4-45 – Niveles de Vulnerabilidad	77
Cuadro 5.5-1 – Niveles de Riesgo	77
Cuadro 5.5-2 – Valor de Riesgo	78
Cuadro 6.3-1 – Evaluación de Posibles Soluciones	80

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.2-1 Envolvente de Falla	8
Figura 1.4-1 – Clasificación de peligros.....	12
Figura 2.3-1 – Flujograma para Análisis de Riesgo: Movimiento de Masa.....	17
Figura 5.1-1 - Flujograma para Análisis de Riesgo: Deslizamiento de Deposito de Desmonte.....	41

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 2.3-1 – Nivel de Riesgo	26
Ilustración 3.1-1 - Ubicación del Proyecto en Mapa del Perú.....	28
Ilustración 3.1-2 - Ubicación del Proyecto en Mapa Local	29
Ilustración 3.4-1 - Mapa de Isoaceleraciones	34
Ilustración 3.4-1 – Sección Crítica	35
Ilustración 4.3-1 – Situación Actual – Falla Local - Estático.....	38
Ilustración 4.3-2 – Situación Actual – Falla Local – Pseudo estático	39

INTRODUCCIÓN

Toda actividad humana implica en sí misma una alteración del ecosistema y paisaje natural. Por ello, el ser humano debe tomar conciencia en cada actividad que realiza y medir el impacto de esta en la naturaleza y también en su medio social. Una de las principales actividades en nuestro país es la minería.

La minería en el Perú es importante porque representa poco más del 11% del PBI, 20% de la recaudación fiscal y más del 50% de las divisas. Además, lleva un crecimiento promedio anual del 10%, cifra que se encuentra incluso por encima del crecimiento promedio anual del PBI: 6%.

En el Perú existen 3 tipos de minería:

- **Ilegal:** Se realiza en zonas donde está prohibida la extracción, por ejemplo: áreas naturales protegidas, ríos, lagunas. No cuentan con un proceso de formalización iniciado.
- **Informal:** Se realiza en zonas permitidas para la extracción y son empresas que han iniciado un proceso de formalización a fin de cumplir con los requisitos mínimos acorde a ley.
- **Formal:** Se realiza en zonas permitidas para la extracción. Corresponde a las empresas formales que son supervisadas por órganos gubernamentales respectivos y cuentan con los permisos, manuales y procedimientos para el adecuado desarrollo de la actividad minera.

Las dos primeras son motivo de preocupación por parte de las autoridades debido a las consecuencias que generan: deforestación, destrucción de ecosistemas, contaminación de aguas y suelos, entre muchas otras. Entre estos problemas, se encuentra la problemática de la falta de planificación de depósitos de desmonte minero; muchos de los cuales son cercanos a poblaciones, y las hace vulnerables a desastres debido a la inestabilidad de los mencionados depósitos informales.

En el caso de estudio, contamos con un depósito informal de desmonte de mina ubicado en la zona superior de una población proveniente del distrito de Pata – Trujillo. Dicho Depósito ha sido colocado sin la supervisión ni planificación de alta gerencia, provocando que en dicha zona aumente el nivel de riesgo de movimiento de masa. Ante lo mencionado,

obtenemos la siguiente problemática: ¿Cuáles son los riesgos de los Depósitos de Desmonte realizado por la minería informal frente a las comunidades de la localidad de Pataz, Trujillo? Y ¿Qué solución se puede dar a dichos problemas?

i. Estado del Arte:

Villanueva, Martín; Lino, Erick. (2017). Caracterización Geotécnica y Diseño de Botaderos de Mina. Lima: SRK Consulting (Perú), Lima, Perú.

Este artículo presenta el diseño y modelación de un depósito de desmontes de mina sobre un talud natural. Se vale de pruebas de campo y ensayos de laboratorio para recolectar información sobre los materiales del depósito y el suelo natural. Así se obtienen: densidad y parámetros geotécnicos, clasificación del desmonte, propiedades de resistencia y propiedades dinámicas. Luego de ello el estudio prosigue con la calibración del modelo constitutivo. Finalmente se hace la simulación numérica y se evalúa su comportamiento.

Esta investigación muestra paso a paso como se debe realizar correctamente un diseño geotécnico para botaderos de mina. Usa herramientas y métodos modernos, tales como el método de elementos finitos, el modelo constitutivo Hs Small y el software Plaxis para la modelación. Es claro, conciso y se apoya en gráficos y tablas para el mejor entendimiento.

Yong-Chan Cho, Young-Suk Song (2013) Deformation measurements and a stability analysis of the slope at a coal mine waste dump. Corea: Korea Institute of Geoscience and mineral resources.

Este estudio examinó e investigó la deformación y el cambio de pendiente del talud de un vertedero de desechos de una mina de carbón. El artículo es el resumen de un estudio extenso, pues tiene datos de varianza por meses y hasta años de cómo ha ido modificándose la pendiente del vertedero debido a diversos factores, como la lluvia, vegetación, erosión, entre otros. Para el estudio se usaron herramientas como inclinómetros, sensores de alambre y pluviómetros; herramientas que permitieron conocer las causas de la modificación de la pendiente del talud. Así, por ejemplo, se halla la relación entre la precipitación y la deformación de la pendiente y las erosiones

en la zona del vertedero. Además, el artículo realiza el análisis de estabilidad del terreno natural, y del terreno natural incluyendo la masa de material de desechos sobre este; calculando el factor de seguridad en cada caso. El estudio llega a la conclusión de que las precipitaciones son un factor desencadenante de falla del talud de mayor relevancia en taludes no conformados correctamente como el de este vertedero de desechos de mina de carbón.

Mendoza Loayza, Joel (2016). Análisis de estabilidad de taludes de suelos de gran altura en la mina Antapaccay. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú.

Esta investigación es una muestra de cómo se deben evaluar los taludes en las minas. Hace reconocimiento de campo, obtiene los parámetros de los suelos y hace la simulación del talud en diferentes contextos para así hallar los parámetros óptimos de diseño con un factor de seguridad óptimo. Además de ello, brinda conceptos generales y básicos para la comprensión del comportamiento de los suelos y taludes. Es reciente y se apoya de herramientas de análisis de estabilidad novedosas y de sencillo uso, como el software slide 6.0 y el AutoCad.

Granados López, Alan Raúl (2006). Estabilización del talud de la costa verde en la zona del distrito de barranco. (Tesis para optar el título de Ingeniero Civil). Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú.

En esta investigación desarrolla el análisis y diseño de ingeniería, así como el presupuesto de una solución para estabilizar, bajo las condiciones críticas de un sismo, un tramo representativo de 560 metros de longitud del talud de la Costa Verde, ubicado en el distrito de Barranco. Se busca cumplir con los Factores de Seguridad recomendados en la Norma Peruana E.050 y normas internacionales, por lo que se llega a la conclusión de que es necesario reducir la pendiente de todo el tramo del talud materia de esta Tesis. Para ello se sugiere la aplicación de movimientos masivos de tierra, (cortes de talud), logrando que las secciones no tengan estructuras por encima de ellas se deberá lograr un ángulo de 40°.

Ashutosh, Kainthola & Dhananjai, Verma (2011). A Coal Mine Dump Stability Analysis India: Department of earth science, Indian Institute of technology Bombay.

Este artículo de investigación trata sobre la evaluación de la falla de un talud, en donde se vertían los escombros y desmontes de una mina de carbón. El caso de estudio está

ubicado en Nagpur, India. Se recogen muestras de los fragmentos y se recopila información para conocer las características físicas del talud, por ejemplo, la altura y la inclinación. Luego de ello, se evalúan las posibles causas de la estabilización y el detonante de deslizamiento.

Prabhat Pratap, Dev (2019). Assessment of waste dump slope stability at iron ore mines. (Artículo de investigación en Jharkhand). India: Civil Engineering, Modern Institute of engineering & Technology, Mohri.

Este artículo nos habla sobre los distintos tipos de falla de un talud conformado con materiales de residuo; específicamente toma el caso de una mina de hierro ubicada en el distrito de West Singhbhum, del estado de Jharkhand en La India. Luego de analizar las posibles causas de desplazamiento y el comportamiento de la masa en cada caso, se vale de estudios de campo para determinar las propiedades mecánicas y físicas del material de desperdicio de la mina. Como paso siguiente, se realiza la modelación de cada talud para hallar el factor de seguridad en cada caso y se evalúan las posibles soluciones para aquellos taludes que no cumplan los requerimientos. Como una de las herramientas digitales, se hace uso de los softwares FLAC/slope y el Rocscience pase 2. Se debe recalcar que hace el modelamiento de cada caso en ambos programas.

Callalle Cueto, Clara (2016). Gestión de riesgo de desastres en zona urbana periférica. Análisis el riesgo en el asentamiento Humano Lomas de Nocheto, Santa Anita, Lima. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú.

Esta tesis brinda información bastante útil para la identificación y valoración de los peligros y tipos de vulnerabilidad, para luego determinar el nivel del riesgo al que está expuesta la población en estudio. Principalmente se apoya y adapta la propuesta metodológica del Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción de Riesgos de Desastres (En adelante CENEPRED), que es un organismo nacional encargado de preparar las guías y manuales de la evaluación y gestión del riesgo de desastres. Esta tesis se apoya de cuestionarios, entrevistas y fichas de observación para poder recoger información de campo. Aplica los conceptos que CENEPRED y otras bibliografías brindan, pero no se apoya en otras ciencias que pueden ayudar a detectar el riesgo y que también brindan caminos de mitigación, eliminación o remediación del impacto del peligro.

Hernandez Atencia, Yelena & Ramírez Arcilla, Hildebrando. (2016). Evaluación del riesgo asociado a vulnerabilidad física por taludes y laderas inestables en la microcuenca Cay, Ibagué, Tolima. Colombia: Universidad Militar Nueva Granada.

Este artículo de investigación presenta una herramienta de evaluación para detectar la vulnerabilidad física asociada con taludes inestables, sobre la base de una investigación titulada “Caracterización y análisis de la amenaza por fenómenos de remoción en masa en la microcuenca de la quebrada Cay (Ibagué, Tolima, Colombia)”. Se presenta una ecuación que relaciona los factores clave que influyen en la amenaza y los elementos expuestos asociados con la vulnerabilidad física. Cada factor y elemento expuesto es categorizado. El producto de la amenaza, la vulnerabilidad física y la probabilidad de ocurrencia, da como resultado el parámetro RVF (riesgo asociado a vulnerabilidad física), el cual se clasifica de bajo a muy alto, según los efectos del evento amenazante sobre los elementos físicos expuestos.

Puell Ortiz, Jorge (2017). Methodology for a dump design optimization in large-scale open pit mines. USA: Department of Mining and Geological Engineering.

Este artículo nos habla sobre cómo las empresas mineras pueden diseñar correctamente un botadero de residuos de tal manera que resulte seguro, rápido y económico. Hace uso de la programación lineal, de software moderno y de iteraciones matemáticas que ayuden a crear un modelo que permita calcular la correcta conformación de los botaderos de mina. El estudio da muestra de que las mineras pueden y deben crear sus propios métodos de conformación de botaderos, para que estos no representen un riesgo y que ello no implica descuidar el costo de operación.

Luego de haber revisado artículos científicos, tesis y publicaciones con temas relacionados a estabilidad de taludes de botaderos de mina, y de análisis de riesgos de deslizamientos; identificamos un problema latente en nuestro país. Este nace con la informalidad en la minería, y de ello se desprende la falta de planificación de sus botaderos de desmonte y los riesgos que de este se desprenden. La investigación presente busca aportar definiendo criterios para incluir el estudio de estabilidad de taludes (análisis geotécnico) y también otras disciplinas al estudio de gestión de

riesgos. En este caso el de deslizamiento de un talud inestable originado por desmontes de minas informales.

ii. Objetivo General:

La elaboración de un análisis de evaluación de riesgos originados por el depósito informal de desmonte de mina frente a una comunidad – Caso Depósito de Desmonte en Patate Trujillo.

iii. Objetivos Específicos:

- Realizar el modelamiento de la estabilidad física en el depósito de desmonte informal en Patate Trujillo con el Software Slide.
- Realizar un análisis de los resultados obtenidos de la investigación geotécnica y ensayos de laboratorio para definir los parámetros de resistencia de los materiales asignados.
- Realizar la evaluación de parámetros, y sus respectivos pesos ponderados y de los descriptores necesarios para el análisis de riesgo del deslizamiento de un Depósito de Desmonte Informal en Patate Trujillo siguiendo la metodología que nos brinda el Manual para la Evaluación de Riesgos Originados por Fenómenos Naturales – 2da Versión del CENEPRED.
- Analizar la peligrosidad del deslizamiento del talud originado por el botadero informal de desmonte minero, incluir los análisis de estabilidad como factores que permitan cuantificar la peligrosidad.
- Analizar la vulnerabilidad de los factores expuestos al deslizamiento.
- Analizar el nivel de riesgo que puede presentar el deslizamiento de un Depósito de Desmonte Informal frente a una población cercana.
- Brindar soluciones para la estabilidad Física del Depósito de Desmonte en caso presente riesgos muy altos ante la comunidad aledaña.

1. MARCO TEÓRICO

1.1 Introducción

En el presente capítulo se hará una exposición de conocimientos generales sobre la materia de nuestra investigación con el fin de facilitar el entendimiento de un lector no especializado en estabilidad de taludes y análisis de riesgos.

1.2 Estabilidad de taludes

1.2.1 Talud

Se considera talud a cualquier superficie de suelo expuesta e inclinada con respecto a la horizontal. En la que el equilibrio está básicamente formado por fuerzas de gravedad, que incitan al desplazamiento de la masa de suelo y la resistencia al cortante del suelo, que se oponen al desplazamiento. (Braja M Das, 2015)

1.2.2 Resistencia al corte

Es la resistencia interna que la masa de suelo ofrece a la falla y el deslizamiento, en cualquier plano interior. Es de mucha utilidad en ingeniería porque permite calcular la capacidad de carga de cimentaciones, la presión lateral del suelo, capacidad de carga de pilotes y, en nuestro particular, la estabilidad de los taludes.

Para la presente investigación, se aplicará el “Criterio de falla de Mohr-Coulomb”. Esta teoría afirma que los materiales se rompen, debido a una combinación entre esfuerzos normales y cortantes, por lo que debe existir una relación entre ambos. Se representa de la siguiente manera:

$$\tau_f = f(\sigma)$$

τ_f = esfuerzo cortante en el plano

$f(\sigma)$ = esfuerzo normal en el plano

En geotecnia y mecánica de suelos suele tomarse dicha relación como una función lineal del esfuerzo normal; se describe como:

$$\tau_f = c + \sigma \tan \phi$$

c = cohesión

ϕ = ángulo de fricción interna

Esta ecuación se representa mediante una recta conocida como envolvente de falla.

Figura 1.2-1 Envolvente de Falla

Fuente: Fundamentos de Ingeniería Geotécnica- Braja M. Das (2014)

1.2.3 Método Equilibrio Límite

Mediante el análisis de equilibrio límite se puede obtener el factor de seguridad, o los valores de resistencia a la cortante en el momento que ocurre la falla¹. Para ello, es necesario contar con los parámetros de resistencia de suelo y características del terreno como nivel freático, presión de poros e inclinación del talud. El análisis pretende evaluar, según las condiciones del terreno y los parámetros de resistencia, si el suelo llega a resistir los esfuerzos de la cortante causados por las fallas o deslizamiento en los taludes. Por tal motivo, se realizan las comparaciones entre los esfuerzos resistentes y actuantes obteniendo un factor de seguridad definido por la relación entre estos dos esfuerzos a lo largo de una superficie de falla.

$$F.S. = \frac{\sum \text{Resistencias disponibles al cortante}}{\sum \text{Esfuerzos al cortante}}$$

$$F.S. = \frac{\sum \text{Momentos resistentes disponibles}}{\sum \text{Momentos actuantes}}$$

¹ Cfr. Jaime Suarez 2009:130

La superficie de falla será aquella en la cual ocurra el deslizamiento o el corte en el talud². El factor de seguridad representa un promedio del valor total en toda la superficie y se asume que es igual a lo largo de ella. Es común asumir varias superficies de falla y evaluar el factor de seguridad de cada una, siendo la superficie crítica de falla aquella que tenga el menor factor de seguridad. Generalmente los parámetros que se utilizan en este análisis corresponden a los de resistencia del suelo (c: cohesión, Ø: ángulo de fricción, γ: peso específico) y a la presión de poros (u), causada por la existencia de niveles freáticos.

1.2.4 Factor de seguridad

Se define como la división entre fuerzas resistentes y las condiciones desencadenantes del movimiento.

$$FS = \frac{\tau_f}{\tau_d}$$

FS = Factor de seguridad

τ_f = resistencia al cortante

τ_d = Esfuerzo cortante en el plano de falla

Los factores de seguridad aceptables para las distintas condiciones de estabilidad, estático, según las recomendaciones de la Guía ambiental para la estabilidad de taludes del depósito de residuos sólidos del MINEM y del Manual de Ingeniería de estabilidad de taludes del U.S. Army Corps of Engineers (USACE), el factor de seguridad para condiciones estáticas aceptables debe ser superior a 1.5. Estos valores corresponden al Cuadro 1.2-1.

² Cfr. Jaime Suarez 2009:134

Cuadro 1.2-1 – Factores de Seguridad Mínimos para Presas de Tierra

CONDICION	Talud Aguas Arriba	Talud Aguas Abajo
I) Al final de la construcción para presas de mas de 15m.	1.3	1.3
II) Estado de infiltración constante	--	1.5
III) Desembalzo rápido	1.5	--
IV) Sismo - Solo condiciones I y II	1.0	1.0

Fuente: USACE 2003: 26

1.3 Minería informal e ilegal

La minería es la actividad de extracción y tratamiento de minerales de provecho para el uso humano. El hombre la realiza desde la prehistoria para permitirse la confección de armas, herramientas, objetos de belleza, entre otros.

Debido a que los minerales de interés rara vez se encuentran en la superficie, es necesario hacer excavaciones superficiales o subterráneas para llegar hasta el yacimiento. Ello origina grandes cantidades de suelo removido. Este material si no es colocado de manera planificada representa un riesgo de deslizamiento de talud.

En el Perú se pueden distinguir, según el cumplimiento de la ley, tres clases de minas. La minería formal, la informal y la ilegal. Es la minería informal la fuente de nuestro caso de estudio y donde se encuentra la relevancia de este.

Según Carmen Heck, la diferencia entre minería ilegal e informal radica principalmente en que la primera se desarrolla en zonas en que está prohibida la minería. Mientras que la minería informal realiza sus actividades en zonas permitidas para la minería y está en proceso de formalización.

Según Alvarado (2014), la minería informal e ilegal son preferidas por los pobladores antes que otras actividades como la forestal, la agricultura o ganadería debido al fuerte ingreso económico que esta representa. A pesar de representar riesgos de enfermedades, accidentes y legales. Pone como ejemplo la región de Madre de Dios, en la que el 90% de la minería era ilegal o informal y que cerca de doscientas mil familias en ese departamento se dedican a estas actividades. La minería ilegal e informal son una realidad en el Perú y los riesgos que estas deben ser analizadas, así como se hace para la minería formal.

1.3.1 Botaderos de desmonte de mina

Un botadero de desmonte es la acumulación de materiales sólidos de diversa composición y granulometría, que son residuos o desechos de alguna actividad humana. En minería la cantidad de material con poco o nulo valor económico hace que existan grandes depósitos de desmonte, los cuales deben ser colocados de tal manera que se asegure la estabilidad del depósito, así como también se tengan en cuenta otros aspectos, como los ambientales y culturales.

La minería informal en el Perú, aunque en proceso de formación, tiene aún muchas deficiencias. Una de las principales es el manejo de los riesgos que sus depósitos suponen para sus propios trabajadores y poblaciones cercanas. Por ello, el presente trabajo de investigación propone vías de solución para estabilidad de un talud crítico, y el análisis de riesgos de estos depósitos, léase taludes, mal diseñados.

1.4 ¿Riesgo, peligro, vulnerabilidad?

1.4.1 Definiciones

El riesgo está conceptualmente definido como la combinación de la probabilidad de que se produzca un evento negativo y la magnitud de sus consecuencias. Por lo tanto, el riesgo puede ser manejado de diversas maneras; tanto eliminando, o disminuyendo el peligro como atacando la vulnerabilidad y mejorando la resiliencia de la población frente a este.

Peligro, se le define como la probabilidad de ocurrencia de un suceso con consecuencias negativas, dentro de un periodo de tiempo, una zona establecida y una intensidad determinada. También se le define como el objeto potencial causante de un daño. Puede ser físico, biológico o químico.

Vulnerabilidad, se refiere al grado de exposición de los habitantes de una zona frente a la ocurrencia de un desastre o materialización de un peligro. Se le suele determinar a través de tres componentes que la conforman: exposición, fragilidad y resiliencia.

Exposición, CENEPRED define la exposición como toda decisión o práctica que ubica al hombre y sus medios de vida en una zona de peligro. Entonces, esta se generaría por una inadecuada relación entre el hombre y el espacio. Este componente tiene relación directamente proporcional con la vulnerabilidad; quiere decir que mientras haya más exposición, mayor será la vulnerabilidad.

Fragilidad, se define como la condición de desventaja de los elementos expuestos ante un peligro. Estas desventajas son básicamente de origen físico, tal como el tipo de construcciones, el material, entre otros. Al igual que la exposición, guarda relación directamente proporcional con la vulnerabilidad.

Resiliencia, este tercer componente de la vulnerabilidad se le entiende como la capacidad de la población expuesta para recuperarse luego de ocurrido el peligro. Este componente es inversamente proporcional a la vulnerabilidad; es decir, a mayor resiliencia, menos vulnerabilidad.

1.4.2 Clasificación de los peligros según su origen

El CENEPRED hace distinción de los peligros según el origen de estos, esta clasificación se resume en la siguiente figura:

Figura 1.4-1 – Clasificación de peligros

Fuente: Manual para la Evaluación de Riesgos Originados por Fenómenos Naturales – 2da Versión (CENEPRED, 2014)

El deslizamiento de masas de suelo, se encuentra dentro de la categoría “Peligros generados por fenómenos de origen natural”, en el subgénero de “Peligros Generados por Fenómenos de Geodinámica Externa”. Luego de ubicar al fenómeno, se deben considerar los parámetros pertinentes que permitan formar una matriz, que a la vez ayude a cuantificar o calificar el peligro de deslizamiento.

2. METODOLOGÍA

2.1 Nivel de Investigación

La investigación es del nivel descriptivo debido a que se realizará un análisis de riesgo de un diseño civil realizado de manera informal. Cuantificando los posibles riesgos, con previa información obtenida de una investigación de campo, del cual se hará un análisis más profundo a la estabilidad física de dicho diseño. Así mismo, daremos recomendaciones y posibles soluciones ante la situación del diseño de estudio.

2.2 Diseño de Investigación

La metodología que se utilizará para el presente proyecto se basa en la recopilación de información del sitio de investigación y en el procesamiento de los datos obtenidos para un análisis de estabilidad y de riesgo. Gracias a dicha investigación se podrá recopilar datos importantes referidos al área de estudio para luego poder realizar análisis competentes para nuestro estudio. A continuación, se detallarán las herramientas utilizadas para la ejecución de la tesis.

2.3 Procedimiento

Los pasos seguidos para el desarrollo de la investigación son los siguientes:

- Paso 1. Recopilación de información del Sitio de Investigación
- Paso 2. Realizar un Análisis de Estabilidad Física
- Paso 3. Análisis de Riesgo

2.3.1 Recopilación de Información del Sitio de Investigación

Para poder realizar un análisis de estabilidad y de riesgo es necesario contar con información actualizada de la zona de estudio. A continuación, se listarán dichos puntos y se hará una breve descripción de ello:

- Topografía

- Investigación Geotécnica
- Ensayos de Laboratorio
- Estudio de Sismicidad

2.3.1.1 Topografía

La topografía es un método que se encarga de representar la superficie de una zona específica con todos sus detalles de forma plana con sus respectivas elevaciones.

Todos los proyectos de ingeniería necesitan de un previo levantamiento topográfico de la zona de estudio, para luego realizar un replanteo con el propósito de disponer las obras del proyecto.

2.3.1.2 Investigación Geotécnica:

Es de suma importancia conocer si la cimentación donde se dispondrá la estructura de contención es competente o inadecuada.

Para ello es necesaria la exploración directa de campo, el cual se puede realizar por medio de las siguientes exploraciones:

- Ejecución de Calicatas y/o Trincheras
- Ejecución de Perforaciones o Pozos abiertos

Una vez ejecutadas las exploraciones de campo, se debieron tomar muestras disturbadas representativas, las cuales tienen que ser identificadas en bolsas plásticas y enviarse al laboratorio de mecánica de suelos.

2.3.1.3 Análisis de Resultados de Laboratorio de Suelo

De acuerdo con el ASTM (1996) se debe determinar ciertas características de los materiales de desechos sólidos, materiales de préstamo o suelo de cimentación, mediante pruebas de laboratorio. Los diferentes tipos de ensayos son los siguientes:

- Ensayos Estándar:

- Análisis Granulométrico (ASTM D422-63),
- Límites de Atterberg (ASTM D4318),
- Clasificación SUCS (ASTM D2487-98),
- Contenido de humedad (ASTM D2216-98),
- Ensayos Especiales:
 - Gravedad Específica (ASTM D854)
 - Densidad Relativa (ASTM D4253 y D4254)
 - Triaxial (ASTM D4767)
 - Corte Directo (ASTM D3080)
 - Consolidación (ASTM D2435)
 - Permeabilidad (ASTM D2434)

2.3.1.4 Estudio de Sismicidad

Para poder evaluar la estabilidad física del diseño civil considerando las cargas que puede repercutir las cargas sísmicas, es necesario realizar un estudio sísmico a la zona de estudio. Existen dos tipos de análisis sísmicos: el potencial de licuefacción y el potencial de deformación; sin embargo, para el presente estudio se utilizará el de deformación. Es necesario que se realice un buen estudio sísmico, puesto que Perú es un país altamente sísmico y los diseños deben soportar dichos eventos.

2.3.2 Análisis de Estabilidad Física

Por medio de un análisis de estabilidad es posible conocer cuál es la situación actual de un diseño civil. Para ello es necesario conocer los tipos de suelos donde se emplaza el diseño y las características geotécnicas de cada una de ellas. Para poder realizar el análisis de estabilidad es necesario obtener la sección más crítica del diseño a evaluar.

2.3.3 Análisis de Riesgos

El presente trabajo aplica en esencia la metodología de estimación del riesgo brindada por el CENEPRED. Como resultado final se obtiene un valor numérico del riesgo, el cual está definido por la siguiente ecuación:

$$Riesgo = Peligro \times Vulnerabilidad$$

Por lo tanto, para poder calcular el valor del riesgo se necesita el valor del peligro, que está asociado a la probabilidad de ocurrencia y la vulnerabilidad, que está asociada a la gravedad de los daños que el evento puede causar sobre el área de influencia.

2.3.3.1 Identificación de Probable Área de Influencia del Fenómeno de Estudio

Para iniciar el análisis de riesgo, se debe identificar el área probable de influencia y realizar una recopilación de datos históricos de los impactos producidos por fenómenos naturales. Luego de identificar las áreas de influencia, se prioriza los ámbitos de mayor probabilidad de ser afectado, definiendo los parámetros característicos de los eventos. A partir de ello se procede a una adecuada caracterización de los peligros generados por estos.

2.3.3.2 Definir Parámetros

Una vez obtenida las áreas de influencia, se prosigue a definir todos los parámetros para la identificación y caracterización del peligro y la vulnerabilidad. El nivel de peligrosidad está asociado directamente a la probabilidad de ocurrencia de este. Así mismo, se define en base al estudio de tres factores: la identificación de la peligrosidad, los factores condicionantes y los factores desencadenantes del peligro. El nivel de vulnerabilidad se define en base a tres factores: exposición, fragilidad y resiliencia. Cada uno de estos será analizado en tres dimensiones: dimensión social, dimensión económica y la dimensión ambiental.

A forma de explicar la metodología del análisis utilizaremos como ejemplo el flujograma del análisis de riesgo para fenómenos de geodinámica externa según fenómenos como el movimiento de masa. En la Figura 2.3-1 se puede observar el flujograma de los parámetros mencionados.

Figura 2.3-1 – Flujograma para Análisis de Riesgo: Movimiento de Masa

Fuente: Manual para la Evaluación de Riesgos Originados por Fenómenos Naturales – 2da Versión (CENEPRED, 2014)

2.3.3.3 Análisis Jerárquico

Para la determinación de los pesos de cada parámetro o descriptor, el Manual para la Evaluación Originados por Fenómenos Naturales indica que se debe seguir el Proceso de Análisis Jerárquico (PAJ) de Thomas L. Saaty. Este método ayuda a resolver problemas de alta complejidad con múltiples criterios. Para ello se requiere que quien ejecuta el análisis establezca una valoración subjetiva a cada uno de los factores, usando uno de ellos como referencia para los demás. Luego de ello, debe escoger la alternativa que sea la que represente a su caso aplicativo.

La ventaja del PAJ reside en que permite incorporar datos cuantitativos incluso a aspectos cualitativos que normalmente quedarían fuera del análisis debido a su complejidad de medición. Thomas Saaty presenta de esta manera su metodología: “se trata de desmenuzar un problema y luego unir todas las soluciones de los subproblemas en una conclusión”. En el Cuadro 2.3-1 se puede observar la Escala de Saaty.

Cuadro 2.3-1 – Escala de Saaty

ESCALA NUMÉRICA	ESCALA VERBAL	EXPLICACIÓN
9	Absolutamente o muchísimo más importante que ...	Al comparar un elemento con otro el primero se considera absolutamente o muchísimo más importante que el segundo.
7	Mucho más importante o preferido que ...	Al comparar un elemento con otro el primero se considera absolutamente o muchísimo más importante o preferido que el segundo.
5	Más importante o preferido que...	Al comparar un elemento con otro el primero se considera más importante o preferido que el segundo.
3	Ligeramente más importante o preferido que ...	Al comparar un elemento con otro, el primero es ligeramente más importante o preferido que el segundo.
1	Igual o diferente a ...	Al comparar un elemento con otro, hay indiferencia entre ellos.
1/3	Ligeramente menos importante o preferido que ...	Al comparar un elemento con otro, el primero se considera ligeramente menos importante o preferido que el segundo.
1/5	Menos importante o preferido que ...	Al comparar un elemento con otro, el primero se considera menos importante o preferido que el segundo.
1/7	Mucho menos importante o preferido que ...	Al comparar un elemento con otro, el primero se considera mucho menos importante o preferido que el segundo.
1/9	Absolutamente o muchísimo	Al comparar un elemento con otro el primero se considera absolutamente o muchísimo más importante que el segundo.
2, 4, 6, 8	Valores intermedios entre dos juicios adyacentes, que se emplean cuando es necesario un término medio entre dos de las intensidades anteriores.	

Fuente: Manual para la Evaluación de Riesgos Originados por Fenómenos Naturales – 2da Versión (CENEPRED, 2014)

La metodología del CENEPRED indica que cada parámetro debe tener cinco descriptores. Así los rangos establecidos para los valores de peligro, vulnerabilidad y riesgo guardarán coherencia con los valores establecidos.

2.3.3.4 Asignación de Pesos a Parámetros

Una vez identificado los parámetros de estudio, se procede a asignar los pesos ponderados de los parámetros por cada aspecto de análisis. Para ello se utilizará el Método Multicriterio, ubicado en el Anexo 5. Vale mencionar que la cantidad de filas y columnas de la matriz de cálculo depende del número de parámetros, en el Cuadro 2.3-2 se presenta un ejemplo de ello. Para el caso práctico, se utilizara la matriz de “asignación de peligro” del análisis de riesgo para eventos de “Movimiento de Masa”, el cual cuenta con 3 parámetros: Magnitud de sismo, Intensidad de Sismo y Aceleración natural del suelo.

Cuadro 2.3-2 – Matriz Ejemplo

PARAMETRO	Magnitud de sismo	Intensidad de sismo	Aceleración del suelo
Magnitud de sismo			
Intensidad de sismo			
Aceleración natural del suelo			

Fuente: Manual para la Evaluación de Riesgos Originados por Fenómenos Naturales – 2da Versión (CENEPRED, 2014)

Luego se colocan valores según la escala de Saaty en los cuadros, realizando una comparación de pares determinando la importancia de cada parámetro. Cuando se comparan dos parámetros iguales se coloca el valor de la unidad (1), luego se compara la importancia de los parámetros de la fila respecto al de la columna. Obteniendo finalmente una matriz como se presenta en el siguiente cuadro:

Cuadro 2.3-3 – Matriz Ejemplo – Con Valores de Escala de Saaty

PARAMETRO	Magnitud de sismo	Intensidad de sismo	Aceleración natural del suelo
Magnitud de sismo	1.00	1/3	5.00
Intensidad de sismo	3.00	1.00	7.00
Aceleración natural del suelo	1/5	1/7	1.00

Fuente: Manual para la Evaluación de Riesgos Originados por Fenómenos Naturales – 2da Versión (CENEPRED, 2014)

En nuestro caso ejemplo podemos observar que el parámetro de intensidad de sismo es “ligeramente más importante o preferido que” la magnitud de sismo.

Luego de asignar los valores se procede a sumar todas las columnas para luego hallar la inversa de esta, quedando finalmente como en el Cuadro 2.3-4.

Cuadro 2.3-4 – Cuadro Ejemplo – Suma de Columnas

PARAMETRO	Magnitud de sismo	Intensidad de sismo	Aceleración natural del suelo
Magnitud de sismo	1.00	0.33	5.00
Intensidad de sismo	3.00	1.00	7.00
Aceleración natural del suelo	0.20	0.14	1.00
suma	4.200	1.476	13.000
1/suma	0.238	0.677	0.077

Fuente: Manual para la Evaluación de Riesgos Originados por Fenómenos Naturales – 2da Versión (CENEPRED, 2014)

Luego se elabora una matriz multiplicando cada valor de la columna con su respectiva suma inversa. Y finalmente se suman las filas de esta nueva matriz, obteniendo de dicha forma los valores de ponderación de los parámetros. En el Cuadro 2.3-5 se puede observar el resumen de lo mencionado.

Cuadro 2.3-5 – Matriz Ejemplo – Pesos Ponderados

PARAMETRO	Magnitud de sismo	Intensidad de sismo	Aceleración natural del suelo	VECTOR PRIORIZACIÓN (PONDERACIÓN)
Magnitud de sismo	0.238	0.226	0.385	0.283
Intensidad de sismo	0.714	0.677	0.538	0.643
Aceleración natural del suelo	0.048	0.097	0.077	0.074
	1.000	1.000	1.000	1.000

Fuente: Manual para la Evaluación de Riesgos Originados por Fenómenos Naturales – 2da Versión (CENEPRED, 2014)

Para certificar que los valores se han colocado de manera adecuada, se procede a realizar el cálculo de relación de consistencia. Para ello se debe realizar una multiplicación de las matrices halladas anteriormente, la matriz principal con los valores de escala e Satty con la matriz de Vector Priorización (Ponderación), obteniendo como resultado el Vector Suma Ponderada. En el Cuadro 2.3-6 se puede observar el resumen de lo mencionado.

Cuadro 2.3-6 – Matriz Ejemplo – Vector Suma Ponderada

PARAMETRO	Magnitud de sismo	Intensidad de sismo	Aceleración natural del suelo		Vector Priorización (Ponderación)		Vector Suma Ponderada
Magnitud de sismo	1.00	0.33	5.00	X	0.283	=	0.866
Intensidad de sismo	3.00	1.00	7.00		0.643		2.008
Aceleración natural del suelo	0.20	0.14	1.00		0.074		0.222

Fuente: Manual para la Evaluación de Riesgos Originados por Fenómenos Naturales – 2da Versión (CENEPRED, 2014)

Luego se halla el valor de λ_{MAX} , dividiendo los valores del Vector Suma Ponderada y el Vector de Priorización. En el Cuadro 2.3-7 se puede observar dicho cálculo.

Cuadro 2.3-7 – Matriz Ejemplo - λ_{MAX}

Vector Suma Ponderada	÷	Vector Priorización (Ponderación)	=	λ_{MAX}
0.866		0.283		3.060
2.008		0.643		3.123
0.222		0.074		3.000

Fuente: Manual para la Evaluación de Riesgos Originados por Fenómenos Naturales – 2da Versión (CENEPRED, 2014)

Finalmente, se halla un promedio de todos los valores de λ_{MAX} para utilizarlo en la ecuación de Índice de Consistencia y este utilizarlo en ecuación de Relación de Consistencia.

$$RC = \frac{IC}{IA} = \frac{0.0305}{0.525} = 0.058$$

El valor obtenido debe ser menor a 0.04 para matrices de 3 parámetros, menor a 0.08 para matrices de 4 parámetros y menor a 0.1 para matrices mayores de 4 parámetros.

2.3.3.5 Asignación de Pesos a Descriptores

Dentro de cada parámetro encontramos descriptores, los cuales detallan los niveles o rangos que este factor puede adoptar. La metodología para hallar los pesos ponderados de los descriptores es la misma que se utilizó en el capítulo anterior. Sin embargo, en este caso es necesario que las matrices de descriptores tengan siempre la misma cantidad de columnas y filas, y al momento de colocar los valores de Saaty se considerará que los descriptores superiores tienen mayor importancia. En el Cuadro 2.3-8 se puede un resumen de los mencionado.

Cuadro 2.3-8 – Matriz Ejemplo para Descriptores

DESCRPTORES	Mayor a 8.0: Grandes terremotos	6.0 a 7.9: sismo mayor	4.5 a 5.9: Puede causar daños menores en la localidad	3.5 a 4.4: Sentido por mucha gente	Menor a 3.4: No es sentido en general pero es registrado por sismógrafos
Mayor a 8.0: Grandes terremotos.	1.00	3.00	5.00	7.00	9.00
6.0 a 7.9: Sismo mayor.	1/3	1.00	3.00	5.00	7.00
4.5 a 5.9: Puede causar daños menores en la localidad.	1/5	1/3	1.00	3.00	5.00
3.5 a 4.4: Sentido por mucha gente.	1/7	1/5	1/3	1.00	3.00
Menor a 3.4: No es sentido en general pero es registrado por sismógrafos.	1/9	1/7	1/5	1/3	1.00

Fuente: Manual para la Evaluación de Riesgos Originados por Fenómenos Naturales – 2da Versión (CENEPRED, 2014)

Luego de realizar los pasos determinados por el método multicriterio, se obtiene la siguiente matriz:

Cuadro 2.3-9 – Matriz Ejemplo para Descriptores - Ponderación

DESCRPTORES	Mayor a 8.0: Grandes terremotos	6.0 a 7.9: sismo mayor	4.5 a 5.9: Puede causar daños menores en la localidad	3.5 a 4.4: Sentido por mucha gente	Menor a 3.4: No es sentido en general pero es registrado por sismógrafos	VECTOR PRIORIZACIÓN (PONDERACIÓN)
Mayor a 8.0: Grandes terremotos.	0.560	0.642	0.524	0.429	0.360	0.503
6.0 a 7.9: Sismo mayor.	0.187	0.214	0.315	0.306	0.280	0.260
4.5 a 5.9: Puede causar daños menores en la localidad.	0.112	0.071	0.105	0.184	0.200	0.134
3.5 a 4.4: Sentido por mucha gente.	0.080	0.043	0.035	0.061	0.120	0.068
Menor a 3.4: No es sentido en general pero es registrado por sismógrafos.	0.062	0.031	0.021	0.020	0.40	0.035

Fuente: Manual para la Evaluación de Riesgos Originados por Fenómenos Naturales – 2da Versión (CENEPRED, 2014)

Obteniendo así los valores de ponderación de cada descriptor. Vale recalcar que luego de definir los valores de ponderación es necesario realizar el cálculo de relación de Consistencia.

Los valores obtenidos de la ponderación de descriptores serán los rangos de los niveles de Peligrosidad, Vulnerabilidad y de Riesgo.

2.3.3.6 Estimación de Nivel de Peligrosidad

El peligro está asociado directamente a la probabilidad de ocurrencia de este. El peligro se define en base al estudio de tres factores: la identificación de la peligrosidad, los factores condicionantes y los factores desencadenantes del peligro. Cada uno de estos factores contienen parámetros.

A continuación, se presenta el Cuadro 2.3-10 para poder explicar mejor la metodología.

Cuadro 2.3-10 – Matriz Ejemplo – Parámetro: Textura de Suelo

PARÁMETRO		FENDIENTE	PESO PONDERADO: 0.306	
DESCRPTORES	TX1	Finas: Suelos arcillosos (arcilloso arenoso, arcilloso limonoso, arcilloso)	PTX1	0.503
	TX2	Moderadamente Fina: Suelos francos (franco arcilloso, franco limonoso arcilloso y/o franco limonoso arcilloso)	PTX2	0.260
	TX3	Mediana: Suelos francos (franco, franco limonoso y/o limonoso)	PTX3	0.134
	TX4	Moderadamente gruesa: suelos francos (franco arenoso)	PTX4	0.068
	TX5	Gruesa: Suelos arenosos: arenosos, franco arenosos	PTX5	0.035

Fuente: Manual para la Evaluación de Riesgos Originados por Fenómenos Naturales – 2da Versión (CENEPRED, 2014)

Luego de haber asignado el peso ponderado al parámetro y el valor de cada uno de los descriptores del parámetro, se escoge el descriptor que representa la realidad del caso de estudio y se multiplica por el peso ponderado del parámetro que lo contiene. Siguiendo con el cuadro ejemplo, se aplica la multiplicación de la siguiente manera:

$$0.503 (PTX2) * 0.306 (\text{Peso pond. del parámetro}) = 0.154 (\text{valor del parámetro})$$

Como paso siguiente, se suman los valores de cada parámetro para así hallar el valor de peligro de factor. A continuación, en el Cuadro 2.3-11 donde se resumen la forma de calcular el valor de cada factor.

Cuadro 2.3-11 – Cuadro Ejemplo - Resumen de Valor de Peligro

PARÁMETRO 1		PARÁMETRO 2		PARÁMETRO 3		PARÁMETRO 4		VALOR DE PELIGRO
Descriptor	Peso	Descriptor	Peso	Descriptor	Peso	Descriptor	Peso	
0.503	0.306	0.503	0.548	0.503	0.101	0.503	0.045	0.503

Luego de ello, se procede a identificar los factores condicionantes. Estos nos ayudan a detallar la realidad del peligro antes del suceso.

Los factores desencadenantes son aquellas condiciones temporales, con magnitud e intensidad que pueden ocurrir para que el talud falle.

Para cada parámetro se aplica la misma fórmula de “peso ponderado por descriptor”, luego se suman los parámetros y se halla el valor numérico tanto para factores condicionantes como factores desencadenantes. A continuación, se promedia estos dos valores para hallar el valor de susceptibilidad.

Finalmente, se promedian los dos factores: identificación de la peligrosidad y el valor de susceptibilidad; para así poder hallar el nivel de peligrosidad. En el Cuadro 2.3-12 se definen los rangos.

Cuadro 2.3-12 – Niveles de Peligrosidad

Nivel de peligrosidad	Rango
Riesgo muy alto	$0.260 \leq R < 0.503$
Riesgo alto	$0.134 \leq R < 0.260$
Riesgo medio	$0.068 \leq R < 0.134$
Riesgo bajo	$0.035 \leq R < 0.068$

Fuente: Adaptado de Manual Para la Evaluación de Riesgos originados por fenómenos naturales (CENEPRED)

2.3.3.7 Estimación de Nivel de Vulnerabilidad

Siguiendo la metodología del CENEPRED, cada uno de los factores será analizado multiplicando el valor del descriptor correspondiente al caso de estudio por el peso ponderado del parámetro en evaluación. Es el mismo procedimiento que se aplicó para la peligrosidad.

A continuación, se detallan ejemplos de parámetros que pueden ser evaluados en cada dimensión. Para ello se hace un levantamiento de información del lugar de estudio y se cuantifica el nivel de exposición de cada parámetro.

Cuadro 2.3-13 – División de Sectores

Sectores Sociales	Sectores Económicos	Sector Ambiental
Población	Agricultura	Deforestación
Educación	Minería	Ecosistemas
Salud	Ganadería	Recursos naturales
Vivienda	Industria	
Cultura	Energía	
Justicia	Construcción	
Seguridad		

Para un mayor conocimiento de las características de la zona es recomendable cuantificar algunos datos que puedan ayudar al momento de elegir los descriptores de los diferentes sectores.

Cuadro 2.3-14 - Características del Caso de Estudio por Sector

DIMENSION	SECTOR	ELEMENTO EXPUESTO	CANT.
SECTOR SOCIAL	Educación	Centros Educativos	
	Vivienda y Ornato	Casas	
		Plazas	
		Postes	
		losa deportiva	
		Parques	
		Veredas	
		locales comunales	
	Cultura	Museos	
		Bibliotecas	
SECTOR ECONÓMICO	Agropecuario	Campos agrícolas	
		pastos naturales	
		estancias de ganado	
	Minería	Accesos	
		Bocaminas	
		campamentos	
	Energía	Postes de energía	
		Generadores	
		grupos electrógenos	
SECTOR MEDIO AMBIENTE	Flora y fauna	pastos naturales	
		Bosques	
		especies protegidas	
	Recursos	Suelo	
		Agua	

Cuadro 2.3-15 – Niveles de Vulnerabilidad

Nivel de Vulnerabilidad	Rango
Riesgo muy alto	$0.260 \leq R < 0.503$
Riesgo alto	$0.134 \leq R < 0.260$
Riesgo medio	$0.068 \leq R < 0.134$
Riesgo bajo	$0.035 \leq R < 0.068$

Fuente: Adaptado de Manual Para la Evaluación de Riesgos originados por fenómenos naturales (CENEPRED)

Nivel de Vulnerabilidad	Rango
Riesgo muy alto	$0.260 \leq R < 0.503$
Riesgo alto	$0.134 \leq R < 0.260$
Riesgo medio	$0.068 \leq R < 0.134$
Riesgo bajo	$0.035 \leq R < 0.068$

2.3.3.8 Estimación de Nivel de Riesgo

Diagrama de Matriz de Peligrosidad (Y) vs Vulnerabilidad (X).

RIESGO ALTO	RIESGO ALTO	RIESGO ALTO	RIESGO MUY ALTO (x,y)
RIESGO MEDIO	RIESGO MEDIO	RIESGO ALTO	RIESGO ALTO
RIESGO BAJO	RIESGO MEDIO	RIESGO MEDIO	RIESGO ALTO
RIESGO BAJO	RIESGO BAJO	RIESGO MEDIO	RIESGO ALTO

Adaptado de: Manual para la Evaluación de Riesgos Originados por Fenómenos Naturales – 2da Versión (CENEPRED, 2014)

Para una representación numérica, el valor de riesgo se obtiene de la multiplicación del valor de peligrosidad con el valor de vulnerabilidad. En el Cuadro 2.3-16 se definen los rangos.

Cuadro 2.3-16 – Niveles de Riesgo

Nivel de Riesgo	Rango
Riesgo muy alto	$0.068 \leq R < 0.253$
Riesgo alto	$0.018 \leq R < 0.068$
Riesgo medio	$0.005 \leq R < 0.018$
Riesgo bajo	$0.001 \leq R < 0.005$

Fuente: Adaptado de Manual Para la Evaluación de Riesgos originados por fenómenos naturales (CENEPRED)

3. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO A ESTUDIAR

3.1 Ubicación y Acceso

El proyecto que se trabajará en la presente tesis se encuentra ubicado en el distrito de Vijus, provincia de Pataz, departamento de Lima, a una altitud promedio de 2,200 m s.n.m.

Ilustración 3.1-1 - Ubicación del Proyecto en Mapa del Perú

Fuente: JMF - 2019

Ilustración 3.1-2 - Ubicación del Proyecto en Mapa Local

Fuente: JMF 2019

3.2 Investigación Geotécnica

La investigación geotécnica y los ensayos de laboratorio del presente estudio fueron realizados por las empresas JMF Ingeniería & Construcción y GeoLab Ingenieros S.A.C. Así mismo, mencionar que el laboratorio de mecánica de suelos se encuentra situado en la ciudad de Lima, por lo cual las muestras fueron identificadas y almacenadas en bolsas plásticas para ser enviadas sin alteraciones.

3.2.1 Calicatas y Trincheras

Con la finalidad de identificar el perfil estratigráfico del suelo de fundación y del desmonte de mina, se excavaron a cielo abierto doce (12) calicatas. Estas fueron ubicadas convenientemente dentro del área de estudio.

En Cuadro 3.2-1 se presenta un resumen de las características de las calicatas y en el plano geotécnico P-01 se muestran las ubicaciones en planta de las calicatas realizadas. En el Anexo 1 se puede visualizar los registros de calicatas.

Cuadro 3.2-1 – Resumen de Calicatas

Empresa	Calicata	Coordenadas UTM		Nivel Agua (m)	Suelo Orgánico (m)	Nivel Roca (m)	Prof. Total
		Norte	Este				
GeoLab	CG-1	9 147 794	210 563	N.E.	N.E.	1.5	1.50
	CG-2	9 147 763	210 572	N.E.	N.E.	N.E.	3.00
	CG-3	9 147 767	210 580	N.E.	N.E.	N.E.	3.00
	CG-4	9 147 756	210 619	N.E.	N.E.	1.60	1.60
	CG-5	9 147 815	210 590	N.E.	N.E.	1.60	1.60
	CG-6	9 147 814	210 609	N.E.	N.E.	1.60	1.60
	CG-7	9 147 768	210 609	N.E.	N.E.	1.20	1.20
	CG-8	9 147 740	210 625	N.E.	N.E.	1.10	1.10
	CG-10	9 147 606	210 686	N.E.	N.E.	2.60	2.60
	CG-11	9 147 592	210 675	N.E.	N.E.	0.60	0.60
	CG-12	9 147 634	210 708	N.E.	N.E.	N.E.	1.60
JMF	CA-01	-	-	N.E.	N.E.	N.E.	Sup.
	CA-02	-	-	N.E.	N.E.	N.E.	Sup.

Fuente: JMF Ingeniería y Construcción S.A.C.

Abreviaturas:

N.E: No encontrado

Sup: Superficial

3.2.2 Ensayos de DPL

A fin de conocer el estado de compacidad y resistencia de los materiales se realizaron cuatro (04) ensayos de Penetración Ligera (DPL) de acuerdo a lo indicado en la norma NTE 339.159 (DIN 4094). Los puntos fueron convenientemente distribuidos dentro del Depósito de Desmonte.

En gabinete se procesaron los números de golpes que fueron registrados durante la ejecución de los ensayos de DPL, para poder correlacionarlos con valores de número de golpes del SPT, determinando el estado de compacidad de los materiales en profundidad.

El Cuadro 3.2-2 presenta un resumen de los ensayos de DPL realizados y en el plano geotécnico P-01 se muestran las ubicaciones en planta de los DPL realizados. En el Anexo 2 se puede visualizar los registros de DPL.

Cuadro 3.2-2 – Resumen Ensayos DPL

Área de Investigación	DPL JMF	Coordenadas WGS84		Prof. De rechazo (m)
		Norte	Este	
Depósito de Relaves 1 y 3	DPL-1	9°147,419.43	210,342.02	2,50
	DPL-2	9°147,397.43	210,371.02	7,00
	DPL-3	9°147,277.43	210,452.02	4,00
	DPL-4	9°147,233.43	210,508.02	1,60
	DPL-5	9°147,328.43	210,390.02	9,00
	DPL-5A	9°147,211.43	210,445.02	0,50

Fuente: Geolab Ingenieros S.A.C.

3.3 Ensayos de Laboratorio

Se llevaron a cabo ensayos de laboratorio de mecánica de suelos a las muestras obtenidas. De este modo podremos conocer las propiedades físicas y mecánicas de los materiales involucrados en el proyecto.

3.3.1 Ensayos Índices en Mecánica de Suelos

En las muestras seleccionadas se llevaron a cabo ensayos estándares de laboratorio con fines de identificación y clasificación según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS).

Las propiedades de índices de los suelos ensayados en términos de granulometría, límites de consistencia y contenido de humedad se resumen en la Cuadro 3.3-1. Así mismo, en el Anexo 3.1 se muestran los certificados.

Cuadro 3.3-1 – Resumen de Ensayos de Clasificación de Suelos

Lab.	Calicata	Prof. (m)	Clasif. SUCS	Granulometría			Límites de Atterberg		Cont. Humed. (w%)
				Grava (%)	Arenas (%)	Finos (%)	LL	IP	
GeoLab	CG-1	0,00-1,50	SW-SM	24,7	69,0	6,3	NP	NP	5,0
	CG-2	0,00-3,00	GW-GM	49,3	43,1	7,7	NP	NP	5,3
	CG-3	0,00-3,00	GW-GM	60,1	30,6	9,3	NP	NP	5,3
	CG-4	0,10-1,60	SW-SM	7,8	81,5	10,7	NP	NP	6,1
	CG-5	0,10-1,60	SW-SM	7,8	81,5	10,7	NP	NP	6,1
	CG-6	0,10-1,60	SW-SM	7,8	81,5	10,7	NP	NP	6,1
	CG-7	0,00-1,20	SW-SM	7,8	81,5	10,7	NP	NP	6,1
	CG-8	0,00-1,10	SW-SM	7,8	81,5	10,7	NP	NP	6,1
	CG-10	0,50-2,60	SW-SM	22,1	71,8	6,1	NP	NP	4,9
	CG-11	0,00-0,60	SW-SM	7,8	81,5	10,7	NP	NP	6,1
	CG-12	0,00-1,60	SW-SM	7,8	81,5	10,7	NP	NP	6,1
JMF	CA-01	0.00	GP-GM	72.9	21.5	5.6	NP	NP	0.7
	CA-02	0.00	GW-GM	69.4	23.2	7.4	NP	NP	1.5

Fuente: JMF Ingeniería y Construcción S.A.C.

Geolab Ingenieros S.A.C.

Donde:

SUCS: Sistema Unificado de Clasificación de suelos.

LL: Limite Líquido

IP: Índice Plástico

3.3.2 Ensayos de Compactación

Se realizaron ensayos de proctor modificado al material de desmonte, según los procedimientos de la norma ASTM D-1557. De dicho ensayo se obtuvo la variación de la densidad seca con respecto al contenido de humedad.

En el Cuadro 3.3-2 se presentan los resultados de los ensayos y los certificados de los ensayos se aprecian en el Anexo 3.2.

Cuadro 3.3-2 – Resumen de Ensayos de Compactación

Ubicación	Tipo de Ensayo	Muestra	Prof. (m)	SUCS	MDS (gr/cm ³)	OCH (%)
CA - 01	Modificado	M-01		GP-GM	2,232	6,10

Fuente: JMF Ingeniería y Construcción S.A.C.

Dónde:

SUCS: Sistema Unificado de Clasificación de Suelos

MDS: Máxima densidad Seca

OCH: Óptimo contenido de humedad

3.3.3 Ensayos de Corte Triaxial

Se realizó un (01) ensayo de Triaxial Consolidado – No Drenado (CU) al material de desmonte al 90% de su MDS, según los procedimientos de la norma ASTM D4767. De dicho ensayo se obtuvo las propiedades mecánicas de resistencia al corte.

En el Cuadro 3.3-3 se presentan los resultados de los ensayos y los certificados de los ensayos se encuentran en el Anexo 3.3.

Cuadro 3.3-3 – Resumen de Ensayos Triaxiales

Código	Muestra	Prof. (m)	Clasif. SUCS	Tipo Ensayo	Esfuerzos Totales		Esfuerzos Efectivos	
					Cohesión (kPa)	Fricción (°)	Cohesión (kPa)	Fricción (°)
CA – 01	M-01		GP-GM	CU	77	27	37	39

Fuente: JMF Ingeniería y Construcción S.A.C.

3.4 Sismicidad

Para la zona del proyecto se le asigna una aceleración pico entre 0,28 g - 0.30 g. para un período de retorno de 475 años, como se puede observar en la Ilustración 3.4-1.

Ilustración 3.4-1 - Mapa de Isoaceleraciones

Fuente: Jorge Alva: 1993

Debido a que las aceleraciones sísmicas se dan durante un periodo muy corto, se considera solo una fracción de dicha aceleración para el análisis de estabilidad en condición pseudo estática. De acuerdo a la Guía Ambiental para la Estabilidad de Taludes de Depósitos de Residuos Sólidos Provenientes de Actividades Mineras del MEM dicha fracción está comprendida entre $1/2$ y $2/3$. Para el análisis de nuestro caso de estudio se utilizará una aceleración de diseño de $0,14g$ correspondiente al 50% de la aceleración máxima

4. ANALISIS DE ESTABILIDAD

Para realizar el análisis de estabilidad del caso de estudio, se seleccionó la sección más crítica del Depósito de Desmonte, siendo esta con mayor altura y mayor pendiente. La ubicación en planta de la sección se encuentra en el plano P-02 y la sección de análisis se encuentra en el plano P-03. Así mismo, en la Ilustración 3.4-1 se presenta la sección analizada con sus respectivos estratos.

Ilustración 3.4-1 – Sección Crítica

Por medio del análisis de estabilidad se determinarán los factores de seguridad para un comportamiento estático y pseudo-estático en el talud del Depósito de Desmonte a estudiar.

4.1 Propiedad de los Materiales

Para definir los parámetros de resistencia a la cortante de los estratos definidos se consideraron la investigación geotécnica descrita en el capítulo 3.2 y los resultados de laboratorio descritos en el capítulo 3.3.

Los parámetros del material de desmonte se consideraron de los esfuerzos efectivos obtenidos del ensayo de corte triaxial CU. Sin embargo, estos fueron castigados debido a medida de ser conservadores.

Los parámetros del material de suelo natural se consideraron de los ensayos de DPL.

El resumen de los parámetros de resistencia de cada estrato, que se emplearan para el análisis de estabilidad, se detallan en el Cuadro 4.1-1.

Cuadro 4.1-1 – Parámetros de Resistencia para el Análisis de Estabilidad

Material	γ Total (kN/m ³)	Parámetros de Resistencia	
		c' (kPa)	σ' (°)
Desmante de mina ⁽¹⁾	18	10	35
Suelo Natural ⁽¹⁾	19	0	40
Roca ⁽²⁾	24	100	55

Notas:

(1) Los parámetros de resistencia fueron obtenidos a partir de resultados de laboratorio.

(2) Los parámetros de resistencia fueron asumidos de acuerdo a la experiencia.

4.2 Metodología de los Análisis de Estabilidad

Para el análisis de estabilidad se ha adoptado el modo de falla planar, utilizando el software geotécnico SLIDE, versión 6.0, el cual permite realizar cálculos por equilibrio límite por una variedad de métodos. El análisis de estabilidad se realiza bajo el método de equilibrio límite.

Para el presente análisis se ha utilizado el Método de Spencer (1967) empleando dovelas para el cálculo de superficies de falla debido a que el método satisface el equilibrio de fuerzas y momentos.

La superficie de falla crítica es definida como aquella que proporciona el menor factor de seguridad y fue encontrada de forma interactiva, evaluándose superficies de falla de forma planar.

Como hipótesis del análisis se considera que las propiedades de los materiales que conforman las diferentes estructuras analizadas, son homogéneas e isotrópicas y que el colapso se produciría como resultado de fallas simultáneas a lo largo de la superficie de deslizamiento.

Cada material tiene sus propiedades y características físicas y mecánicas inherentes. Para el análisis pseudo-estático se considera que la masa involucrada en la falla está sometida a una aceleración horizontal igual a un coeficiente sísmico multiplicado por la aceleración de

la gravedad, a fin de tomar en cuenta el efecto de las fuerzas inerciales producidas por el sismo de diseño.

4.3 Condiciones Hipotéticas

Para realizar el análisis de estabilidad se ha tomado en cuenta las siguientes condiciones:

- Se ha tomado como sección de análisis la más crítica, donde se presente mayor altura y mayor pendiente.
- Se ha considerado que el nivel freático no influye en el cuerpo del depósito.
- Se han considerados los parámetros drenados de los materiales involucrados en el análisis.

4.4 Resultados

Una vez obtenido una sección para el análisis, los parámetros de resistencia y las condiciones hipotéticas se procedió a realizar el análisis de estabilidad local bajo condiciones de carga estática y pseudo estática. Para los análisis pseudo estáticos se adoptó un coeficiente sísmico horizontal de 0,14g.

En la Ilustración 4.4-1 se puede observar el resultado del análisis de estabilidad del Botadero en su estado actual en condiciones estáticas.

Ilustración 4.4-1 – Situación Actual – Falla Local - Estático

En la Ilustración 4.4-2 se puede observar el resultado del análisis de estabilidad del Botadero en su estado actual en condiciones pseudo estáticas. Ambos análisis se realizaron en tipo de falla local, debido a que es la zona más crítica, con mayor pendiente, y el deslizamiento de este puede repercutir un desastre para el pueblo ubicado en la zona baja.

Ilustración 4.4-2 – Situación Actual – Falla Local – Pseudo estático

En el Cuadro 4.4-1 se presenta el resumen de los resultados de los análisis de estabilidad.

Cuadro 4.4-1 – Resultados de Análisis de Estabilidad

Sección	Tipo de Falla	Factor de Seguridad	
		Estático	Pseudo Estático
A-A	Local	1.126	0.927

5. ANALISIS DE RIESGO

Para realizar el análisis de riesgo del caso de estudio, se utilizó como guía el Manual para la Evaluación Originados por Fenómenos Naturales realizado por el CENEPRED el año 2014.

5.1 Definición de Parámetros

Para el presente análisis, nos hemos basado en la información brindada por el Manual de Evaluación de Riesgo realizado por el CENEPRED en el año 2014. Siendo el flujograma más cercano a nuestro caso de estudio el Flujograma de Movimiento de Masa.

Sin embargo, dicho flujograma trabaja un análisis de riesgo para movimiento de masas de un talud natural y nuestro caso de estudio trata del análisis de riesgo del deslizamiento de masa de un talud hecho por acciones humanas con o sin consideraciones ingenieriles al momento de su ejecución.

Es por ello que se realizó un nuevo flujograma, adaptando el anterior a nuestro caso de estudio. En la Figura 5.1-1 se puede observar los parámetros añadidos y/o modificados con concordancia a la presente investigación:

Figura 5.1-1 - Flujograma para Análisis de Riesgo: Deslizamiento de Deposito de Desmonte

Fuente: Adaptado de Manual para la Evaluación de Riesgos Originados por Fenómenos Naturales – 2da Versión (CENEPRED, 2014)

A continuación, se detallarán los criterios utilizados para la determinación de los parámetros para nuestro caso de estudio:

5.1.1 Identificación de peligrosidad

Respecto a la identificación de peligrosidad de Movimiento de Masas, se mantendrán los parámetros de *“Textura de Suelo”*, *“Pendiente”* y *“Erosión”*.

El parámetro *“Textura del Suelo”* se deben a que mientras más finos los materiales que se disponen en el botadero, mayor probabilidad de que se produzca un deslizamiento. El parámetro *“Pendiente”* se deben a que mientras más empinado se encuentre el botadero, mayor probabilidad de que se produzca un deslizamiento. Se considera el parámetro *“Erosión”* debido a que este genera inestabilidad en un botadero.

Así mismo, se añadió el parámetro *“Capacidad del Botadero”*, ya que la cantidad de material de desmonte de mina representa la fuente inicial de peligro, mientras sea mayor la cantidad, y al tener bajos factores de seguridad de deslizamiento, mayores y más graves serán las consecuencias de la falla del talud.

Por otro lado, no se está considerando los parámetros de *“Estratigrafía”*, *“Velocidad de Desplazamiento”* ni *“Geología”*, debido a que estos parámetros son más representativos para movimiento de masas en taludes naturales y nosotros estamos trabajando en taludes realizados por la acción del hombre.

5.1.2 Factores Condicionantes

Los parámetros de factores condicionantes que se proponen para el riesgo de Movimiento de Masa son netamente considerando taludes naturales, es por ello que nosotros no utilizaremos dichos parámetros. Los parámetros que proponemos son los siguientes: *“Factor de Seguridad Estático”*, *“Factor de Seguridad Pseudo Estático”*, *“Tipo de Depósito”* y *“Nivel Freático”*.

El parámetro *“Factor de Seguridad Estático”*, obtenido del análisis de estabilidad previo al presente análisis de riesgos, contiene dentro de sí varios parámetros de seguridad que podrían ser tomados en cuenta por separado de no conocer principios de ingeniería geotécnica o análisis de estabilidad de taludes. El parámetro *“Factor de Seguridad Pseudo Estático”* al igual que el estático, considera sus propios parámetros, sin embargo, esta toma en cuenta los efectos de un posible sismo cerca de la zona de estudio.

Por lo expuesto anteriormente, se puede saber que la formalización o ilegalidad de los yacimientos mineros y sus derivados son en sí mismos un índice de peligrosidad en todo nivel de sus operaciones. Para el caso del presente estudio, el botadero de desmontes de la mina es un peligro real que nace desde la formalidad o informalidad de la empresa. Por ello se considera “*Tipo de Depósito*” un factor condicionante en el análisis de la peligrosidad del posible deslizamiento.

El parámetro “*Nivel Freático*” es considerado debido a que mientras más cerca se encuentre al suelo de cimentación, más inestable será el depósito.

5.1.3 Factores Desencadenantes

Son los factores que ocurren sin previo aviso en un lapso de tiempo determinado y que pueden alterar a los factores condicionantes y activar la ocurrencia del peligro. Es por ello que se han tomado en cuenta tres parámetros para este paso: “*Isoaceleración Sísmica*”, “*Precipitación Máxima Diaria*” y “*Otras Acciones Humanas*”.

El parámetro “*Otras Acciones Humanas*” se considera básicamente por el desconocimiento o la actitud de las personas frente al riesgo hace que la peligrosidad y el riesgo de desplazamiento del talud aumenten. No se utilizarán los parámetros “*Hidrometeorología*” y “*Geológicas*”, utilizados en el flujograma de Movimiento de Masa, debido a que dichos valores no son relevantes para nuestro caso de estudio.

5.1.4 Exposición Social

Al igual que el flujograma de Movimiento de Masa, se consideran los tres parámetros más importantes, “*Grupo Etario*”, “*Servicios Educativos Expuestos*” y “*Servicios de Salud Terciarios Expuestos*”.

5.1.5 Fragilidad Social

Se estudian las condiciones de desventaja de las personas ante un peligro inminente. En este caso se toman en cuenta los siguientes parámetros de fragilidad: “*Material de Construcción de la Edificación*”, “*Estado de Conservación de la Edificación*”, “*Incumplimiento de Procedimientos Constructivos de Acuerdo a la Normativa Vigente*” y la “*Cercanía al Deslizamiento*”.

El tipo de “*Material de Construcción de la Edificación*” del pueblo afectado son de alta importancia en este estudio del riesgo. Ello se debe a que un material más compacto brinda mayor resistencia a las cargas que pueden producirse por la caída de masas de suelos desde

puntos altos de la montaña. Una casa construida con esteras es mucho más frágil que una construida con ladrillos y cemento.

El “*Estado de Conservación de la Edificación*” de los edificios también es un parámetro de fragilidad, pues una casa que no haya recibido mantenimiento constante está probablemente dañada interiormente por acción del clima, del tiempo y otros factores. Este daño que no ha sido reparado le quita resistencia a la edificación.

El “*Incumplimiento de Procedimientos Constructivos de Acuerdo a la Normativa Vigente*” es también un factor a considerar en el análisis de la fragilidad. Se sabe que una vivienda mal construida representa en sí un peligro para solicitaciones normales de carga. En la ocurrencia de un deslizamiento esta se hace aún más insegura y aumenta la fragilidad de la población que habita aquella vivienda.

El deslizamiento de un talud afecta principalmente a quienes están pendientes abajo. En este caso, el pueblo se encuentra en la falda del cerro en que se ha venido acumulando el desmonte de mina. Por ello, para el análisis de la fragilidad se debe tomar en cuenta la “*Cercanía al Deslizamiento*” y brindarle la importancia debida.

No se considera “*Antigüedad de la Construcción de la Edificación*” debido a que las viviendas no tienen una antigüedad considerable como para que sea un riesgo. Ni “*Configuración de Elevaciones de las Edificaciones*” puesto que las edificaciones presentadas en el caso de estudio no pasan del primer piso.

5.1.6 Resiliencia Social

Es la capacidad del componente social para recuperarse después de haber sucedido el deslizamiento. Es contraria a la vulnerabilidad, a mayor resiliencia hay menor vulnerabilidad. En este caso se tomarán en cuenta cuatro aspectos importantes que ayudan a enfrentar al riesgo: “*Capacitación en Temas de Gestión del Riesgo*”, “*Conocimientos Históricos de Desastres*”, “*Actitud Frente al Riesgo*”, y la “*Normatividad y los Programas de Contingencia*”.

Uno de los motivos del presente trabajo es motivar la difusión de temas de gestión del riesgo en la sociedad. Es de conocimiento público que los desastres naturales se observan con mayor frecuencia en el día a día a nivel mundial, por ello se hace más importante tener en cuenta que la población debe tener “*Capacitación en Temas de Gestión del Riesgo*” para

poder enfrentar estos desastres. Un pueblo con mayor índice de capacitación es más resiliente que uno con desconocimiento en gestión de riesgos.

Los “*Conocimientos Históricos de Desastres*”, al igual que la capacitación, representa una fuente de información valiosa que puede ayudar a la población vulnerable a manejar de mejor manera la ocurrencia de un deslizamiento de masas u otro desastre natural.

La “*Actitud Frente al Riesgo*” de las personas para poder informarse, tomar medidas de remediación, formar grupos de apoyo, entre otros; también es tomado en cuenta como factor de resiliencia ante el peligro.

Es importante reconocer el papel de las autoridades, tanto locales como nacionales y las normas y leyes que estas dictan para poder liderar a la población en el proceso de aplicación de una efectiva gestión de riesgos. La existencia de “*Normatividad y los Programas de Contingencia*” que permitan estar preparados ante la ocurrencia de desastres es un factor de resiliencia importante a tomar en cuenta.

5.1.7 Exposición Económica

Se analizan las principales actividades económicas de la zona y se valora el nivel de exposición al peligro de estos. Las principales actividades que se desarrollan son: la “*Minería*” (como principal actividad), la “*Ganadería*”, la “*Agricultura*” y mucho menor proporción la “*Energía*” (como mantenimiento y operación de redes de distribución).

La “*Minería*” en la zona cercana al pueblo es la principal fuente de trabajo e ingresos, aunque aún se trata de empresas pequeñas e informales.

La “*Ganadería*” de la zona es principalmente para producción de derivados lácteos y en menor proporción para consumo de carne. Es una actividad a tomar en cuenta como factor expuesto al peligro.

La “*Agricultura*” es otra de las actividades que se ejercen en la zona del caso de estudio. Por concepto, en un movimiento de masas de suelo, suelen perderse tierras de cultivo que tardarán en volver a ser provechosas para los habitantes.

Para el sector de “*Energía*” se valorarán los elementos expuestos. Es sabido que la energía es vital para el desarrollo de otras actividades y para la vida diaria de las personas; es por ello que en el estudio presente se le asigna un valor a tomarse en cuenta en la consideración de elementos expuestos.

5.1.8 Fragilidad Económica

Se analiza el posible impacto de la ocurrencia de un deslizamiento en la zona de estudio y se valora en cada uno de los elementos de la dimensión económica, para así poder prever el nivel de fragilidad de la dimensión económica ante este fenómeno.

Tal como se ha explicado, la “*Minería*” es la principal actividad de la zona en estudio. La minería ilegal e informal se desarrolla con total normalidad, sin tener en cuenta medidas de seguridad personal, ni ambiental. De ocurrir el deslizamiento, es posible que otras bocaminas queden sepultadas llevándose consigo vidas humanas.

El pasto natural que crece en las laderas de la montaña sirve de alimento al ganado de diversas especies existentes en la zona. De darse un deslizamiento, la “*Ganadería*” sería afectada en gran magnitud, con pérdidas de cabezas de ganado, tierras de pasto natural, pasto sembrado y corrales de animales.

En la “*Agricultura*”, ya que se trata de un depósito de desmonte de treinta y cinco mil metros cúbicos de material, es muy probable que tierras de cultivo y canales de regadío se vean afectados por un deslizamiento de masas de suelo.

El sector “*Energía*” se vería afectado principalmente en pérdidas y daños de líneas secundarias de distribución.

5.1.9 Resiliencia Económica

Es la fortaleza económica de los factores expuestos en esta dimensión para poder enfrentar las consecuencias del deslizamiento de talud.

La formalidad de los puestos de trabajo representa uno de los principales indicadores de resiliencia ante un desastre. Esta trae consigo beneficios que pueden ser provechosos para poder superar imprevistos, como el de un fenómeno natural. Por ello consideramos como un parámetro “*PEA Desocupada*”.

Un “*Ingreso Familiar Promedio Mensual*” fijo permite a las familias tener ahorros, créditos y propiedades que permitan enfrentar la adversidad. Por ello representa un indicador de resiliencia en caso de ocurrencia de desastres. En el caso de estudio, si bien los trabajos no son formales y pueden ser esporádicos; representan un ingreso por encima del mínimo vital.

La “*Organización y la Capacitación Institucional*” de los gobiernos locales representan una fuente de resiliencia. Estos sirven de líder y guía para la población. Actualmente no se cuenta con un correcto manejo de las instituciones locales en temas de gestión de riesgos.

5.1.10 Exposición Ambiental

Se analizan los elementos ambientales susceptibles al deslizamiento del talud en estudio. Se han considerado como elementos ambientales expuestos: “*La Deforestación*”, “*La Flora y La Fauna*”, y “*La Pérdida de Agua*”.

Se considera “*La Deforestación*” pues en muchos deslizamientos termina siendo un aspecto severamente dañado y que toma muchos años en recuperarse totalmente, si es que se logra. En el caso de estudio, la pérdida de pastos y arbustos naturales se hace evidente y de gran magnitud debido al área posiblemente afectada por una falla de talud.

“*La Flora y La Fauna*” se ven afectados por la pérdida de especies nativas y por el tamaño del área afectada.

“*La Pérdida de Agua*” y/o cauces es importante de considerar, pues sin esta el desarrollo ambiental es imposible. En nuestro caso, el talud se encuentra al lado de una quebrada y a su vez, el deslizamiento puede dañar estructuras de distribución de agua para consumo humano.

5.1.11 Fragilidad Ambiental

Se analiza el posible impacto de la ocurrencia de un deslizamiento en la zona de estudio y se valora en cada uno de los elementos de la dimensión ambiental, para así poder prever el nivel de fragilidad de la dimensión ambiental ante este fenómeno.

Se analiza el impacto que puede tener el deslizamiento en los “*Ecosistemas*” que se ven afectados por este.

Otro aspecto importante a evaluar es la “*Explotación de los Recursos Naturales*” y cómo la forma en que esta se da, afecta a las consecuencias de un posible deslizamiento de talud.

Se analiza también el impacto que puede ocasionar en la “*Locación de Centros Poblados*”, debido a que luego del desastre dicha zona ya no podría ser habitada o el tiempo para ello sería muy extenso.

5.1.12 Resiliencia Ambiental

Se valoran los factores que ayudan a superar los daños ocasionados por la falla del talud en la dimensión ambiental.

Para ello se consideraron los siguientes parámetros: “*Capacitación en Temas de Conservación Ambiental*”, “*Conocimiento y Cumplimiento de Normatividad Ambiental*” y “*Conocimiento Ancestral para la Explotación Sostenible de sus Recursos Naturales*”. Con dicho conocimiento y/o capacitación el poblado podría saber el nivel de peligrosidad en la que están sometidos y podrían mitigar la ocurrencia de un desastre.

5.2 Análisis de Asignación de Valoración de Parámetros

A continuación, se detallarán los criterios utilizados para la calificación cuantitativa de los parámetros, según la escala de Saaty:

5.2.1 Identificación de peligrosidad

Se considera que la “*Pendiente*” es un factor mucho más importante que la “*Textura de Suelo*”. Sin embargo, el parámetro de la “*Erosión*” es menos importante, puesto que depende mucho de las precipitaciones periódicas, y la “*Capacidad del Botadero*” es ligeramente menos importante al parámetro de la “*Textura de Suelo*”. Dando como resultado que el parámetro de “*Pendiente*” tiene mayor peso ponderado indicando que en mayor medida aumenta la probabilidad de ocurrencia del desplazamiento.

En el Cuadro 5.2-1 se observa el resumen de la ponderación de los parámetros de identificación de peligrosidad.

Cuadro 5.2-1 – Valoración de Parámetros: Identificación de Peligrosidad

PARAMETRO	TEXTURA DE SUELO	PENDIENTE	EROSIÓN	CAPACIDAD DEL BOTADERO (m3)	VECTOR PRIORIZACIÓN (PONDERACIÓN)
TEXTURA DE SUELO	1	1/5	5	3	0.208
PENDIENTE	5	1	9	7	0.643
EROSIÓN	1/5	1/9	1	1/3	0.048
CAPACIDAD DEL BOTADERO (m3)	1/3	1/7	3	1	0.101

5.2.2 Factores Condicionantes

Se reconoce que el parámetro de “*Factor de Seguridad Estático*” es el parámetro de mayor relevancia dentro de los factores condicionantes, pues este incluye dentro de sí varias condiciones de relevancia para el deslizamiento del talud.

Respecto al parámetro mencionado, el parámetro de “*Factor de Seguridad Pseudo Estático*” se considera menos importante, debido a que la ocurrencia de un sismo no tiene gran probabilidad. El parámetro “*Tipo de Depósito*” es ligeramente menos importante, siendo el segundo en relevancia, ya que este parámetro permite darnos una idea de la forma en que fue colocado el material del botadero y el tipo de material depositado. Sin embargo, el parámetro “*Nivel Freático*” es mucho menos importante, quien tiene el menor peso ponderado.

Cuadro 5.2-2 - Valoración de Parámetros: Factores Condicionantes

PARAMETRO	FACTOR DE SEGURIDAD ESTATICO	FACTOR DE SEGURIDAD PSEUDOESTATICO	TIPO DE DEPOSITO	NIVEL FREÁTICO	VECTOR PRIORIZACIÓN (PONDERACIÓN)
FACTOR DE SEGURIDAD ESTATICO	1	5	3	7	0.558
FACTOR DE SEGURIDAD PSEUDOESTATICO	1/5	1	1/3	3	0.122
TIPO DE DEPOSITO	1/3	3	1	5	0.263
NIVEL FREÁTICO	1/7	1/3	1/5	1	0.057

5.2.3 Factores Desencadenantes

En el caso de los factores desencadenantes, se valora en mayor medida las “*Otras Acciones Humanas*” que puedan ocurrir cerca del talud y que pueden ser el motivo de la falla. Esta relevancia se le da principalmente porque el botadero en sí es fruto de la actividad humana y porque dichas actividades siguen ocurriendo a pesar de haberse detectado el riesgo de falla. En relativa relevancia se tiene a las “*Precipitación Máxima Diaria*”, pues es de público conocimiento que estas se han visto incrementadas de forma irregular en los últimos años. Como parámetro de menor peso ponderado se tiene a la “*Isoaceleración*”

Sísmica”, pues un sismo de gran magnitud en la zona es de baja probabilidad de ocurrencia.

Cuadro 5.2-3 - Valoración de Parámetros: Factores Desencadenantes

PARAMETRO	ISOACELERACION SISMICA	PRECIPITACION MAXIMA DIARIA	OTRAS ACCIONES HUMANAS	VECTOR PRIORIZACIÓN (PONDERACIÓN)
ISOACELERACION SISMICA	1	1/3	1/5	0.106
PRECIPITACION MAXIMA DIARIA	3	1	1/3	0.260
OTRAS ACCIONES HUMANAS	5	3	1	0.633

5.2.4 Exposición Social

De la exposición social se tiene como referencia de menor valor al peso ponderado de “*Servicios Educativos Expuestos*”, debido a que no cuenta con aforo permanente. De mayor importancia se considera los “*Servicios de Salud Terciarios Expuestos*”, debido a su importancia ante emergencias. Sin embargo, el parámetro de mucha mayor relevancia es el de “*Grupo Etario*”, pues las edades de la población en sus extremos (muy jóvenes o ancianos) representan una mayor exposición al peligro.

Cuadro 5.2-4 - Valoración de Parámetros: Exposición Social

PARAMETRO	GRUPO ETAREO	SERVICIOS EDUCATIVOS EXPUESTOS	SERVICIOS DE SALUD TERCARIOS	VECTOR PRIORIZACIÓN (PONDERACIÓN)
GRUPO ETAREO	1	5	3	0.633
SERVICIOS EDUCATIVOS EXPUESTOS	1/5	1	1/3	0.106
SERVICIOS DE SALUD TERCARIOS	1/3	3	1	0.260

5.2.5 Fragilidad Social

Para la fragilidad social, se tiene como el parámetro de mayor relevancia al de “*Cercanía al Deslizamiento*”, este es de mayor relevancia porque representa directamente la intensidad con la que el deslizamiento puede atacar a los factores expuestos. De menor relevancia se tiene al parámetro “*Material de Construcción de la Edificación*”, pues este puede significar que la población expuesta está en capacidades de soportar el deslizamiento del talud, con menores o mayores pérdidas sociales y económicas. De mucho menor relevancia tenemos al “*Estado de Conservación de la Edificación*” y absolutamente menor relevancia el “*Incumplimiento de Procedimientos Constructivos de Acuerdo a la Normativa Vigente*”.

Cuadro 5.2-5 - Valoración de Parámetros: Fragilidad Social

PARAMETRO	MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN DE LA EDIFICACIÓN	ESTADO DE CONSERVACIÓN DE LA EDIFICACIÓN	INCUMPLIMIENTO DE PROCEDIMIENTOS CONSTRUCTIVOS DE ACUERDO A NORMATIVIDAD VIGENTE	CERCANIA AL DESLIZAMIENTO	VECTOR PRIORIZACIÓN (PONDERACIÓN)
MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN DE LA EDIFICACIÓN	1	3	5	1/5	0.208
ESTADO DE CONSERVACIÓN DE LA EDIFICACIÓN	1/3	1	3	1/7	0.101
INCUMPLIMIENTO DE PROCEDIMIENTOS CONSTRUCTIVOS DE ACUERDO A NORMATIVIDAD VIGENTE	1/5	1/3	1	1/9	0.048
CERCANIA AL DESLIZAMIENTO	5	7	9	1	0.643

5.2.6 Resiliencia Social

En la resiliencia social tenemos como valores de mayor relevancia a dos parámetros: “*Capacitación en Temas de Gestión del Riesgo*”, y “*Actitud Frente al Riesgo*”. Esto se debe a que ambos parámetros representan una respuesta directa de la población ante la ocurrencia del peligro. Se considera ligeramente menor relevancia a la “*Normatividad y los Programas de Contingencia*”, debido a que es un factor de previsión del riesgo que depende principalmente de las autoridades y en menor parte de la población. Y de menor relevancia se considera el “*Conocimientos Históricos de Desastres*”, porque no representa en sí una acción de mitigación del riesgo.

Cuadro 5.2-6 - Valoración de Parámetros: Resiliencia Social

PARAMETRO	CAPACITACIÓN EN TEMAS DE GESTIÓN DEL RIESGO	CONOCIMIENTO HISTORICO DE DESASTREZ	ACTITUD FRENTE AL RIESGO	NORMATIVIDAD Y PROGRAMAS DE CONTINGENCIA	VECTOR PRIORIZACIÓN (PONDERACIÓN)
CAPACITACIÓN EN TEMAS DE GESTIÓN DEL RIESGO	1	5	1	3	0.389
CONOCIMIENTO HISTORICO DE DESASTREZ	1/5	1	1/5	1/3	0.069
ACTITUD FRENTE AL RIESGO	1	5	1	3	0.389
NORMATIVIDAD Y PROGRAMAS DE CONTINGENCIA	1/3	3	1/3	1	0.153

5.2.7 Exposición Económica

Para la exposición económica se tienen identificados cuatro parámetros: “*Minería*”, “*Agricultura*”, “*Ganadería*” y “*Energía*”. El de mayor relevancia es la “*Minería*”, pues

es la principal actividad económica de la zona. Luego de esta actividad tenemos las otras tres actividades, en el orden siguiente: “Ganadería”, “Agricultura” y “Energía”.

Cuadro 5.2-7 - Valoración de Parámetros: Exposición Económica

PARAMETRO	MINERÍA	AGRICULTURA	GANADERÍA	ENERGÍA	VECTOR PRIORIZACIÓN (PONDERACIÓN)
MINERÍA	1	7	5	7	0.647
AGRICULTURA	1/7	1	1/3	1	0.078
GANADERÍA	1/5	3	1	3	0.196
ENERGÍA	1/7	1	1/3	1	0.078

5.2.8 Fragilidad Económica

Para la fragilidad económica se valoran los mismos parámetros que en la exposición económica, desde el punto de vista de la fragilidad de cara uno de ellos. La relevancia entre ellos es la misma que en el caso de la exposición.

Cuadro 5.2-8 - Valoración de Parámetros: Fragilidad Económica

PARAMETRO	MINERÍA	AGRICULTURA	GANADERÍA	ENERGÍA	VECTOR PRIORIZACIÓN (PONDERACIÓN)
MINERÍA	1	5	3	7	0.558
AGRICULTURA	1/5	1	1/3	3	0.122
GANADERÍA	1/3	3	1	5	0.263
ENERGÍA	1/7	1/3	1/5	1	0.057

5.2.9 Resiliencia Económica

La “PEA Desocupada” y la realidad de los puestos de trabajos existentes en la zona de estudio representan el primer aspecto a valorar en la resiliencia económica. De ligera menor relevancia se considera el “Ingreso Familiar Promedio Mensual”; ya que es preciso primero identificar la cantidad y calidad de los puestos de trabajos para luego poder evaluar las remuneraciones de estos. Como último parámetro y de menor relevancia para la resiliencia económica se considera a la “Organización y la Capacitación Institucional”,

que finalmente sirve de regulador, promotor y evaluador de los puestos de trabajo en la zona.

Cuadro 5.2-9 - Valoración de Parámetros: Resiliencia Económica

PARAMETRO	PEA DESOCUPADA	INGRESO FAMILIAR PROMEDIO MENSUAL	ORGANIZACIÓ N Y CAPACITACIO N INSTITUCIONA L	VECTOR PRIORIZACIÓ N (PONDERACIÓ N)
PEA DESOCUPADA	1	3	5	0.633
INGRESO FAMILIAR PROMEDIO MENSUAL	1/3	1	3	0.260
ORGANIZACIÓ N Y CAPACITACIO N INSTITUCIONA L	1/5	1/3	1	0.106

5.2.10 Exposición Ambiental

Se considera como el parámetro de mayor relevancia a la “*La Deforestación*”. Pues este es el que tarda más en recuperarse luego de la ocurrencia de un deslizamiento. Luego, de ligera menor relevancia tenemos a “*La Flora y La Fauna*” de la zona; al tratarse de un talud, no existen muchas especies que vivan en estos terrenos escarpados y las que existen, son menores y de rápida recuperación. “*La Pérdida de Agua*”, como principal recurso natura afectado, es el tercer parámetro en relevancia para la exposición ambiental.

Cuadro 5.2-10 - Valoración de Parámetros: Exposición Ambiental

PARAMETRO	DEFORESTACI ÓN	FLORA Y FAUNA	PERDIDA DE AGUA	VECTOR PRIORIZACIÓ N (PONDERACIÓ N)
DEFORESTACI ÓN	1	3	5	0.633
FLORA Y FAUNA	1/3	1	3	0.260
PERDIDA DE AGUA	1/5	1/3	1	0.106

5.2.11 Fragilidad Ambiental

La “*Locación de Centros Poblados*”, es decir su lejanía de la falla del talud representa el parámetro de mayor relevancia en la fragilidad ambiental. Este representa directamente la intensidad con la que el deslizamiento puede atacar a los factores expuestos. De ligera menor relevancia, se tiene la fragilidad de los “*Ecosistemas*” afectados en un posible deslizamiento. Finalmente, la “*Explotación de los Recursos Naturales*” que se viene dando en la zona afecta directamente a la fragilidad ambiental aunque se le considera como de menor relevancia que los parámetros que lo anteceden.

Cuadro 5.2-11 - Valoración de Parámetros: Fragilidad Ambiental

PARAMETRO	ECOSISTEMAS	EXPLOTACIÓN DE LOS RECURSOS	LOCALIZACIÓN DE LOS CENTROS POBLADOS	VECTOR PRIORIZACIÓN (PONDERACIÓN)
ECOSISTEMAS	1	3	1/3	0.260
EXPLOTACIÓN DE LOS RECURSOS	1/3	1	1/5	0.106
LOCALIZACIÓN DE LOS CENTROS POBLADOS	3	5	1	0.633

5.2.12 Resiliencia Ambiental

El “*Conocimiento y Cumplimiento de Normatividad Ambiental*” es el parámetro de mayor relevancia en la resiliencia ambiental, debido a que puede significar directamente la pronta recuperación de la dimensión ambiental frente a un deslizamiento de talud. Como siguiente parámetro relevante tenemos a la “*Capacitación en Temas de Conservación Ambiental*”, de ligera menor relevancia. Finalmente, de menor relevancia se tiene al “*Conocimiento Ancestral para la Explotación Sostenible de sus Recursos Naturales*”.

Cuadro 5.2-12 - Valoración de Parámetros: Resiliencia Ambiental

PARAMETRO	CAPACITACIÓN EN TEMAS DE CONSERVACIÓN AMBIENTAL	CONOCIMIENTO Y CUMPLIMIENTO DE NORMATIVIDAD AMBIENTAL	CONOCIMIENTO ANCESTRAL PARA LA EXPLOTACIÓN SOSTENIBLE DE SUS RECURSOS NATURALES	VECTOR PRIORIZACIÓN (PONDERACIÓN)
-----------	---	---	---	-----------------------------------

CAPACITACIÓN EN TEMAS DE CONSERVACIÓN AMBIENTAL	1	1/2	3	0.309
CONOCIMIENTO Y CUMPLIMIENTO DE NORMATIVIDAD AMBIENTAL	2	1	5	0.581
CONOCIMIENTO ANCESTRAL PARA LA EXPLOTACIÓN SOSTENIBLE DE SUS RECURSOS NATURALES	1/3	1/5	1	0.110

5.3 Análisis de Nivel de Peligrosidad

5.3.1 Identificación de Peligrosidad

Para identificar la peligrosidad se han tomado en cuenta 4 parámetros que ayuden a describir y caracterizar el peligro de deslizamiento del talud: textura del suelo, pendiente, erosión y la cantidad de metros cúbicos que el botadero almacena.

El material que se coloca en el Depósito de Desmonte es un material granular, por ende se considera una textura de suelo moderadamente gruesa. La pendiente del Depósito a analizar es de aproximadamente 45° y según lo evidenciado actualmente presenta cárcavas. Conteniendo una capacidad de aproximadamente 35,000 m³.

Cuadro 5.3-1 – Identificación de Peligrosidad: Textura del Suelo

PARÁMETRO		TEXTURA DE SUELO	PESO PONDERADO:	0.208
Descriptores	TX 1	Finas: Suelos arcillosos (arcilloso arenoso, arcilloso limoso, arcilloso)	PTX1	0.503
	TX 2	Moderadamente Fina: Suelos francos (franco arcilloso, franco limoso arcilloso y/o franco limoso arcilloso)	PTX2	0.260
	TX 3	Mediana: Suelos francos (franco, franco limoso y/o limoso)	PTX3	0.134
	TX 4	Moderadamente gruesa: suelos francos (franco arenoso)	PTX4	0.068

	TX 5	Gruesa: Suelos arenosos: arenosos, franco arenosos	PTX5	0.035
--	------	--	------	-------

Cuadro 5.3-2 - Identificación de Peligrosidad: Pendiente

PARÁMETRO		PENDIENTE	PESO PONDERADO:	0.643
Descriptores	PN1	45° a 60°	PPN1	0.503
	PN2	30° a 45°	PPN2	0.260
	PN3	20° a 30°	PPN3	0.134
	PN4	10° a 20°	PPN4	0.068
	PN5	Menor a 5°	PPN5	0.035

Cuadro 5.3-3 - Identificación de Peligrosidad: Erosión

PARÁMETRO		EROSIÓN	PESO PONDERADO:	0.048
Descriptores	E1	Zonas muy inestables. Laderas con zonas de falla, masas de rocas intensamente meteorizadas y/o alteradas; saturadas y muy fracturadas y depósitos superficiales no consolidados y zonas con intensa erosión (cárcavas)	PE1	0.503
	E2	Zonas inestables, macizos rocosos con meteorización y/o alteración intensa a moderada, muy fracturadas; depósitos superficiales inconsolidados, materiales parcialmente a muy saturados, zonas de intensa erosión.	PE2	0.260
	E3	Zonas de estabilidad marginal, laderas con erosión intensa o materiales parcialmente saturados, moderadamente meteorizados.	PE3	0.134
	E4	Laderas con materiales poco fracturados, moderada a poca meteorización, parcialmente erosionadas, no saturadas.	PE4	0.068
	E5	Laderas con substrato rocoso no meteorizado. Se pueden presentar inestabilidades en las laderas adyacentes a los ríos y quebradas, por socavamiento y erosión.	PE5	0.035

Cuadro 5.3-4 - Identificación de Peligrosidad: Capacidad de Botadero

PARÁMETRO		CAPACIDAD DEL BOTADERO (M3)	PESO PONDERADO:	0.101
Descriptores	Y16	100 000 - MAS	0.503	0.503
	Y17	50 000 - 100 000	0.260	0.260
	Y18	25 000 - 50 000	0.134	0.134
	Y19	10 000 - 25 000	0.068	0.068
	Y20	0 - 10 000	0.035	0.035

Luego de la valoración del peligro por cada parámetro, se procede a hacer el consolidado de todos ellos que nos permita saber el nivel de peligro al que nuestra zona de estudio está expuesta. A continuación, se presenta el consolidado:

Cuadro 5.3-5 - Identificación de Peligrosidad: Resumen de Valor de Peligro

TEXTURA DE SUELO		PENDIENTE		EROSIÓN		CAP. BOT.		VALOR DE PELIGRO
Parámetro	Peso	Parámetro	Peso	Parámetro	Peso	Parámetro	Peso	
0.068	0.208	0.260	0.643	0.503	0.048	0.134	0.101	0.219

Del valor obtenido, según lo indicado por CENEPRED, se está frente a un nivel preliminar de peligro "muy alto". Sin embargo, es necesario estudiar los factores condicionantes y desencadenantes presentes en el caso de estudio; para ponderar la susceptibilidad y junto con el valor del peligro hallar la peligrosidad de los efectos de un posible deslizamiento de talud del botadero de mina.

5.3.2 Factores condicionantes

Se realizó un análisis de estabilidad a las secciones más críticas del Depósito de Desmonte, para poder valorar los parámetros de esta sección. Según lo presentado en la Sección 4, el FS Estático es 1.126 y el FS Pseudo Estático es de 0.927.

Cuadro 5.3-6 - Factores Condicionantes: Factor de Seguridad Estático

PARÁMETRO		FACTOR DE SEGURIDAD ESTATICO	PESO PONDERADO:	0.558
Descriptores	Y1	0.90 - 0.99	PY1	0.503
	Y2	1.00 - 1.19	PY2	0.260
	Y3	1.20 - 1.39	PY3	0.134
	Y4	1.40 - 1.59	PY4	0.068
	Y5	1.60 - 2.50	PY5	0.035

Cuadro 5.3-7 - Factores Condicionantes: Factor de Seguridad Pseudo-Estático

PARÁMETRO		FACTOR DE SEGURIDAD PSEUDOESTATICO	PESO PONDERADO:	0.122
Descriptores	Y6	0.70 - 0.79	PY6	0.503
	Y7	0.80 - 0.99	PY7	0.260
	Y8	1.00 - 1.19	PY8	0.134
	Y9	1.20 - 1.39	PY9	0.068
	Y10	1.40 - 2.50	PY10	0.035

Así mismo, mencionar que el Depósito de Desmonte es un Depósito del tipo informal.

Cuadro 5.3-8 - Factores Condicionantes: Tipo de Depósito

Parámetro		TIPO DE DEPÓSITO	PESO PONDERADO:	0.263
Descriptores	Y11	Ilegal	PY11	0.503
	Y12	Informal	PY12	0.260
	Y13	En proceso de formalización	PY13	0.134
	Y14	Formalizado e implementado	PY14	0.068
	Y15	Formal	PY15	0.035

Por último, el valor de Nivel freático se encuentra en el rango de 15.00 – 30.00 metros.

Cuadro 5.3-9 - Factores Condicionantes: Nivel Freático

PARÁMETRO		NIVEL FREÁTICO	PESO PONDERADO:	0.057
Descriptores	Y16	0.00-3.00	PY16	0.503
	Y17	3.00-8.00	PY17	0.260
	Y18	8.00-15.00	PY18	0.134
	Y19	15.00-30.00	PY19	0.068
	Y20	30.00- 100	PY20	0.035

Se presenta el consolidado de los factores condicionantes, y se obtiene un valor ponderado para luego dar el siguiente paso para hallar la susceptibilidad del caso de estudio.

Cuadro 5.3-10 - Factores Condicionantes: Resumen de Valor Condicionante

FS ESTATICO		FS PSEUDO EST		TIPO DE DEP.		CAPACIDAD DEL DEP		VALOR CONDIC.
Parámetro	Peso	Parámetro	Peso	Parámetro	Peso	Parámetro	Peso	
0.260	0.558	0.260	0.122	0.260	0.263	0.068	0.057	0.249

5.3.3 Factores desencadenantes

El Valor de Isoaceleraciones Sísmica para el área de estudio es de 0.28 g.

Cuadro 5.3-11 - Factores Desencadenantes: Isoaceleración Sísmica

PARÁMETRO		ISOACELERACION SISMICA	PESO PONDERADO:	0.106
Descriptores	X1	0.34 - 0.45	PX1	0.503
	X2	0.28 - 0.34	PX2	0.260
	X3	0.16 - 0.28	PX3	0.134
	X4	0.10 - 0.16	PX4	0.068

	X5	0.02 - 0.10	PX5	0.035
--	----	-------------	-----	-------

El Valor de precipitación máxima diaria para el área de estudio es de 40 – 60.

Cuadro 5.3-12 - Factores Desencadenantes: Precipitación Máxima Diaria

PARÁMETRO		PRECIPITACION MAXIMA DIARIA (MM)	PESO PONDERADO:	0.260
Descriptores	X6	80 - 100	PX6	0.503
	X7	60 - 80	PX7	0.260
	X8	40 – 60	PX8	0.134
	X9	20 - 40	PX9	0.068
	X10	0 - 20	PX10	0.035

Uno de los factores desencadenantes más importantes a tomar en cuenta tiene que ver con el comportamiento humano y actualmente se sigue acumulando material en el depósito aunque este no tiene las medidas necesarias.

Cuadro 5.3-13 - Factores Desencadenantes: Otras Acciones Humanas

PARÁMETRO		OTRAS ACCIONES HUMANAS	PESO PONDERADO:	0.633
Descriptores	X11	Construir sobre el depósito	PX11	0.503
	X12	Agregar desmonte en el Depósito	PX12	0.260
	X13	Transitar con maquinaria pesada cerca de la zona	PX13	0.134
	X14	Pastear animales cerca de la zona	PX14	0.068
	X15	Transitar por la zona	PX15	0.035

Se presenta el consolidado de factores desencadenantes y se calcula el ponderado. Este representa el paso previo para calcular la susceptibilidad del caso de estudio.

Cuadro 5.3-14 - Factores Desencadenantes: Resumen de Valor Desencadenante

ISOACELERACIÓN		PRECIPITACIÓN MÁX. DIARIA		ACCIONES HUMANAS		VALOR DESENCAD.
PARÁMETRO	PESO	PARÁMETRO	PESO	PARÁMETRO	PESO	
0.260	0.106	0.134	0.260	0.260	0.633	0.227

Para el cálculo de la susceptibilidad se brinda un valor de 0.5 tanto a los valores de los factores condicionantes como los condicionantes y se halla el ponderado de ambos, ello representa la susceptibilidad al peligro de nuestro talud de botadero de mina.

Cuadro 5.3-15 - Valor Asignado de Susceptibilidad

VALOR CONDIC.		VALOR DESENCAD.		VALOR DE SUSCEPTIBILIDAD
Parámetro	Peso	Parámetro	Peso	
0.249	0.500	0.227	0.500	0.238

5.3.4 Valor de Peligrosidad

Finalmente, para poder hacer el cálculo cuantitativo de la peligrosidad, se hace un ponderado del valor del peligro y la susceptibilidad ante este.

Cuadro 5.3-16 - Valor Asignado de Peligrosidad

VALOR DE PELIGRO		VALOR DE SUSEPTIB.		VALOR DE PELIGROSIDAD
Parámetro	Peso	Parámetro	Peso	
0.219	0.500	0.238	0.500	0.229

Con este valor, se revisan los rangos indicados por CENEPRED para saber si nos encontramos en un rango de valor de peligrosidad muy alto, alto, medio o bajo.

Cuadro 5.3-17 – Niveles de Riesgo

Nivel de peligrosidad	Rango
Riesgo muy alto	$0.260 \leq R < 0.503$
Riesgo alto	$0.134 \leq R < 0.260$
Riesgo medio	$0.068 \leq R < 0.134$
Riesgo bajo	$0.035 \leq R < 0.068$

Fuente: Adaptado de Manual Para la Evaluación de Riesgos originados por fenómenos naturales (CENEPRED)

Como resultado, tenemos que nuestro valor de peligrosidad se encuentra en el rango de riesgo alto.

5.4 Análisis de Nivel de Vulnerabilidad

La vulnerabilidad según la metodología del CENEPRED, se determina mediante el estudio de tres componentes, que son: exposición, fragilidad y resiliencia. Estos son analizados en tres dimensiones: social, económica y ambiental.

5.4.1 Dimensión social

5.4.1.1 Exposición Social

Por la dimensión de la investigación, no se puede conocer la edad de cada persona que habita en la zona de riesgo. Sin embargo, se sabe que gran parte de la población se encuentra entre los 50 y 60 años de edad, y que los niveles de segundo y tercero de secundaria son los de mayor cantidad de estudiantes.

Cuadro 5.4-1 - Exposición Social: Grupo Etario

PARÁMETRO		GRUPO ETARIO	PESO PONDERADO:	0.633
Descriptores	ES1	De 0 a 5 años y mayor a 65 años	PES1	0.503
	ES2	De 5 a 12 años y de 60 a 65 años	PES2	0.260
	ES3	De 12 a 15 años y de 50 a 60 años	PES3	0.134
	ES4	De 15 a 30 años	PES4	0.068
	ES5	De 30 a 50 años	PES5	0.035

En la zona afectada solo se cuenta con un edificio que sirve como centro educativo, este se encuentra en la zona donde caería directamente la masa del suelo en deslizamiento.

Cuadro 5.4-2 - Exposición Social: Servicios Educativos Expuestos

PARÁMETRO		SERVICIOS EDUCATIVOS EXPUESTOS	PESO PONDERADO:	0.106
Descriptores	ES6	> 75% del servicio educativo expuesto	PES6	0.503
	ES7	≤ 75% y > 50% del servicio educativo expuesto	PES7	0.260
	ES8	≤ 50% y > 25% del servicio educativo expuesto	PES8	0.134
	ES9	≤ 25% y > 10% del servicio educativo expuesto	PES9	0.068
	ES10	≤ y > 10% del servicio educativo expuesto	PES10	0.035

Al encontrarse casi la totalidad de edificios expuestos al deslizamiento, se consideran también que las casas que sirven de sanatorio.

Cuadro 5.4-3 - Exposición Social: Servicios de Salud Terciarios

PARÁMETRO		SERVICIOS DE SALUD TERCIARIOS	PESO PONDERADO:	0.260
Descriptores	ES6	> 60% del servicio de salud terciarios	PES6	0.503
	ES7	≤ 60% y > 35% del servicio de salud terciarios	PES7	0.260
	ES8	≤ 35% y > 20% del servicio de salud terciarios	PES8	0.134
	ES9	≤ 20% y > 10% del servicio de salud terciarios	PES9	0.068
	ES10	≤ y > 10% del servicio de salud terciarios	PES10	0.035

Luego de asignar un valor a cada factor expuesto de la dimensión social, se halla un ponderado general.

Cuadro 5.4-4 - Exposición Social: Resumen de Valor de Exposición Social

GRUPO ETAREO		SERV. EDUC. EXP.		SERV. DE SALUD TERC.		VALOR EXP. SOCIAL
Parámetro	Peso	Parámetro	Peso	Parámetro	Peso	
0.134	0.633	0.503	0.106	0.503	0.260	0.269

5.4.1.2 Fragilidad Social

La resistencia que los edificios puedan presentar ante las cargas ocasionadas por las masas deslizadas representa el factor principal de fragilidad de la población expuesta. Esta puede estudiarse desde distintos parámetros. En la zona la mayoría de casas son construidas con materiales obtenidos directamente de la naturaleza, aplicando conocimientos empíricos y con mantenimiento poco frecuente después de la construcción.

Cuadro 5.4-5 - Fragilidad Social: Material de Construcción de la Edificación

PARÁMETRO		MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN DE LA EDIFICACIÓN	PESO PONDERADO:	0.208
Descriptores	FS1	Estera / cartón	PFS1	0.503
	FS2	Madera	PFS2	0.260
	FS3	Quincha (caña con barro)	PFS3	0.134
	FS4	Adobe o Tapia	PFS4	0.068
	FS5	Ladrillos o bloque de cemento	PFS5	0.035

Cuadro 5.4-6 - Fragilidad Social: Estado de Conservación de la Edificación

PARÁMETRO		ESTADO DE CONSERVACIÓN DE LA EDIFICACIÓN	PESO PONDERADO:	0.101
Descriptores	FS6	Muy malo	PFS6	0.503
	FS7	Malo	PFS7	0.260
	FS8	Regular	PFS8	0.134
	FS9	Bueno	PFS9	0.068
	FS10	Muy bueno	PFS10	0.035

Cuadro 5.4-7 - Fragilidad Social: Incumplimiento de Procedimientos Constructivos de Acuerdo a Normatividad Vigente

PARÁMETRO		INCUMPLIMIENTO DE PROCEDIMIENTOS CONSTRUCTIVOS DE ACUERDO A NORMATIVIDAD VIGENTE	PESO PONDERADO:	0.048
Descriptores	FS16	80 - 100 %	PFS16	0.503
	FS17	60 - 80 %	PFS17	0.260
	FS18	40 - 60 %	PFS18	0.134
	FS19	20 - 40 %	PFS19	0.068
	FS20	0 - 20 %	PFS20	0.035

Cuadro 5.4-8 - Fragilidad Social: Cercanía al Deslizamiento

PARÁMETRO		CERCANIA AL DESLIZAMIENTO	PESO PONDERADO:	0.643
Descriptores	FS21	0.0 - 0.20 Km	PFS21	0.503
	FS22	0.20 - 0.50 Km	PFS22	0.260
	FS23	0.50 - 1 Km	PFS23	0.134
	FS24	1 - 2 Km	PFS24	0.068
	FS25	2 - 5 Km	PFS25	0.035

Luego de valorar cada indicador de fragilidad social, se hace el ponderado de Fragilidad Social final que nos ayudará en los pasos siguientes de la determinación de la vulnerabilidad.

Cuadro 5.4-9 - Exposición Social: Resumen de Valor de Fragilidad Social

MAT. DE CONS.		EST. DE CONS.		INC. PROC. CONST.		CERC. AL DESL.		VALOR FRAG. SOCIAL
Parámetro	Peso	Parámetro	Peso	Parámetro	Peso	Parámetro	Peso	
0.068	0.208	0.134	0.101	0.503	0.048	0.260	0.643	0.219

5.4.1.3 Resiliencia Social

La población expuesta no ha recibido capacitaciones periódicas, ni esporádicas acerca de gestión de riesgos de desastres. No se encuentra presencia de Defensa Civil, ni preocupación por otras autoridades locales. Así, tampoco se puede reconocer conocimientos históricos de desastres (cabe recordar que el riesgo se origina por actividad minera informa relativamente nueva en la zona); ni regulaciones a través de normas o

decretos dictados por los gobiernos locales que ayuden a prevenir el riesgo de desastres. Por todo ello, la actitud de la población frente al riesgo de es de dejadez y desidia.

Cuadro 5.4-10 – Resiliencia Social: Capacitación en Temas de Gestión del Riesgo

PARÁMETRO		CAPACITACIÓN EN TEMAS DE GESTIÓN DEL RIESGO	PESO PONDERADO:	0.389
Descriptores	RS1	Muy Poca / Nula	PRS1	0.503
	RS2	Poca	PRS2	0.260
	RS3	Básica	PRS3	0.134
	RS4	Intermedia	PRS4	0.068
	RS5	Suficiente	PRS5	0.035

Cuadro 5.4-11 - Resiliencia Social: Conocimiento Histórico de Desastres

PARÁMETRO		CONOCIMIENTO HISTORICO DE DESASTREZ	PESO PONDERADO:	0.069
Descriptores	RS6	Desconocimiento de toda la población sobre las causas y consecuencias de los desastres.	PRS6	0.503
	RS7	Escaso conocimiento sobre causas y consecuencias de los desastres	PRS7	0.260
	RS8	Regular conocimiento sobre causas y consecuencias de los desastres	PRS8	0.134
	RS9	La mayoría de la población tiene conocimientos sobre causa y consecuencias de los desastres	PRS9	0.068
	RS10	Toda la población tiene conocimiento sobre causas y consecuencias de los desastres	PRS10	0.035

Cuadro 5.4-12 - Resiliencia Social: Actitud Frente al Riesgo

PARÁMETRO		ACTITUD FRENTE AL RIESGO	PESO PONDERADO:	0.389
Descriptores	RS11	Desidia, conformista	PRS11	0.503
	RS12	Escasamente previsor, sin implementar medidas	PRS12	0.260
	RS13	Parcialmente previsor, se asume el riesgo sin implementar medidas	PRS13	0.134
	RS14	Parcialmente previsor con escasas medidas	PRS14	0.068
	RS15	Actitud totalmente previsor con implementacion de medidas frente al riesgo	PRS15	0.035

Cuadro 5.4-13 - Resiliencia social: Normatividad y Programas de Contingencia

PARÁMETRO		NORMATIVIDAD Y PROGRAMAS DE CONTINGENCIA	PESO PONDERADO:	0.153
Descriptores	RS16	No existen instrumentos legales locales que apoyen en la reducción del riesgo.	PRS14	0.503
	RS17	Insuficiente capacitación, normativa con pocos simulacros y articulación con otras instituciones.	PRS15	0.260
	RS18	Existe desorden en la configuración territorial del área en estudio. Algunas acciones de prevención y/o mitigación de desastres han sido o están considerados dentro de los planes estratégicos de desarrollo pero no se implementan.	PRS16	0.134
	RS19	Existe interés en el desarrollo planificado del territorio, pero aún hay desorden en la configuración actual del territorio. Se han implementado pocas acciones de prevención o mitigación de desastres.	PRS17	0.068
	RS20	El soporte legal del territorio que ayude a la reducción del riesgo del territorio (local, regional o nacional) en el que se encuentra el área en estudio se llega a cumplir de manera estricta. El desarrollo planificado del territorio, es un eje estratégico de desarrollo.	PRS18	0.035

Luego de valorar cada indicador de resiliencia social, se hace el ponderado de Resiliencia Social final.

Cuadro 5.4-14 - Resiliencia Social: Resumen de Valor de Resiliencia Social

CAP. GEST. DE RIES.		CONO. HIST. DE DES.		ACT. FREN. AL RIES.		NOR. Y PROG. DE CON.		VALOR RES. SOCIAL
Parámetro	Peso	Parámetro	Peso	Parámetro	Peso	Parámetro	Peso	
0.503	0.389	0.503	0.069	0.260	0.389	0.503	0.153	0.408

Para terminar con la evaluación de la vulnerabilidad de la dimensión social, se halla el ponderado de su Exposición, Fragilidad y Resiliencia.

Cuadro 5.4-15 – Valor de Dimensión Social

VALOR EXP. SOCIAL		VALOR FRAG. SOCIAL		VALOR RES. SOCIAL		VALOR SOCIAL
Parámetro	Peso	Parámetro	Peso	Parámetro	Peso	
0.269	0.503	0.219	0.237	0.408	0.260	0.294

5.4.2 Dimensión económica

5.4.2.1 Exposición económica

En la zona conviven actividades económicas primarias primordialmente. La principal actividad es la minería informal. Luego de ello se tiene a pequeños ganaderos y en menor número, se encuentra a los agricultores. Se ha considerado la exposición de la energía en la exposición económica, debido a la exposición de esta y lo que representa en términos económicos.

Cuadro 5.4-16 – Exposición Económica: Minería

PARÁMETRO		MINERÍA	PESO PONDERADO:	0.647
Descriptores	EE1	> 75% de elementos mineros expuestos	PEE1	0.503
	EE2	> 50% y $\leq$ 75% de elementos mineros expuestos	PEE2	0.260
	EE3	> 25% y $\leq$ 50% de elementos mineros expuestos	PEE3	0.134
	EE4	> 10% y $\leq$ 25% de elementos mineros expuestos	PEE4	0.068
	EE5	> y $\leq$ 10% de elementos mineros expuestos	PEE5	0.035

Cuadro 5.4-17 – Exposición Económica: Agricultura

PARÁMETRO		AGRICULTURA	PESO PONDERADO:	0.078
Descriptores	EE6	> 75% de agricultura expuesta	PEE6	0.503
	EE7	> 50% y $\leq$ 75% de agricultura expuesta	PEE7	0.260
	EE8	> 25% y $\leq$ 50% de agricultura expuesta	PEE8	0.134
	EE9	> 10% y $\leq$ 25% de agricultura expuesta	PEE9	0.068
	EE10	> y $\leq$ 10% de agricultura expuesta	PEE10	0.035

Cuadro 5.4-18 – Exposición Económica: Ganadería

PARÁMETRO		GANADERÍA	PESO PONDERADO:	0.196
Descriptores	EE11	> 75% de ganadería expuesta	PEE11	0.503
	EE12	> 50% y $\leq$ 75% de ganadería expuesta	PEE12	0.260
	EE13	> 25% y $\leq$ 50% de ganadería expuesta	PEE13	0.134
	EE14	> 10% y $\leq$ 25% de ganadería expuesta	PEE14	0.068
	EE15	> y $\leq$ 10% de ganadería expuesta	PEE15	0.035

Cuadro 5.4-19 – Exposición Económica: Energía

PARÁMETRO		ENERGÍA	PESO PONDERADO:	0.078
Descriptores	EE16	> 75% de elementos energía expuesta	PEE16	0.503
	EE17	> 50% y ≤ 75% de elementos energía expuesta	PEE17	0.260
	EE18	> 25% y ≤ 50% de elementos energía expuesta	PEE18	0.134
	EE19	> 10% y ≤ 25% de elementos energía expuesta	PEE19	0.068
	EE20	> y ≤ 10% de elementos energía expuesta	PEE20	0.035

Luego de valorar el nivel de exposición de cada elemento en la dimensión económica, se procede a calcular el ponderado de la Exposición Económica.

Cuadro 5.4-20 – Exposición Económica: Resumen de Valor de Exposición Económica

MINERÍA		AGRICULTURA		GANADERÍA		ENERGÍA		VALOR EXP. ECON.
Parámetro	Peso	Parámetro	Peso	Parámetro	Peso	Parámetro	Peso	
0.260	0.647	0.134	0.078	0.134	0.196	0.068	0.078	0.210

5.4.2.2 Fragilidad económica

De ocurrir el deslizamiento de masas, corresponde analizar la fragilidad de los elementos expuestos. Por ello, se consideran los daños que estos elementos sufrirían debido a la situación actual de cada uno de los elementos.

Cuadro 5.4-21 – Fragilidad Económica: Minería

PARÁMETRO		MINERÍA	PESO PONDERADO:	0.558
Descriptores	FS1	Derrumbe total de mina con pérdidas materiales y humanas	PFS1	0.503
	FS2	Derrumbe parcial de mina con pérdidas humanas	PFS2	0.260
	FS3	Derrumbe parcial de mina con pérdidas materiales	PFS3	0.134
	FS4	Actividad minera interrumpida por pérdida de caminos, energía u otros	PFS4	0.068
	FS5	actividad minera no interrumpida	PFS5	0.035

Cuadro 5.4-22 – Fragilidad Económica: Agricultura

PARÁMETRO		AGRICULTURA	PESO PONDERADO:	0.122
Descriptores	FE6	Pérdida total de tierras de cultivo	PFE6	0.503
	FE7	Pérdida total de cultivos	PFE7	0.260
	FE8	Baja pérdida de cultivos sin posibilidad de recuperación	PFE8	0.134
	FE9	Pérdida parcial de cultivos	PFE9	0.068
	FE10	Baja o nula pérdida de cultivos	PFE10	0.035

Cuadro 5.4-23 – Fragilidad Económica: Ganadería

PARÁMETRO		GANADERÍA	PESO PONDERADO:	0.263
Descriptores	FE11	Pérdida de ganado vacuno, porcino, corrales y granjas	PFE11	0.503
	FE12	Perdida de ganado vacuno, corrales y granjas	PFE12	0.260
	FE13	Perdida de ganado caprino	PFE13	0.134
	FE14	Perdida de pastos para ganadería	PFE14	0.068
	FE15	Perdida de pastos naturales	PFE15	0.035

Cuadro 5.4-24 – Fragilidad Económica: Energía

PARÁMETRO		ENERGÍA	PESO PONDERADO:	0.057
Descriptores	FE16	Perdida de infraestructura productora de energía eléctrica	PFE16	0.503
	FE17	Pérdida de servicios de abastecimiento de combustible	PFE17	0.260
	FE18	pérdida de servicios de abastecimiento de gas	PFE18	0.134
	FE19	Perdida de líneas principales de transporte de energía	PFE19	0.068
	FE20	Perdida de líneas secundarias de transporte de energía	PFE20	0.035

Luego de valorar la fragilidad de cada elemento en la dimensión económica, se procede a calcular el ponderado de la Fragilidad Económica.

Cuadro 5.4-25 – Fragilidad Económica: Resumen de Valor Fragilidad Económica

MINERÍA		AGRICULTURA		GANADERÍA		ENERGÍA		VALOR FRAG. ECON.
Parámetro	Peso	Parámetro	Peso	Parámetro	Peso	Parámetro	Peso	
0.260	0.558	0.260	0.122	0.503	0.263	0.035	0.057	0.311

5.4.2.3 Resiliencia Económica

Se estudia los beneficios que las actividades económicas que se desarrollan en la zona vienen brindando a la población y que sirven de sustento para afrontar los daños debido a la ocurrencia de un desastre. Tenemos que la PEA (población económicamente activa) tiene gran índice de desempleo, factor que no ayuda a la resiliencia de la población. Otro factor, el ingreso familiar promedio supera al ingreso mínimo vital, esto se debe a que la principal actividad es la minería informal, y es una actividad que ofrece remuneraciones altas a quienes la practiquen, a cambio de exponerlos a diversos peligros.

Cuadro 5.4-26 – Resiliencia Económica: PEA desocupada

PARÁMETRO		PEA DESOCUPADA	PESO PONDERADO:	0.633
Descriptores	RE1	Puestos de trabajo escasos e inestables. Población con serias limitaciones socioeconómicas.	PRE1	0.503
	RE2	Bajo acceso y poca permanencia a un puesto de trabajo. Poca demanda de mano de obra para las actividades económicas. Poblaciones con limitaciones socioeconómicas.	PRE2	0.260
	RE3	Regular acceso y permanencia a un puesto de trabajo. Existe demanda de mano de obra para actividades económicas. Regulares posibilidades socioeconómicas.	PRE3	0.134
	RE4	Acceso y permanencia en puestos de trabajo. Población con posibilidades socioeconómicas.	PRE4	0.068
	RE5	Alto acceso y permanencia a un puesto de trabajo. Alta demanda de mano de obra para las actividades económicas. Alto nivel de empleo de la población económicamente activa. Poblaciones con altas posibilidades socioeconómicas.	PRE5	0.035

Cuadro 5.4-27 – Resiliencia Económica: Ingreso Familiar Promedio Mensual

PARÁMETRO		INGRESO FAMILIAR PROMEDIO MENSUAL	PESO PONDERADO:	0.260
Descriptores	RE6	0 - 200	PRE6	0.503
	RE7	200 - 700	PRE7	0.260
	RE8	700- 1200	PRE8	0.134
	RE9	1200 - 3000	PRE9	0.068
	RE10	> 3000	PRE10	0.035

Cuadro 5.4-28 – Resiliencia Económica: Organización y Capacitación Institucional

PARÁMETRO		ORGANIZACIÓN Y CAPACITACION INSTITUCIONAL	PESO PONDERADO:	0.106
Descriptores	RE11	No existe apoyo e identificación institucional e interinstitucional. No existe madurez política.	PRE11	0.503
	RE12	Existe un bajo apoyo e identificación institucional e interinstitucional. Madurez política incipiente.	PRE12	0.260
	RE13	Las organizaciones institucionales gubernamentales locales y regionales presentan un nivel estándar de efectividad en su gestión. Tienen un apoyo popular que les permite gobernar con tranquilidad. Existe regular apoyo institucional e Interinstitucional.	PRE13	0.134
	RE14	Existe una progresiva coordinación intersectorial. Existe proceso de madurez política.	PRE14	0.068
	RE15	Las instituciones gubernamentales de nivel sectorial muestran índices altos de gestión de eficiencia. Existe madurez política consolidada.	PRE15	0.035

Luego de haber valorado cada aspecto de la resiliencia económica, se procede a calcular el ponderado final.

Cuadro 5.4-29 – Resiliencia Económica: Resumen de Valor Resiliencia Económica

PEA DESOCUPADA		INGRESO MENSUAL		ORGA. Y CAP. INST.		VALOR RES. ECON.
Parámetro	Peso	Parámetro	Peso	Parámetro	Peso	
0.503	0.633	0.068	0.260	0.503	0.106	0.390

Para terminar con la evaluación de la vulnerabilidad de la dimensión económica, se halla el ponderado de su Exposición, Fragilidad y Resiliencia.

Cuadro 5.4-30 – Valor de Dimensión Económica

VALOR EXP. ECON.		VALOR FRAG. ECON.		VALOR RES. ECON.		VALOR ECONOMICO
Parámetro	Peso	Parámetro	Peso	Parámetro	Peso	
0.210	0.503	0.311	0.237	0.390	0.260	0.281

5.4.3 Dimensión ambiental

5.4.3.1 Exposición ambiental

Ante la ocurrencia de un deslizamiento, dicha masa removería y sepultaría gran área de tierras de pastos naturales, con presencia de pequeños árboles y arbustos de lento

desarrollo. Ello también afectaría otras especies de flora y pequeñas especies de fauna silvestre que conviven en la zona del desastre. Otro factor a considerarse es la pérdida y/o desviación de cauces naturales de agua y también artificiales de riego.

Cuadro 5.4-31 – Exposición Ambiental: Deforestación

PARÁMETRO		DEFORESTACIÓN	PESO PONDERADO:	0.633
Descriptores	EA1	Se dañan áreas sin vegetación. Terrenos eriazos y/o áreas donde se levanta diverso tipo de infraestructura.	PEA1	0.503
	EA2	Áreas de cultivo. Tierras dedicadas a cultivos de pan llevar.	PEA2	0.260
	EA3	Pastos. Tierras dedicadas al cultivo de pastos para fines de alimentación de animales menores y ganado.	PEA3	0.134
	EA4	Otras tierras con árboles. Tierras clasificadas como “otras tierras” que se extienden por más de 0.5 hectáreas con una cubierta de dosel al 10% de árboles capaces de alcanzar una altura de 5 m en la madurez.	PEA4	0.068
	EA5	Bosques. Tierras que se extienden por más de 0.5 hectáreas dotadas de árboles de una altura superior a 5 m y una cubierta de dosel superior al 10 %, o de árboles capaces de alcanzar esta altura in situ. No incluye la tierra sometida a un uso predominantemente agrícola o urbano.	PEA5	0.035

Cuadro 5.4-32 – Exposición Ambiental: Flora y Fauna

PARÁMETRO		FLORA Y FAUNA	PESO PONDERADO:	0.260
Descriptores	EA6	75 – 100 % del total del área de estudio	PEA6	0.503
	EA7	50 - 75 % del total del área de estudio	PEA7	0.260
	EA8	25 - 50 % del total del área de estudio	PEA8	0.134
	EA9	5 - 25 % del total del área de estudio	PEA9	0.068
	EA10	menor a 5% del total del área de estudio	PEA10	0.035

Cuadro 5.4-33 – Exposición Ambiental: Perdida de Agua

PARÁMETRO		PERDIDA DE AGUA	PESO PONDERADO:	0.106
Descriptores	EA11	Daños en la agricultura, ganadería y uso de demanda por contaminación de agua	PEA11	0.503
	EA12	Perdida de agua para consumo humano por daños en red de distribución	PEA12	0.260
	EA13	Contaminación de aguas subterráneas	PEA13	0.134
	EA14	Consumo minero e industrial dañado por daños, fugas y evaporación.	PEA14	0.068
	EA15	Cauces artificiales y naturales desviados	PEA15	0.035

Luego de valorar el nivel de exposición de cada elemento ambiental involucrado en un deslizamiento; se calcula el ponderado del conjunto de estos.

Cuadro 5.4-34 – Exposición Ambiental: Resumen de Valor Exposición Ambiental

DEFORESTACIÓN		FLORA Y FAUNA		PÉRDIDA DE AGUA		VALOR EXP. AMB.
Parámetro	Peso	Parámetro	Peso	Parámetro	Peso	
0.134	0.633	0.260	0.260	0.260	0.106	0.180

5.4.3.2 Fragilidad Ambiental

Debido a que se trata de especies de flora y fauna menores, de tierras fértiles y de una presencia no escasa de agua, se habla de daño a ecosistemas, pero con posibilidad de recuperación.

La minería informal es una actividad no regulada de explotación de recursos naturales, daña los suelos y el agua de forma indiscriminada y descontrolada; por ello, estos recursos presentan un nivel alto de fragilidad.

Cuadro 5.4-35 – Fragilidad Ambiental: Ecosistemas

PARÁMETRO		ECOSISTEMAS	PESO PONDERADO:	0.260
Descriptores	FA1	Perdida de vida de fauna silvestre y sus ecosistemas, con posibilidad de recuperación	PFA1	0.503
	FA2	Perdida de vida de fauna silvestre y sus ecosistemas, sin posibilidad de recuperación	PFA2	0.260
	FA3	Perdida de ecosistemas y suelos naturales fértiles	PFA3	0.134
	FA4	Desviación de caudales naturales de agua	PFA4	0.068
	FA5	Suelos removidos, con rápida capacidad de recuperación	PFA5	0.035

Cuadro 5.4-36 – Fragilidad Ambiental: Explotación de los Recursos

PARÁMETRO		EXPLOTACIÓN DE LOS RECURSOS	PESO PONDERADO:	0.106
Descriptores	FA6	Prácticas negligentes e intensas de degradación del cauce, uso indiscriminado de los suelos.	PFA6	0.503
	FA7	Prácticas negligentes periódicas de degradación del cauce, uso indiscriminado de los suelos y recursos forestales.	PFA7	0.260
	FA8	Prácticas negligentes periódicas de degradación del cauce, uso indiscriminado de los suelos y recursos forestales; pero actividades de baja intensidad.	PFA8	0.134
	FA9	Prácticas de consumo, uso del cauce y de los suelos con asesoramiento técnico capacitado bajo criterios de sostenibilidad.	PFA9	0.068
	FA10	Uso responsable del cauce y del suelo bajo criterios de sostenibilidad económica y ambiental	PFA10	0.035

Cuadro 5.4-37 – Fragilidad Ambiental: Localización de los Centros Poblados

PARÁMETRO		LOCALIZACIÓN DE LOS CENTROS POBLADOS	PESO PONDERADO:	0.633
Descriptores	FA11	Muy cercana 0 km - 0.2 km	PFA11	0.503
	FA12	cercana 0.2 km - 1 km	PFA12	0.260
	FA13	medianamente cerca 1- 3 km	PFA13	0.134
	FA14	alejada 3 - 5 km	PFA14	0.068
	FA15	muy alejada > 5 km	PFA15	0.035

Luego de evaluar los motivos que aumentan la fragilidad del ámbito ambiental, se hace un ponderado de estos para así darle un valor final al nivel de fragilidad ambiental debido al deslizamiento del talud.

Cuadro 5.4-38 – Fragilidad Ambiental: Resumen de Valor de Fragilidad Ambiental

ECOSISTEMAS		EXPL. DE RECURSOS		LOC. DE LOS CEN. POB		VALOR EXP. AMB.
Parámetro	Peso	Parámetro	Peso	Parámetro	Peso	
0.503	0.260	0.503	0.106	0.260	0.633	0.349

5.4.3.3 Resiliencia ambiental

Tal y como ocurre en las otras dimensiones (social y económica), la población no ha tenido capacitaciones sobre temas de riesgos de desastres ni conservación ambiental; no existe

normatividad ambiental que las autoridades apliquen con responsabilidad y los conocimientos ancestrales acerca del cuidado del ambiente se han ido perdiendo con el paso del tiempo y las nuevas preocupaciones del hombre moderno.

Cuadro 5.4-39 – Resiliencia Ambiental: Capacitación en Temas de Conservación Ambiental

PARÁMETRO		CAPACITACIÓN EN TEMAS DE CONSERVACIÓN AMBIENTAL	PESO PONDERADO:	0.309
Descriptores	RA1	La totalidad de la población no recibe y/o desarrolla capacitaciones en temas de conservación ambiental.	PRA1	0.503
	RA2	La población está escasamente capacitada en temas de conservación ambiental, siendo su difusión y cobertura escasa.	PRA2	0.260
	RA3	La población se capacita con regular frecuencia en temas de conservación ambiental, siendo su difusión y cobertura parcial.	PRA3	0.134
	RA4	La población se capacita constantemente en temas de conservación ambiental, siendo su difusión y cobertura mayoritaria.	PRA4	0.068
	RA5	La población se capacita constantemente en temas de conservación ambiental, siendo su difusión y cobertura total.	PRA5	0.035

Cuadro 5.4-40 – Resiliencia Ambiental: Capacitación en Temas de Conservación Ambiental

PARÁMETRO		CONOCIMIENTO Y CUMPLIMIENTO DE NORMATIVIDAD AMBIENTAL	PESO PONDERADO:	0.581
Descriptores	RA6	Las autoridades y población desconocen la existencia de normatividad en tema de conservación ambiental	PRA6	0.503
	RA7	Sólo las autoridades conocen la existencia de normatividad en temas de conservación ambiental. No cumpliéndolas.	PRA7	0.260
	RA8	Las autoridades y población desconocen la existencia de normatividad en temas de conservación cumpliéndola parcialmente.	PRA8	0.134
	RA9	Las autoridades, organizaciones comunales y población en general conocen la existencia de normatividad en temas de conservación ambiental. Cumpliéndola mayoritariamente.	PRA9	0.068
	RA10	Las autoridades, organizaciones comunales y población en general conocen la existencia de normatividad en temas de conservación ambiental. Respetándola y cumpliéndola totalmente.	PRA10	0.035

Cuadro 5.4-41 – Resiliencia Ambiental: Capacitación en Temas de Conservación Ambiental

PARÁMETRO		CONOCIMIENTO ANCESTRAL PARA LA EXPLOTACIÓN SOSTENIBLE DE SUS RECURSOS NATURALES	PESO PONDERADO:	0.110
Descriptores	RA11	La población en su totalidad ha perdido los conocimientos ancestrales para explotar de manera sostenible sus recursos naturales.	PRA11	0.503
	RA12	Algunos pobladores poseen y aplica sus conocimientos ancestrales para explotar de manera sostenible sus recursos naturales.	PRA12	0.260
	RA13	Parte de la población posee y aplica sus conocimientos ancestrales para explotar de manera sostenible sus recursos naturales.	PRA13	0.134
	RA14	La población mayoritariamente posee y aplica sus conocimientos ancestrales para explotar de manera sostenible sus recursos naturales.	PRA14	0.068
	RA15	La población en su totalidad posee y aplica sus conocimientos ancestrales para explotar de manera sostenible sus recursos naturales.	PRA15	0.035

Se calcula el ponderado de la resiliencia ambiental.

Cuadro 5.4-42 – Fragilidad Ambiental: Resumen de Valor de Fragilidad Ambiental

CAP. AMBIENTAL		CON. Y CUMPL. DE NORM. AMB.		CON. ANC. PARA EXPL.		VALOR FRAG. AMB.
Parámetro	Peso	Parámetro	Peso	Parámetro	Peso	
0.503	0.309	0.503	0.581	0.503	0.110	0.503

Luego de ello, se haya el valor de la vulnerabilidad de la dimensión ambiental, asignándole un peso a los tres componentes analizados (exposición, fragilidad y resiliencia).

Cuadro 5.4-43 – Valor de Dimensión Ambiental

VALOR EXP. ECON.		VALOR FRAG. ECON.		VALOR RES. ECON.		VALOR AMBIENTAL
Parámetro	Peso	Parámetro	Peso	Parámetro	Peso	
0.180	0.503	0.349	0.237	0.503	0.260	0.304

5.4.4 Valor total de vulnerabilidad

Luego de haber estudiado la vulnerabilidad en las tres dimensiones, se procede al cálculo de la vulnerabilidad de la zona afectada de ocurrir el deslizamiento del talud en estudio.

Cuadro 5.4-44 – Valor de Vulnerabilidad

DIM. SOCIAL		DIM. ECONOMICO		DIM. AMBIENTAL		VALOR DE VULNERABILIDAD
Parámetro	Peso	Parámetro	Peso	Parámetro	Peso	
0.294	0.503	0.281	0.237	0.304	0.260	0.293

Con este valor, se revisan los rangos indicados por CENEPRED para saber si nos encontramos en un rango de valor de vulnerabilidad muy alto, alto, medio o bajo.

Cuadro 5.4-45 – Niveles de Vulnerabilidad

Nivel de Vulnerabilidad	Rango
Riesgo muy alto	$0.260 \leq R < 0.503$
Riesgo alto	$0.134 \leq R < 0.260$
Riesgo medio	$0.068 \leq R < 0.134$
Riesgo bajo	$0.035 \leq R < 0.068$

Fuente: Adaptado de Manual Para la Evaluación de Riesgos originados por fenómenos naturales (CENEPRED)

Como resultado, tenemos que nuestro valor de vulnerabilidad se encuentra en el rango de riesgo muy alto.

5.5 Análisis de Valor de Riesgo

Tal como se explica en el concepto de riesgo, este es la relación entre vulnerabilidad y peligro. Como pasos ya realizados, se encuentran los valores asignados de peligrosidad y vulnerabilidad y se multiplican según la ecuación que nos da CENEPRED:

$$R_{ie} = f(Vi * Pi)$$

Los posibles rangos de niveles de riesgo se encuentran clasificados de la siguiente manera:

Cuadro 5.5-1 – Niveles de Riesgo

Nivel de Riesgo	Rango
Riesgo muy alto	$0.068 \leq R < 0.253$
Riesgo alto	$0.018 \leq R < 0.068$
Riesgo medio	$0.005 \leq R < 0.018$
Riesgo bajo	$0.001 \leq R < 0.005$

Fuente: Adaptado de Manual Para la Evaluación de Riesgos originados por fenómenos naturales (CENEPRED)

Se aplica la fórmula del riesgo para el caso de estudio y se obtuvo el nivel del riesgo, el cual nos da una clasificación de Riesgo Alto.

Cuadro 5.5-2 – Valor de Riesgo

VALOR DE PELIGROSIDAD	VALOR DE VULNERABILIDAD	VALOR DE RIESGO
0.229	0.293	0.067
		Riesgo Alto

6. POSIBLES SOLUCIONES

Según el análisis realizado, hemos demostrado que el Depósito de Desmonte ejecutado de manera informal representa un riesgo de nivel alto ante la comunidad que se encuentra a pies del Depósito. Es por ello que debe tomarse medidas inmediatas de remediación y mitigación.

Por lo cual, a continuación, presentaremos posibles soluciones:

6.1 Colocación de Dique de Contención con Sistema ERDOX

Consiste en la colocación de un dique de contención con sistema ERDOX aguas abajo del depósito de desmonte. Para su construcción se utilizará como material de relleno el desmonte de mina del mismo depósito. Luego de la colocación del Dique de contención se perfilará el depósito, extrayendo todo el material de desmonte de la zona superior y colocándolo sobre el dique de contención, manteniendo el desmonte con un talud de relleno de 1.6H:1V.

6.2 Remoción de Material de Desmonte de Mina

Consiste en el retiro del total del material de desmonte en dos partes. La primera etapa del proyecto consiste en extraer y eliminar el material de la zona superior para poder brindar una estabilidad del depósito a corto plazo. Dejando en la zona inferior material de desmonte apilado y perfilado para la colocación de un geomanto, de dicha forma se evitarán erosiones producto de la precipitación. La segunda etapa consiste en el retiro de la geomanta, la excavación y eliminación del material de desmonte, en conjunto con un muro de gaviones existente (el cual ha colapsado y actualmente se encuentra cubierto por material de desmonte).

6.3 Colocación de Sistema de Enmallado con Pernos de Anclaje

Consiste en la colocación de una malla de doble torsión de tipo 10 cm x 12 cm, de tensión nominal de rotura a la tracción de 1770 N/mm^2 y carga mínima de rotura del cable 40,3 kN. La malla será anclada con pernos de rosca helicoidal. Tendiendo un total de enmallado de $15,000 \text{ m}^2$ y 980 pernos de anclaje. Ello estabilizaría el Talud del Depósito y prevería la formación de cárcavas en sus taludes producto de las erosiones.

Finalmente, mencionar que las tres (03) alternativas mencionadas son eficaces para la solución del problema. Sin embargo, ellos se diferencian en lo siguiente:

Cuadro 6.3-1 – Evaluación de Posibles Soluciones

Parámetros	Solución 1	Solución 2	Solución 3
Costo	Medio	Alto	Bajo
Tipo de Remediación	Parcial	Total	Parcial
Ventajas	<ul style="list-style-type: none"> - Se estabiliza la zona superior del Depósito que presenta talud con mayor pendiente 	<ul style="list-style-type: none"> - Se estabiliza la zona superior del Depósito que presenta talud con mayor pendiente y a largo tiempo se remueve todo el material de Desmonte eliminando el peligro. 	<ul style="list-style-type: none"> - Se prevé que la erosión producto de las precipitaciones no produzca inestabilidad en el deposito
Desventajas	<ul style="list-style-type: none"> - La colocación del Dique de Contención será muy arriesgada. Además, en años anteriores se realizó la colocación de un muro de contención y este colapso siendo enterrado por material de desmote. 	<ul style="list-style-type: none"> - El costo es muy elevado por el costo de movimiento de tierra y se necesitara personal con alto nivel de experiencia puesto que los trabajos serán muy arriesgados. 	<ul style="list-style-type: none"> - A largo tiempo, la malla y los pernos pueden perder sus características de resistencia y el Depósito puede colapsar. Para ello necesitaría un mantenimiento cada periodo.

7. CONCLUSIONES

- Después de aplicar la metodología del CENEPRED para la evaluación de riesgos, y estudiar el riesgo de deslizamiento de un depósito informal de desmonte de mina; se llega a la conclusión de que el riesgo está dentro del rango “Muy alto” y que se deben tomar acciones de inmediato para remediar esta realidad. Ello se puede hacer atacando la peligrosidad o la vulnerabilidad de los elementos expuestos. El presente estudio recomienda disminuir la peligrosidad, es decir, la probabilidad de deslizamiento. Para ello se proponen las siguientes acciones:
 - Que las autoridades locales y directivos de la mina en conjunto prohíban que se continúe vertiendo material de desmonte en el talud natural en estudio.
 - Retirar el material de la parte superior del talud y en las zonas en el que la pendiente del talud sea más crítica.
- Los análisis de estabilidad estático y pseudoestático nos dan factores de seguridad críticos 1.126 y 0.927 en el estrato conformado por el material de desmonte de mina (asumiendo una superficie de falla no circular, si no plana). Ello nos habla de un deslizamiento inminente; sin embargo, no basta para poder analizar las consecuencias que este deslizamiento tendría, ni para considerar otras posibles causas de deslizamiento, como el factor humano (la informalidad de los botaderos). El estudio de análisis de riesgos sí nos permite considerar estas variables.
- Actualmente existe un manual de riesgos con el que se puede cuantificar el nivel de riesgo que pueden representar algunos desastres naturales. Sin embargo, este no contempla todas las variables presentes en la realidad nacional. Por ejemplo, el caso de estudio, en el que el riesgo nace desde una acción humana al colocar de manera incorrecta el desmonte de la actividad minera de la zona. Además, el manual no considera apoyarse en otras disciplinas, como la ingeniería geotécnica, para poder mejorar el análisis de riesgos. En el presente estudio se demuestra que el análisis de riesgos sí puede servirse de otros estudios para hacer un análisis de mayor consistencia.
- Cada proyecto de creación de depósito de desmonte, además del estudio de factibilidad debe implementar el análisis de riesgo. De tal manera, se podrá comparar los impactos sociales y económicos de tener un depósito construido correctamente y de un depósito informal, sin procesos correctos de seguridad y calidad.

8. RECOMENDACIONES

- Otros estudios de análisis de riesgos en deslizamientos originados por acción humana deben considerar parámetros propios de cada caso particular. Por ejemplo, no olvidar las cargas vivas, por paso de vehículos en la cima del talud, o pequeños temblores debido a detonaciones por explotación de mina.
- En la actualidad las nuevas herramientas tecnológicas nos permiten considerar parámetros que en otros análisis tradicionales no tomarían en cuenta. Ello nos permite mejorar la precisión del análisis de estabilidad y como segunda consecuencia, la evaluación de riesgos originados por desastres naturales. Por ello, se recomienda que futuros estudios puedan aplicar otros modelos de análisis, por ejemplo, el método de elementos finitos.
- El presente caso de estudio sirve de referencia para otros de mayor envergadura, en los que se puede zonificar el riesgo, y plantear soluciones para cada zonificación, aplicando criterios económicos según convenga.
- Se recomienda aplicar el caso de estudio en depósitos de relaves informales, los cuales se han construido a base de rellenos sanitarios. Este análisis debe considerar otros métodos y parámetros de análisis.

9. REFERENCIAS

- Villanueva, Martín; Lino, Erick. (2017). Caracterización Geotécnica y Diseño de Botaderos de Mina. Lima: SRK Consulting (Perú), Lima, Perú.
- Yong-Chan Cho, Young-Suk Song (2013) Deformation measurements and a stability analysis of the slope at a coal mine waste dump. Corea: Korea Institute of Geoscience and mineral resources.
- Mendoza Loayza, Joel (2016). Análisis de estabilidad de taludes de suelos de gran altura en la mina Antapaccay. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Granados López, Alan Raúl (2006). Estabilización del talud de la costa verde en la zona del distrito de barranco. (Tesis para optar el título de Ingeniero Civil). Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Ashutosh, Kainthola & Dhananjai, Verma (2011). A Coal Mine Dump Stability Analysis India: Department of earth science, Indian Institute of technology Bombay.
- Prabhat Pratap, Dev (2019). Assessment of waste dump slope stability at iron ore mines. (Artículo de investigación en Jharkhand). India: Civil Engineering, Modern Institute of engineering & Technology, Mohri.
- Callalle Cueto, Clara (2016). Gestión de riesgo de desastres en zona urbana periférica. Análisis el riesgo en el asentamiento Humano Lomas de Nocheto, Santa Anita, Lima. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Hernandez Atencia, Yelena & Ramírez Arcilla, Hildebrando. (2016). Evaluación del riesgo asociado a vulnerabilidad física por taludes y laderas inestables en la microcuenca Cay, Ibagué, Tolima. Colombia: Universidad Militar Nueva Granada.
- Puell Ortiz, Jorge (2017). Methodology for a dump design optimization in large-scale open pit mines. USA: Department of Mining and Geological Engineering.
- Antonio García Martín, Manuel Rosique Campoy, Francisco E. Segado Vázquez. (1994). Topografía básica para ingenieros. Universidad de Murcia: Editum.
- Aybar-Camacho, C.; Lavado-Casimiro, W.; Sabino, E.; Ramírez, S.; Huerta, J. & Felipe-Obando, O. (2017). Atlas de zonas de vida del Perú – Guía Explicativa. Servicio

Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI). Dirección de Hidrología.

- Braja M. Das. (2013). Fundamentos de Ingeniería Geotécnica. México: Cengage Learning Editores, S.A.
- CAMIPER. (2019). Minería: Todo lo que necesitas saber. Agosto 16, 2019, de CAMIPER Sitio web: https://camiper.com/blog/mineria-necesitas-saber-minas/#La_importancia_de_la_Mineria_en_el_Peru
- Eerick A. Rennat. (1997). Guía Ambiental para la Estabilidad de Taludes de Depósitos de Desechos Sólidos de Mina. Fort Collins, EEUU: Shepherd Miller, Inc.
- Gobitz, V. (2018). Minería informal: ¿Qué hacer?. Marzo 20, 2018, de Diario Gestión Sitio web: <https://gestion.pe/blog/mineria-2021/2018/02/mineria-informal-que-hacer.html/>
- IIMP. (2018). Aportes de la Minería. 2018, de Instituto de Ingenieros de Minas del Perú Sitio web: <http://www.iimp.org.pe/mineria-en-el-peru/aportes>
- IIMP. (2018). Historia de la minería. 2018, de Instituto de Ingenieros de Minas del Perú Sitio web: <http://www.iimp.org.pe/mineria-en-el-peru/historia>
- Manual para la Evaluación de Riesgos Originados por Fenómenos Naturales – 2da Versión. Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres - CENEPRED. Lima: CENEPRED - Dirección de Gestión de Procesos, 2014.
- Rodríguez, S. (2014). Conoce las diferencias entre minería ilegal e informal. Marzo 24, 2014, de Publimetro Sitio web: <https://publimetro.pe/actualidad/conoce-diferencias-entre-mineria-informal-ilegal-21505-noticia/>
- SPDA Actualidad Ambiental. (2013). Diez razones para rechazar la minería ilegal e informal en nuestro país. Septiembre 19, 2013, de SPDA Actualidad Ambiental Sitio web: <https://www.actualidadambiental.pe/diez-razones-para-rechazar-la-mineria-informal-e-ilegal-en-nuestro-pais/>

ANEXOS

ANEXO 1	Registros de Calicatas
ANEXO 2	Registro de Ensayos DPL
ANEXO 3	Resultado de Laboratorio
ANEXO 4	Planos
ANEXO 5	Método Multicriterio