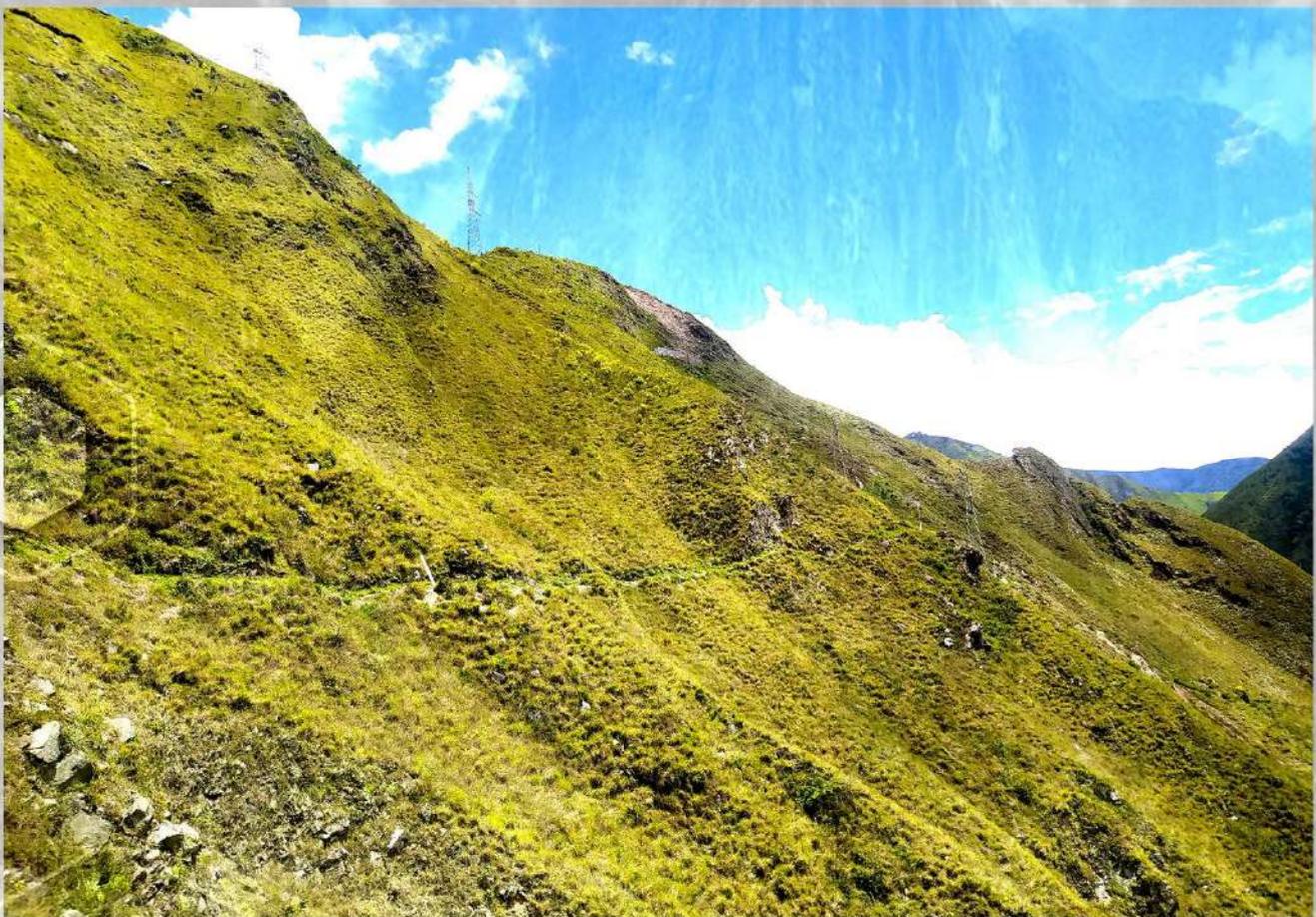




EVALUACIÓN DE RIESGO POR DESLIZAMIENTO EN EL CERRO CALVARIO, CENTRAL HIDROELÉCTRICA DE MACHUPICCHU - SUB ESTACIÓN 138 Kv, DISTRITO DE MACHUPICCHU, PROVINCIA DE URUBAMBA



GEOCUSCO E.I.R.L

EVALUADORA DE RIESGO

Ing. Alcira Elena Olivera Silva

Ingeniero Geólogo con CIP: 101380

Evaluador de Riesgo por Fenómenos Naturales, R.J. N°120-2018 – CENEPRED-J

**MACHUPICCHU - URUBAMBA
2023**


Alcira Elena Olivera Silva
INGENIERA GEÓLOGA
ESPECIALISTA EN EVALUACIÓN DE RIESGOS
CIP. 101380

EQUIPO TÉCNICO

Evaluadora de Riesgo:

Ing. Alcira Elena Olivera Silva

Ingeniero Geólogo con CIP: 101380

Evaluador de Riesgo por Fenómenos Naturales, R.J. N°120-2018 – CENEPRED-J

INDICE

INTRODUCCIÓN	10
CAPÍTULO I: ASPECTOS GENERALES	11
1.1. OBJETIVO GENERAL	11
1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	11
1.3. FINALIDAD	11
1.4. JUSTIFICACIÓN.....	11
1.5. ANTECEDENTES.....	11
1.5.1 INFORMACIÓN EGEMSA.....	11
1.5.2 CENEPRED – SIGRID	12
1.5.3 SINPAD V2.0.....	17
1.6. MARCO NORMATIVO.....	18
CAPÍTULO II: CARACTERÍSTICAS GENERALES	19
2.1. UBICACIÓN.....	19
2.1.1 UBICACIÓN GEOGRÁFICA (UTM)	19
2.1.2 UBICACIÓN GEOPOLÍTICA.....	19
2.2. VÍAS DE ACCESO	20
1.7. CARACTERISTICAS SOCIALES	20
1.7.1. POBLACIÓN.....	20
1.7.2. ESTRUCTURAS PROVINCIONALES DE COMERCIO	20
1.7.3. MODULOS DE VIGILANCIA DE EGEMSA.....	21
2.3. CARACTERÍSTICAS GEOLOGICAS REGIONALES	21
2.3.1 LITOESTRATIGRAFIA REGIONAL.....	21
2.3.2 GEOMORFOLOGIA REGIONAL.....	22
2.4. CARACTERÍSTICAS GEOLOGICAS LOCALES	23
2.4.1 UNIDADES LITOLÓGICAS.....	23
2.4.2 UNIDADES GEOMORFOLOGICAS LOCALES.....	28
2.4.3 PENDIENTE	31
2.4.4 GEODINAMICA EXTERNA.....	32
2.4.5 GEOLOGIA ESTRUCTURAL.....	33
2.4.6 GEOFISICA	35
2.5. CONDICIONES CLIMATOLÓGICAS.....	38
2.5.1 PRECIPITACIÓN.....	38
2.5.2 TEMPERATURA.....	39
2.5.3 HUMEDAD RELATIVA.....	39
2.6. CONDICIONES CLIMATOLÓGICAS.....	39
2.6.1 UMBRALES DE PRECIPITACION PLUVIAL.....	39
2.6.2 ISOYETAS.....	40
2.6.3 MODELO INDICE TOPOGRAFICO DE HUMEDAD.....	41
2.7. GEOTECNIA, GEOMECÁNICA – ESTABILIDAD DE TALUDES.....	44
2.7.1 CARACTERIZACIÓN GEOMECÁNICA DEL MACIZO.....	45
2.7.2 MECANICA DE SUELOS.....	45
2.7.3 ESTABILIDAD DE TALUDES	45
3. CAPÍTULO III: DETERMINACIÓN DEL NIVEL DE PELIGROSIDAD.....	47
3.1. METODOLOGÍA PARA LA DETERMINACIÓN DEL PELIGRO	47
3.1.1 IDENTIFICACIÓN DEL FENOMENO Y EL PELIGRO.....	47
3.1.2 METODOLOGÍA PARA LA IDENTIFICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE LOS PELIGROS.....	47
3.2. IDENTIFICACIÓN DEL ÁMBITO DE ESTUDIO.....	48
3.3. SUSCEPTIBILIDAD DEL TERRITORIO.....	49
3.3.1 ANÁLISIS DE LOS FACTORES CONDICIONANTES.....	49
3.3.2 ANÁLISIS DEL FACTOR DESENCADENANTE.....	52
3.4. PARÁMETRO DE EVALUACIÓN	54
3.4.1 PARÁMETRO: VOLUMEN DE DESLIZAMIENTO.....	54
3.4.2 ANALISIS DE CAIDA DE ROCAS Y PERIODOS DE RECURRENCIA DE EVENTOS.....	55
3.5. NIVELES DE PELIGRO	57
3.6. ESTRATO NIVEL DE PELIGROSIDAD	57
3.7. MAPA DE PELIGRO POR DESLIZAMIENTO AMBITO DE INFLUENCIA	58

3.8	ANÁLISIS DE ELEMENTOS EXPUESTOS	59
3.9	ANÁLISIS DE ELEMENTOS EXPUESTOS EN NIVELES DE PELIGRO	60
CAPITULO IV: ANÁLISIS DE LA VULNERABILIDAD		61
4.1	ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD	61
4.2	METODOLOGÍA PARA LA DETERMINACIÓN DEL NIVEL DE VULNERABILIDAD	61
4.3	VULNERABILIDAD EN LA DIMENSION SOCIAL	62
4.3.1	EXPOSICIÓN SOCIAL	62
4.3.2	FRAGILIDAD SOCIAL	63
4.3.3	RESILIENCIA SOCIAL	64
4.4	VULNERABILIDAD EN LA DIMENSION ECONOMICA	65
4.4.1	EXPOSICIÓN ECONÓMICA	65
4.4.2	FRAGILIDAD ECONÓMICA	66
4.4.3	RESILIENCIA ECONÓMICA	68
4.5	VULNERABILIDAD EN LA DIMENSION AMBIENTAL	69
4.5.1	EXPOSICIÓN AMBIENTAL	69
4.5.2	FRAGILIDAD AMBIENTAL	70
4.5.3	RESILIENCIA AMBIENTAL	71
4.6	ESTRATIFICACIÓN DEL NIVEL DE VULNERABILIDAD	73
4.7	NIVELES DE VULNERABILIDAD	74
4.8	MAPA DE VULNERABILIDAD ANTE DESLIZAMIENTO	74
CAPITULO V: CÁLCULO DEL RIESGO		75
5.1	METODOLOGÍA PARA EL CÁLCULO DEL RIESGO	75
5.2	SECUENCIA METODOLOGÍA PARA LA ZONIFICACIÓN DE NIVELES DE RIESGO	75
5.3	MATRIZ DE RIESGOS	76
5.4	NIVELES DEL RIESGO	76
5.5	ESTRATO NIVEL DE RIESGO POR DESLIZAMIENTO	76
5.6	MAPA DEL RIESGO POR DESLIZAMIENTO	77
5.7	CÁLCULO DE EFECTOS PROBABLES (DAÑOS Y PERDIDAS)	78
5.7.1	DETERMINACIÓN Y VALORIZACIÓN DE LOS ELEMENTOS EXPUESTOS POR PROBABLES EFECTOS EN DAÑOS Y PERDIDAS	78
5.7.2	ANÁLISIS DE PERDIDAS PROBABLES	79
CAPÍTULO VI: CONTROL DEL RIESGO		80
6.1	CONTROL DE RIESGOS	80
6.1.1	VALORACIÓN DE LAS CONSECUENCIAS	80
6.2	VALORACIÓN DE FRECUENCIA DE RECURRENCIA	81
6.3	NIVEL DE CONSECUENCIA Y DAÑO	81
6.4	ACEPTABILIDAD Y/O TOLERANCIA	81
6.5	MATRIZ DEL NIVEL DE ACEPTABILIDAD Y/O TOLERANCIA DEL RIESGO	82
6.6	PRIORIDAD DE INTERVENCIÓN	82
6.7	MEDIDAS DE PREVENCIÓN Y REDUCCIÓN DEL RIESGO	83
6.7.1	MEDIDAS DE REDUCCIÓN DEL RIESGO	83
6.7.1.1	MEDIDAS DE REDUCCIÓN ESTRUCTURAL:	83
6.7.2	MEDIDAS DE REDUCCIÓN NO ESTRUCTURAL:	86
CONCLUSIONES		87
RECOMENDACIONES		89
BIBLIOGRAFÍA		90

INDICE DE IMAGENES

IMAGEN 1. Mapa de puntos críticos por geodinámica externa.....	13
IMAGEN 2. Mapa de susceptibilidad a movimientos en masa	14
IMAGEN 3. Mapa de intensidades sísmicas máximas 1400-1900.....	14
IMAGEN 4. Mapa de bajas temperaturas percentil 10 Julio.....	15
IMAGEN 5. Mapa de frecuencia de heladas meteorológicas	15
IMAGEN 6. Mapa de lluvias intensas, PP normal acumulada (Sep - May)	16
IMAGEN 7. Mapa de Susceptibilidad frente a inundaciones	16
IMAGEN 8. Mapa de ubicación del área de influencia	19
IMAGEN 9. Mapa de accesibilidad al área de influencia	20
IMAGEN 10. Mapa geológico regional	22
IMAGEN 11. Mapa geomorfológico regional	23
IMAGEN 12. Mapa de unidades litológicas	27
IMAGEN 13. Mapa de unidades geomorfológicas.....	31
IMAGEN 14. Mapa de pendientes	32
IMAGEN 15. Geodinámica externa.....	33
IMAGEN 16. Sistemas de fallas y geología estructural.....	34
IMAGEN 17. Mapa de ubicación de tomografía eléctrica	35
IMAGEN 18. Tomografía eléctrica sección 1 A-A'	36
IMAGEN 19. Tomografía eléctrica sección 2 B-B'	36
IMAGEN 20. Tomografía eléctrica sección 2 C-C'	37
IMAGEN 21. Tomografía eléctrica sección 3D.....	37
IMAGEN 22. Mapa de precipitaciones máximas del Perú	40
IMAGEN 23. Isoyetas generadas en base a Umbrales de Precipitación - SENAMHI.....	41
IMAGEN 24. Algoritmo para determinar ITH o TWI, en SAGA GIS.	43
IMAGEN 25. Índice topográfico de Humedad.....	44
IMAGEN 26. Análisis de estabilidad de taludes EGM 2 y EGM 3	46
IMAGEN 27. Mapa del área de evaluación.....	48
IMAGEN 28. Mapa de susceptibilidad por deslizamiento.....	54
IMAGEN 29. Mapa de peligro por deslizamientos.....	58
IMAGEN 30. Mapa de Elementos expuestos	59
IMAGEN 31. Mapa de Elementos expuestos en niveles de peligro.....	60
IMAGEN 33. Mapa de vulnerabilidad ante deslizamientos	74
IMAGEN 34. Fórmula para determinar el nivel del riesgo	75
IMAGEN 35. Mapa de riesgo originado por deslizamiento	78
IMAGEN 36. Obras estructurales existentes.....	83
IMAGEN 37. Mapa de aspecto y dirección de pendientes	84
IMAGEN 38. Mapa de áreas identificadas para las acciones propuestas.	85

INDICE DE FOTOGRAFÍAS

FOTOGRAFÍA 1. Fragmentos de roca sobre deposito coluvial	24
FOTOGRAFÍA 2. Depósitos coluvio aluviales por erosión pluvial	25
FOTOGRAFÍA 3. Depósitos coluvio deluviales mayores a 1 m de espesor.....	25
FOTOGRAFÍA 4. Afloramientos rocosos	26
FOTOGRAFÍA 5. Depósitos fluviales y fluvio aluviales en márgenes del río	27
FOTOGRAFÍA 6. Vertiente de deslizamiento al extremo este del ámbito de evaluación	28
FOTOGRAFÍA 7. Vertiente coluvio - deluvial	29
FOTOGRAFÍA 8. Afluente, llanura aluvial y piedemonte.....	30

INDICE DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1: clasificación de fenómeno natural – peligro	47
GRÁFICO 2: metodología general para determinar la peligrosidad	47
GRÁFICO 3: Flujograma general del proceso de análisis de información	48
GRÁFICO 4: Factores y parámetros de la susceptibilidad	49
GRÁFICO 5: Secuencia de la metodología del análisis de vulnerabilidad	61
GRÁFICO 6: porcentaje de nivel de vulnerabilidad	75

INDICE DE CUADROS

CUADRO 1. Antecedentes registrados en la plataforma SINPAD	17
CUADRO 2. Acceso Central Hidroeléctrica de Machupicchu subestación 138Kv	20
CUADRO 3. Unidades litológicas, ámbito de influencia.....	24
CUADRO 4. Unidades geomorfológicas dentro del área de estudio.....	30
CUADRO 5. Clasificación de pendientes, área de estudio.....	31
CUADRO 06. Información Pluviométrica máxima 24 hrs en estaciones analizadas.	38
CUADRO 07. Promedios de Temperatura media mensual en un período de 37 años.	39
CUADRO 8. Humedad promedio mensual	39
CUADRO 09. Umbrales de precipitación.....	40
CUADRO 10. Índice Topográfico de Humedad.....	44
CUADRO 11. Índice Topográfico de Humedad.....	45
CUADRO 12. Nomenclatura de factores condicionantes.....	49
CUADRO 13. Matriz de comparación de pares	49
CUADRO 14. Matriz de normalización de pares	50
CUADRO 15. Índice de consistencia y relación de consistencia	50
CUADRO 16. Nomenclatura de parámetro.....	50
CUADRO 17. Matriz de comparación de pares	50
CUADRO 18. Matriz de normalización de pares	50
CUADRO 19. Índice de consistencia y relación de consistencia	50
CUADRO 20. Nomenclatura de parámetro.....	51
CUADRO 21. Matriz de comparación de pares	51
CUADRO 22. Matriz de normalización de pares	51
CUADRO 23. Índice de consistencia y relación de consistencia	51
CUADRO 24. Nomenclatura de parámetro.....	51
CUADRO 25. Matriz de comparación de pares	51
CUADRO 26. Matriz de normalización de pares	52
CUADRO 27. Índice de consistencia y relación de consistencia	52
CUADRO 28. Nomenclatura de parámetro.....	52
CUADRO 29. Matriz de comparación de pares	52
CUADRO 30. Matriz de normalización de pares	52
CUADRO 31. Índice de consistencia y relación de consistencia	52
CUADRO 32. Nomenclatura de parámetro.....	53

CUADRO 33. Matriz de comparación de pares	53
CUADRO 34. Matriz de normalización de pares	53
CUADRO 35. Índice de consistencia y relación de consistencia	53
CUADRO 36. Nomenclatura de parámetro	55
CUADRO 37. Matriz de comparación de pares	55
CUADRO 38. Matriz de normalización de pares	55
CUADRO 39. Índice de consistencia y relación de consistencia	55
CUADRO 40. Niveles de peligro	57
CUADRO 41. Matriz nivel de peligrosidad	57
CUADRO 42. Matriz de comparación de pares	62
CUADRO 43. Matriz de normalización de pares	62
CUADRO 44. Nomenclatura del parámetro	62
CUADRO 45. Nomenclatura del parámetro	62
CUADRO 46. Matriz de comparación de pares	63
CUADRO 47. Matriz de normalización de pares	63
CUADRO 48. Nomenclatura del parámetro	63
CUADRO 49. Nomenclatura del parámetro	63
CUADRO 50. Matriz de comparación de pares	63
CUADRO 51. Matriz de normalización de pares	64
CUADRO 52. Nomenclatura del parámetro	64
CUADRO 53. Nomenclatura del parámetro	64
CUADRO 54. Matriz de comparación de pares	64
CUADRO 55. Matriz de normalización de pares	64
CUADRO 56. Nomenclatura del parámetro	65
CUADRO 57. Nomenclatura del parámetro	65
CUADRO 58. Matriz de comparación de pares	65
CUADRO 59. Matriz de normalización de pares	65
CUADRO 60. Nomenclatura del parámetro	66
CUADRO 61. Matriz de comparación de pares	66
CUADRO 62. Matriz de normalización de pares	66
CUADRO 63. Nomenclatura del parámetro	66
CUADRO 64. Matriz de comparación de pares	66
CUADRO 65. Matriz de normalización de pares	66
CUADRO 66. Nomenclatura del parámetro	67
CUADRO 67. Matriz de comparación de pares	67
CUADRO 68. Matriz de normalización de pares	67
CUADRO 69. Nomenclatura del parámetro	67
CUADRO 70. Matriz de comparación de pares	67
CUADRO 71. Matriz de normalización de pares	68
CUADRO 72. Nomenclatura del parámetro	68
CUADRO 73. Nomenclatura del parámetro	68
CUADRO 74. Matriz de comparación de pares	68
CUADRO 75. Matriz de normalización de pares	68
CUADRO 76. Nomenclatura del parámetro	69
CUADRO 77. Matriz de comparación de pares	69
CUADRO 78. Matriz de normalización de pares	69
CUADRO 79. Nomenclatura del parámetro	69
CUADRO 80. Nomenclatura del parámetro	69
CUADRO 81. Matriz de comparación de pares	70
CUADRO 82. Matriz de normalización de pares	70
CUADRO 83. Nomenclatura del parámetro	70
CUADRO 84. Nomenclatura del parámetro	70
CUADRO 85. Matriz de comparación de pares	70
CUADRO 86. Matriz de normalización de pares	71

CUADRO 87. Nomenclatura del parámetro.....	71
CUADRO 88. Matriz de comparación de pares.....	71
CUADRO 89. Matriz de normalización de pares.....	71
CUADRO 90. Nomenclatura del parámetro.....	71
CUADRO 91. Nomenclatura del parámetro.....	72
CUADRO 92. Matriz de comparación de pares.....	72
CUADRO 93. Matriz de normalización de pares.....	72
CUADRO 94. Nomenclatura del parámetro.....	72
CUADRO 95. Matriz de comparación de pares.....	72
CUADRO 96. Matriz de normalización de pares.....	73
CUADRO 97. Estratificación de la vulnerabilidad.....	73
CUADRO 98. Niveles de vulnerabilidad.....	74
CUADRO 99. Matriz de riesgo.....	76
CUADRO 100. Niveles de riesgo.....	76
CUADRO 101. Estratificación del riesgo por deslizamiento.....	76
CUADRO 102. Costos Unitarios de Infraestructura de edificaciones.....	79
CUADRO 103. Valoración de las consecuencias.....	80
CUADRO 104. Valoración de frecuencias de recurrencia.....	81
CUADRO 105. Nivel de consecuencia y daño.....	81
CUADRO 106. Aceptabilidad y/o tolerancia del riesgo.....	82
CUADRO 107. Nivel de aceptabilidad y/o tolerancia del riesgo.....	82
CUADRO 108. Prioridad de intervención.....	82

PRESENTACIÓN

El presente informe, corresponde a la Evaluación de riesgo originado por deslizamiento en las vertientes del cerro El Calvario, ubicado en el C.P de Intihuatana y la Central Hidroeléctrica de Machupicchu, la evaluación de riesgos se enfoca considerando el riesgo por deslizamiento de rocas y suelos en el cerro El Calvario y como elemento expuesto se tiene la Subestación 138 Kv de tipo exterior (Patio del llaves) de la Central Hidroeléctrica de Machupicchu ubicada en la vertiente baja; la evaluación contempla el componente prospectivo y correctivo de la Gestión del Riesgo de Desastres por fenómenos naturales como geodinámica externa e hidrometeorológicos, con la probabilidad de la ocurrencia de peligro de deslizamientos desencadenando eventuales Caídas de roca y flujos de detritos.

De acuerdo al Marco Normativo del Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres SINAGERD, Ley N° 29664 y su Reglamento aprobado mediante DS N° 048-2011-PCM, dentro del proceso de estimación del riesgo, en el que determina la metodología como guía descrito en el “Manual para la Evaluación de Riesgos Originados por Fenómenos Naturales”, 2da Versión para determinar los niveles y control de los riesgos originado por deslizamientos en el área que comprende el patio de llaves, Sub Estación 138 Kv de la Central Hidroeléctrica de Machupicchu y el área que comprende el Cerro El Calvario.

La evaluación de riesgo por fenómenos naturales es un instrumento técnico de gestión, dirigido a incorporarse a la planificación, estimación, prevención y reducción del Riesgo de Desastres de origen natural. Esta evaluación pretende describir y responder a una determinada realidad con las características para el análisis y a un contexto específico. La evaluación de riesgos por fenómenos naturales se realiza partiendo de dos etapas fundamentales previas: una es la caracterización de peligros en el territorio, el análisis de la vulnerabilidad de los elementos expuestos al peligro o amenaza, y en base a estas dos etapas determinar el nivel de riesgo que presente la Sub estación 138 Kv.

INTRODUCCIÓN

El informe de Evaluación de riesgo originado por deslizamientos, permite identificar el peligro o amenaza hacia los elementos que se exponen (Sub estación 138 Kv, Patio de llaves y población cercana C.P Intihuatana), analizar la vulnerabilidad de dichos elementos en cuanto a su exposición, fragilidad y resiliencia en los ámbitos social, económico y ambiental, para luego determinar el grado de riesgo por deslizamiento y eventual caída de rocas al que se encuentren determinados.

La ocurrencia de eventos de deslizamientos está relacionada a los fenómenos de geodinámica externa y desencadenados por intensas precipitaciones pluviales que corresponden a los fenómenos hidrometeorológicos, que puede causar daños considerables a los elementos expuestos determinados debido al nivel de vulnerabilidad que presentan y ausencia de medidas que puedan reducir el riesgo existente.

Como inicio se enmarca en la búsqueda de antecedentes, el que se incide en información existente de entidades técnico científicas, Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (INGEMMET), Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI), Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres (CENEPRED) Sistema de información para la Gestión del Riesgo de Desastres (SIGRID), Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI), Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI), y Estudios técnicos previos existentes.

Cumpliendo con la metodología determinada por el Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres (CENEPRED), el presente informe de Evaluación de Riesgos originado por deslizamientos comprende:

En la primera parte del informe, se desarrollan los aspectos generales, objetivos, justificación, antecedentes y marco normativo.

En la segunda parte, se describen los aspectos generales del área de influencia: ubicación geográfica, características físicas, sociales, económicas, entre otros.

La tercera parte contiene la identificación del peligro, su caracterización y evaluación de acuerdo a los elementos expuestos, el análisis físico de susceptibilidad (factores condicionantes y desencadenantes), en el área de influencia del peligro; representados en Mapas temáticos.

La cuarta parte contiene el análisis de la vulnerabilidad en las tres dimensiones: social, económico y ambiental y las condiciones de exposición, fragilidad y resiliencia en los componentes estructurales del proyecto para definir los niveles de vulnerabilidad, representándose en un Mapa temático.

La quinta parte contempla el cálculo del riesgo, en el que se determina el nivel del riesgo por flujo de detritos, sabiendo que el riesgo es igual al factor del peligro por vulnerabilidad, representándose en un Mapa de niveles de riesgo.

Como parte final, se evalúa el control del riesgo, para identificar su aceptabilidad y tolerancia, considerando las medidas o componentes estructurales y no estructurales existentes y planteadas que permitan prevenir el riesgo identificado.

CAPÍTULO I : ASPECTOS GENERALES

1.1. OBJETIVO GENERAL

Determinar los niveles de riesgo originado por deslizamiento de rocas y suelos en el Cerro El Calvario, de la Sub Estación 138 Kv del tipo exterior, ubicada en el C.P Intihuatana (INEI, 2017), en el Distrito de Machupicchu, Provincia de Urubamba.

1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar y zonificar el peligro por deslizamiento y sus respectivos niveles.
- Identificar y cuantificar los elementos expuestos en el área de influencia frente al peligro.
- Analizar la vulnerabilidad en las dimensiones sociales, económicas y ambientales; de los elementos expuestos a nivel de predio, determinando los niveles de vulnerabilidad.
- Calcular los niveles de riesgo para el análisis del control de riesgo identificando su aceptabilidad y tolerancia.
- Recomendar la implementación de las medidas de control del riesgo de carácter estructural y no estructural, para mitigar los peligros existentes.

1.3. FINALIDAD

Contribuir con el documento técnico de gestión, evaluación de riesgo originado por deslizamientos en la Sub estación 138 Kv, y así adoptar las medidas de prevención y reducción del riesgo identificado.

1.4. JUSTIFICACIÓN

Sustentar la implementación de acciones de prevención y/o reducción del riesgo por Deslizamientos en el área correspondiente al Cerro El Calvario y a su vez donde se encuentra Ubicada El patio de llaves, Sub Estación 138 Kv, en el área de operaciones de la Central Hidroeléctrica de Machupicchu, Provincia de Urubamba, Distrito de Machupicchu.

1.5. ANTECEDENTES

1.5.1 INFORMACIÓN EGEMSA

- ❖ Durante los años 2004 – 2005, se desencadenaron deslizamientos de rocas y material coluvial en la vertiente del cerro El El Calvario en el flanco lateral derecho del patio de llaves de la subestación de los grupos Péltón. Estos deslizamientos fueron controlados por la instalación de estructuras de sostenimiento y contención como diques de gaviones en la parte lateral derecha y barreras en base a vigas de acero, mallas y cable de acero a lo largo de la vertiente superior del cerro El El Calvario.
- ❖ El 3 de abril del 2019, se originó eventos por movimiento en masa como caídas de rocas en el cerro El Calvario, ocasionando daños en las instalaciones eléctricas de las líneas de transmisión en 138 KV, líneas en media tensión, circuitos en baja tensión y daños de algunos equipos.

- ❖ El 22 de enero de 2020, la Central Hidroeléctrica Machupicchu se encontraba generando 165 MW, mediante el grupo Francis y los 03 grupos Peltón; intempestivamente el grupo Francis se desconecta del sistema, esto debido a una falla en la barra de la subestación de la I fase a causa de la caída de roca que dejó sin servicio los equipos de maniobra de la línea L1001: Seccionador de barra e interruptor de potencia.
- ❖ La Oficina de Riesgos y Seguridad del Gobierno Regional del Cusco realizó la evaluación en campo del sector del cerro El Calvario, en cuyas faldas se ubica la subestación de la Central Hidroeléctrica Machupicchu I fase, remitiendo el OFICIO N° 186 - 2019 -GR CUSCO-OGRS/D6 de fecha 30 de mayo 2019 comunicando el INFORME N° 029 -2019-GR CUSCO/OGRS-RQE
- ❖ El Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI) realizó la evaluación del cerro El El Calvario y emitió la ficha “Evaluación de daños y análisis de necesidades (EDAN), y recomienda realizar un estudio para la reubicación definitivo del Patio de Llaves.
- ❖ El año 2020, EGEMSA contrató los servicios de la empresa Geotecnia y laboratorios Cusco E.I.R.L para la realización del Estudio Geológico, Geodinámica externo y Geofísico del cerro El Calvario del nivel superior del Patio de llaves Fase I, Central Hidroeléctrica Machupicchu Km 122, estudio en cuyas conclusiones ha ratificado la calificación realizada por el INGEMMET al peligro y riesgo geológico del cerro El Calvario de muy alto y alto peligro, recomendando trabajos de estabilización del talud.
- ❖ El 17 abril del 2019, mediante carta G-0334-2019 la Gerencia General dispone a la Gerencia de Proyectos realizar los estudios para la reubicación del Patio de Llaves en el mediano plazo debido al riesgo inminente sobre las instalaciones de la Central.
- ❖ El año 2019 y 2020 se realizaron actividades de limpieza y desquince de las áreas susceptibles a caída de rocas con el objetivo de mitigar los riesgos por caída de rocas y posibles daños y contingencias operativas en los equipos de la Central Hidroeléctrica Machupicchu.
- ❖ Desde agosto del 2022, se viene instalando estructuras de estabilización del talud en el cerro El El Calvario, de acuerdo al expediente técnico anexo 11, con la finalidad de mitigar los eventos de caídas de rocas que generan afectación al patio de llaves de la subestación I Fase, a fin de mejorar la confiabilidad de la evacuación de la energía eléctrica producida por las unidades Pelton al Sistema Interconectado Nacional.

1.5.2 CENEPRED – SIGRID

La información cartográfica obtenida del sistema de información para la gestión de riesgos de desastres SIGRID, tiene como antecedentes información a escala regional de los diferentes fenómenos naturales y peligros, información generada por las diferentes instituciones técnico científicas.

Para el inventario de puntos críticos por geodinámica externa, dentro del Ámbito de influencia se identifican áreas de caída (Suelo o roca).

El mapa de peligro por movimientos en masa a escala regional indica que el Ámbito de influencia se ubica en niveles Muy alto, Alto y Medio.

El mapa de intensidades sísmicas máximas en la escala de Mercalli, para los años 1960 al 2014 el Ámbito de influencia se ubica en una intensidad de VII.

La cartografía para bajas temperaturas según el percentil 10 para el mes de Julio indica temperaturas mínimas de -5 a -2 °C.

La cartografía de frecuencia de heladas meteorológicas es de 30 a 60 de probabilidad.

El mapa de lluvias intensas PP normal acumulada para los meses de septiembre a mayo corresponde a valores de 0 a 400 mm.

Finalmente, para la susceptibilidad frente a inundaciones, la cartografía indica nivel alto a muy alto.

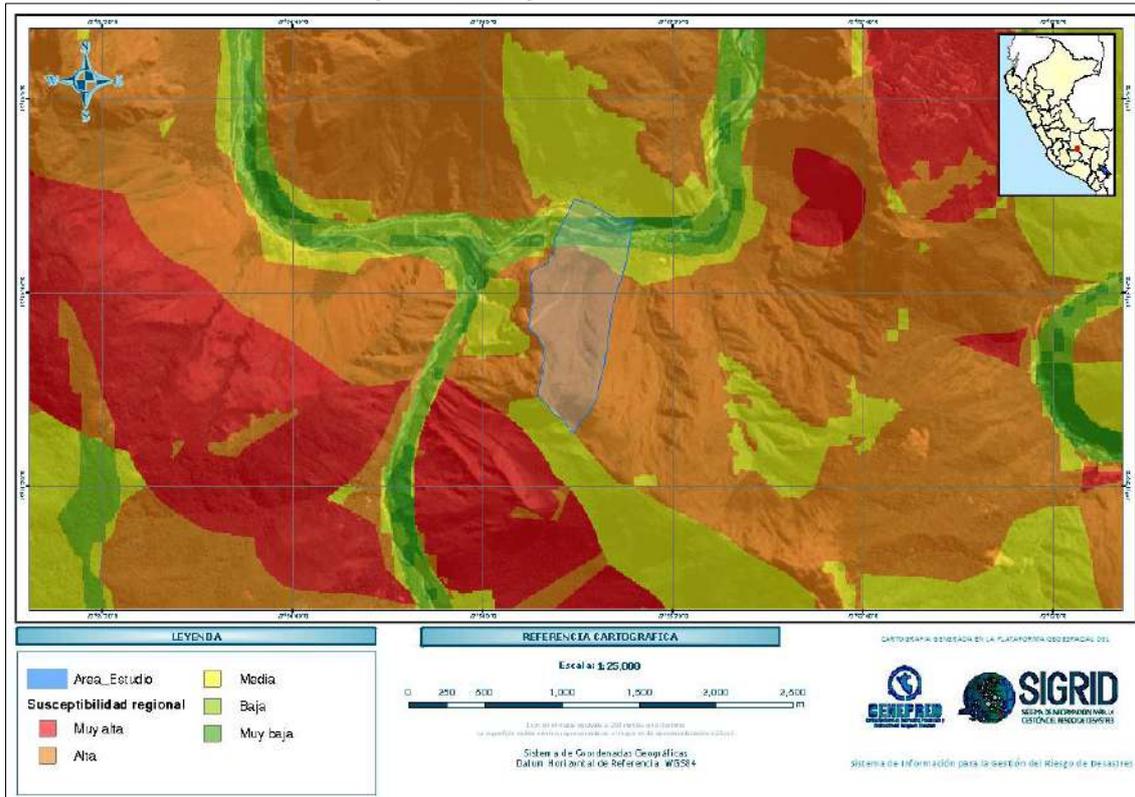
Identificados los peligros dentro del ámbito de influencia y según la cartografía proporcionada por el SIGRID se observa que el peligro predominante es movimiento en masa y existe un punto crítico referido a caída de rocas, juntamente con los registros anteriores proporcionados por EGEMSA, se considera para la evaluación de riesgo originado por deslizamiento y consecuentemente eventos de caídas y flujos de detritos.

IMAGEN 1. Mapa de puntos críticos por geodinámica externa



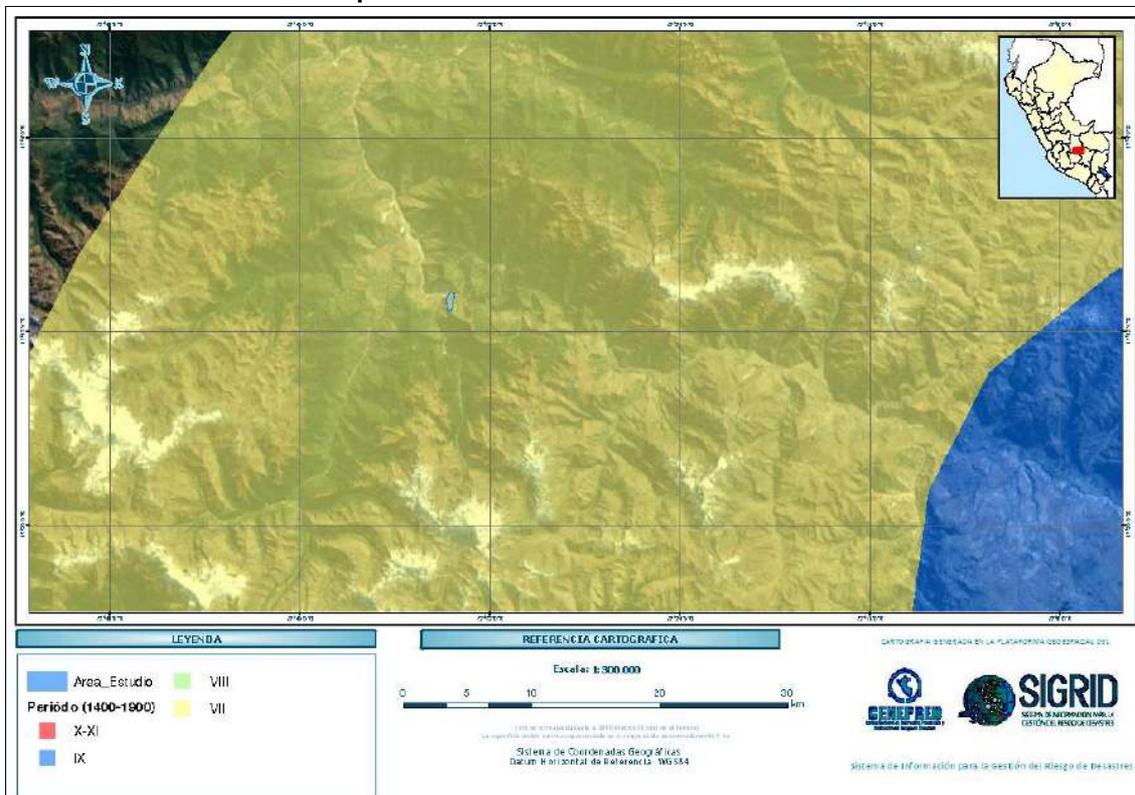
Fuente: CENEPRED – SIGRID

IMAGEN 2. Mapa de susceptibilidad a movimientos en masa



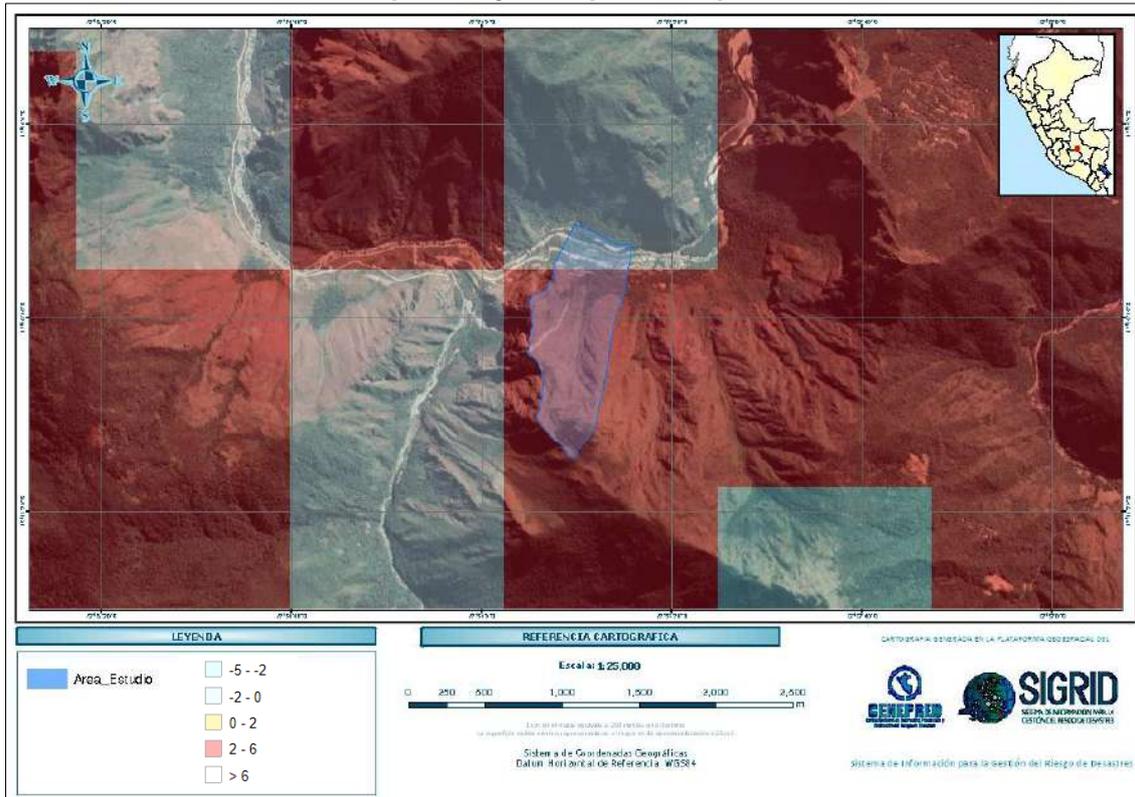
Fuente: CENEPRED – SIGRID

IMAGEN 3. Mapa de intensidades sísmicas máximas 1400-1900



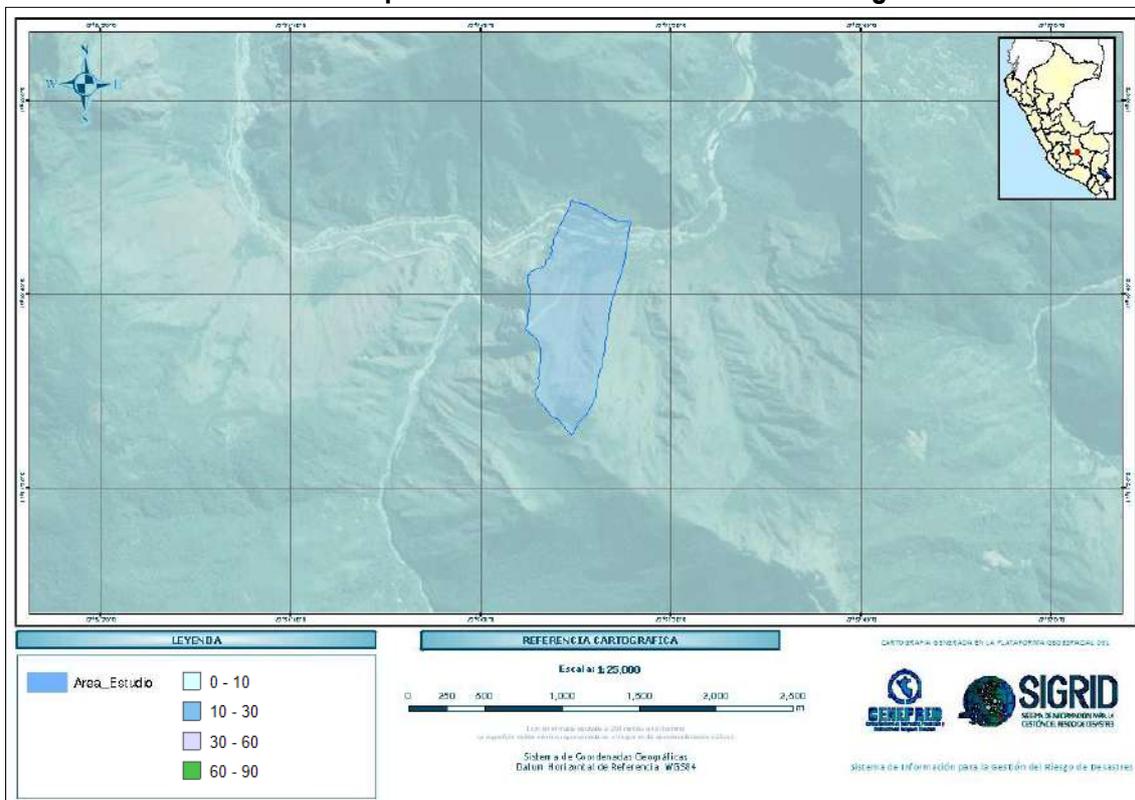
Fuente: CENEPRED – SIGRID

IMAGEN 4. Mapa de bajas temperaturas percentil 10 Julio



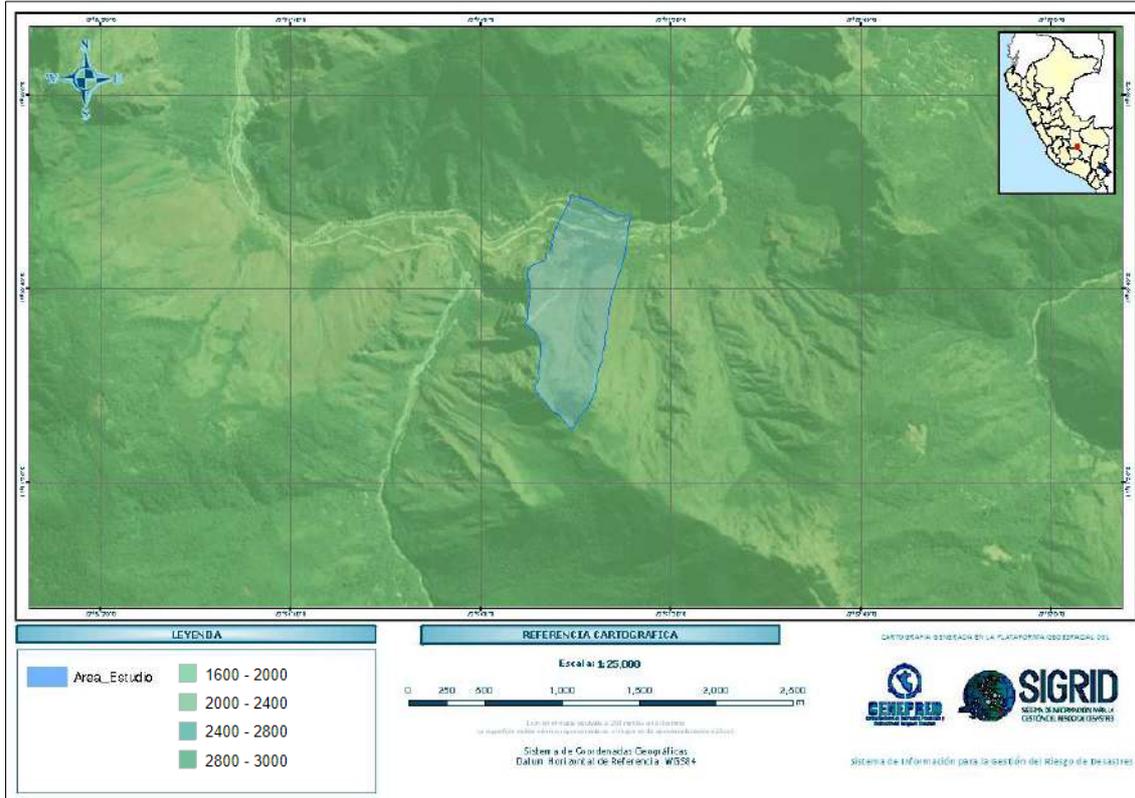
Fuente: CENEPRED – SIGRID

IMAGEN 5. Mapa de frecuencia de heladas meteorológicas



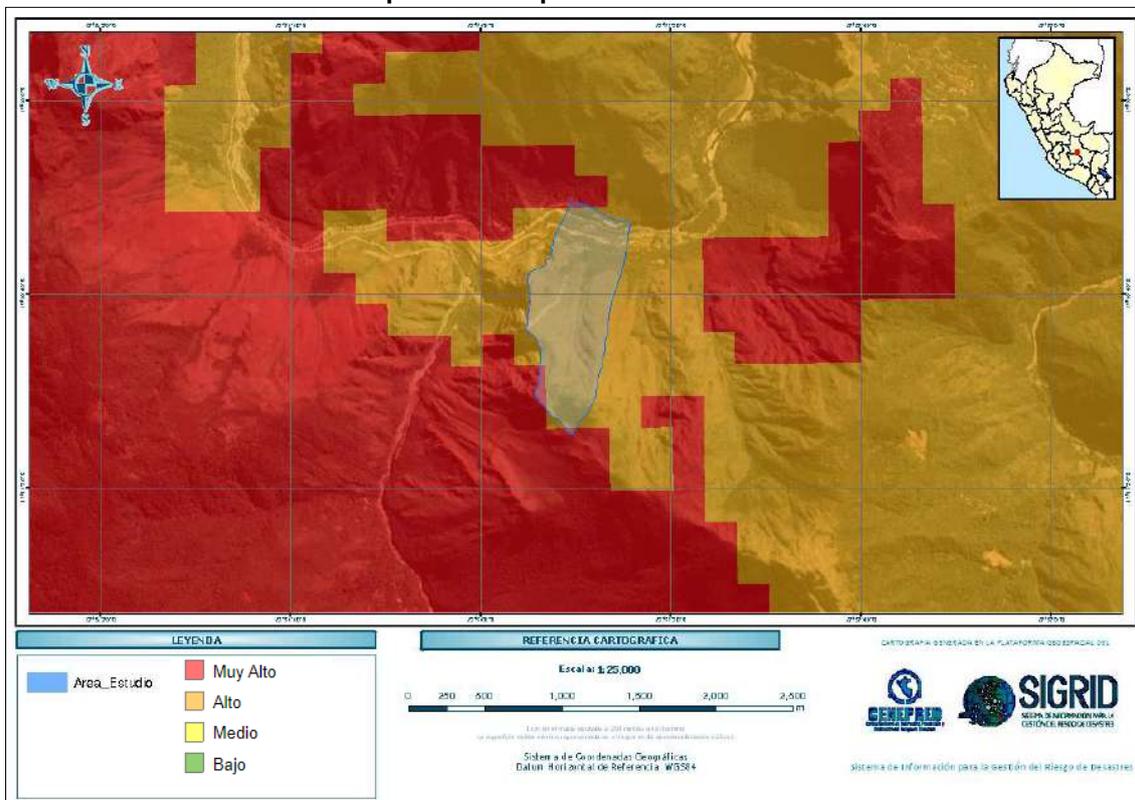
Fuente: CENEPRED – SIGRID

IMAGEN 6. Mapa de lluvias intensas, PP normal acumulada (Sep - May)



Fuente: CENEPRED – SIGRID

IMAGEN 7. Mapa de Susceptibilidad frente a inundaciones



Fuente: CENEPRED – SIGRID

1.5.3 SINPAD V2.0

CUADRO 1. Antecedentes registrados en la plataforma SINPAD

Código Sinpad	Tipo de Evento	Peligro principal	Departamento / Provincia / Distrito	Fecha y hora del evento
150861	Emergencia	Inundación por desborde de río	Cusco / Urubamba / Machupicchu	16/03/2022 09:03
150778	Emergencia	Derrumbe cerros	Cusco / Urubamba / Machupicchu	15/03/2022 05:03
148791	Emergencia	Erosión fluvial	Cusco / Urubamba / Machupicchu	14/02/2022 05:02
148153	Emergencia	Derrumbe cerros	Cusco / Urubamba / Machupicchu	4/02/2022 05:02
147388	Emergencia	Huaycos	Cusco / Urubamba / Machupicchu	21/01/2022 06:01
145226	Emergencia	Huaycos	Cusco / Urubamba / Machupicchu	24/11/2021 08:11
138105	Emergencia	Derrumbe cerros	Cusco / Urubamba / Machupicchu	11/04/2021 05:04
119888	Emergencia	Huaycos	Cusco / Urubamba / Machupicchu	23/02/2020 14:02
119887	Emergencia	Deslizamiento	Cusco / Urubamba / Machupicchu	9/02/2020 01:02
117939	Emergencia	Deslizamiento	Cusco / Urubamba / Machupicchu	23/01/2020 14:01
117936	Emergencia	Deslizamiento	Cusco / Urubamba / Machupicchu	22/01/2020 04:01

1.6. MARCO NORMATIVO

- Constitución Política del Perú, 1993.
- Ley N° 29664 - Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres (SINAGERD).
- Decreto Legislativo N° 1252, Decreto Legislativo que crea el Sistema Nacional de Programación Multianual y Gestión de Inversiones.
- Decreto Supremo N° 048-2011-PCM, que aprueba el Reglamento de la Ley N° 29664.
- Decreto Supremo N° 111-2012-PCM, que aprueba la Política Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres.
- Decreto Supremo N° 034-2014-PCM, que aprueba el Plan Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres-PLANAGERD 2014–2021.
- Resolución Jefatural N° 112 – 2014 – CENEPRED/J, que aprueba el "Manual para la Evaluación de Riesgos originados por Fenómenos Naturales", 2da Versión.
- Resolución Ministerial N° 220-2013-PCM, Aprueba los Lineamientos Técnicos para el Proceso de Reducción del Riesgo de Desastres.
- Ley N° 29869, Ley de Reasentamiento Poblacional para Zonas de Muy Alto Riesgo No Mitigable
- Resolución Ministerial N° 334-2012-PCM, que Aprueba los Lineamientos Técnicos del Proceso de Estimación del Riesgo de Desastres.
- Resolución Ministerial N° 222-2013-PCM, que Aprueba los Lineamientos Técnicos del Proceso de Prevención del Riesgo de Desastres.
- Resolución Ministerial N° 046-2013-PCM, que aprueba los Lineamientos que definen en el marco de responsabilidades de Gestión de Riesgo de Desastres en las entidades del estado en los tres niveles de Gobierno.
- Ley General de Recursos Hídricos- Ley N° 29338, año 2009.
- Ley General del Ambiente – Ley N° 28611, año 2005
- D. Ley. N° 25844. Ley de Concesiones Eléctricas.
- D.S N° 009-93-EM. Reglamento de la Ley de Concesiones Eléctricas.
- Ley N° 27435: Ley de Promoción de Concesiones de Centrales Hidroeléctricas.

CAPÍTULO II : CARACTERÍSTICAS GENERALES

El área en evaluación corresponde a la vertiente del Cerro Calvario, subestación 138Kv del distrito de Machupicchu, provincia de Urubamba, Región Cusco. Perteneciente a la Central Hidroeléctrica de Machupicchu – EGEMSA, considerando una superficie de 59.32 Ha (0.59 km²).

2.1. UBICACIÓN

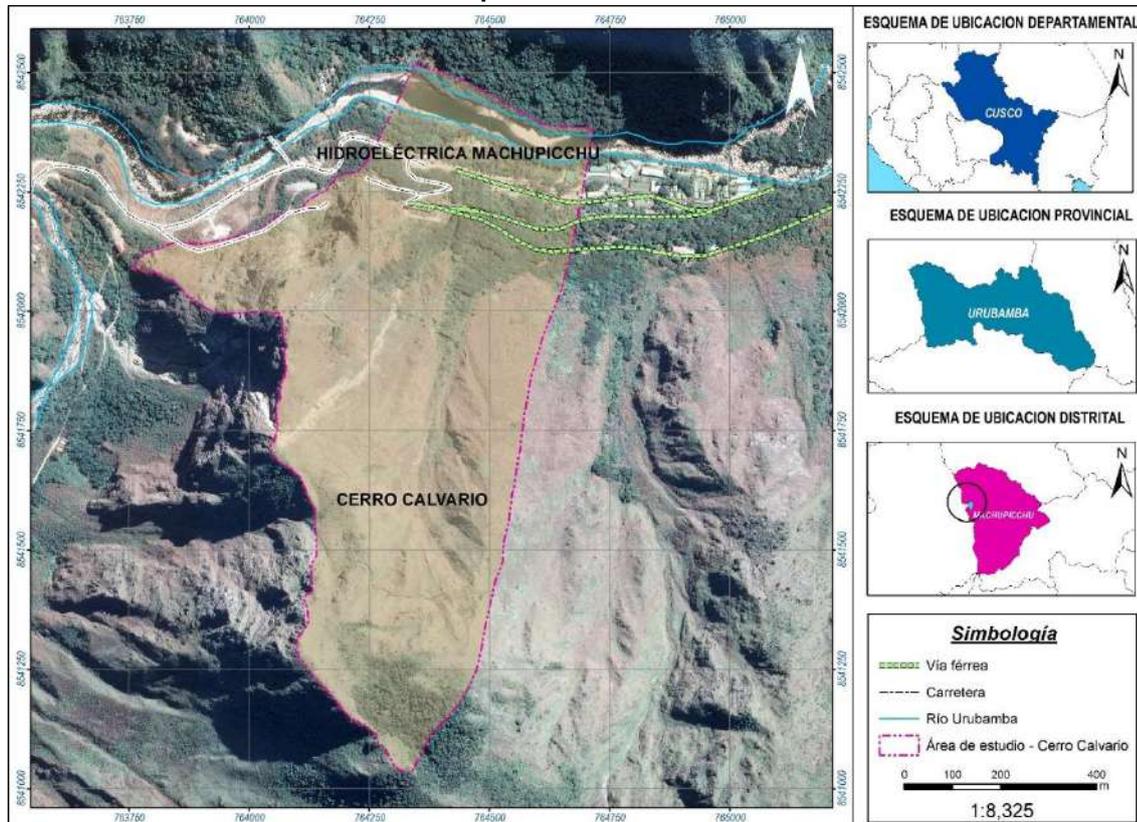
2.1.1 UBICACIÓN GEOGRÁFICA (UTM)

- Este : 764353.71 m.
- Norte : 8541777.67 m.
- Altitud : 2190 m.s.n.m
- Zona : 18S
- Datum : WGS84

2.1.2 UBICACIÓN GEOPOLÍTICA

- Región : Cusco
- Provincia : Urubamba
- Distrito : Machupicchu
- Zona : Cerro Calvario, subestación 138Kv

IMAGEN 8. Mapa de ubicación del área de influencia



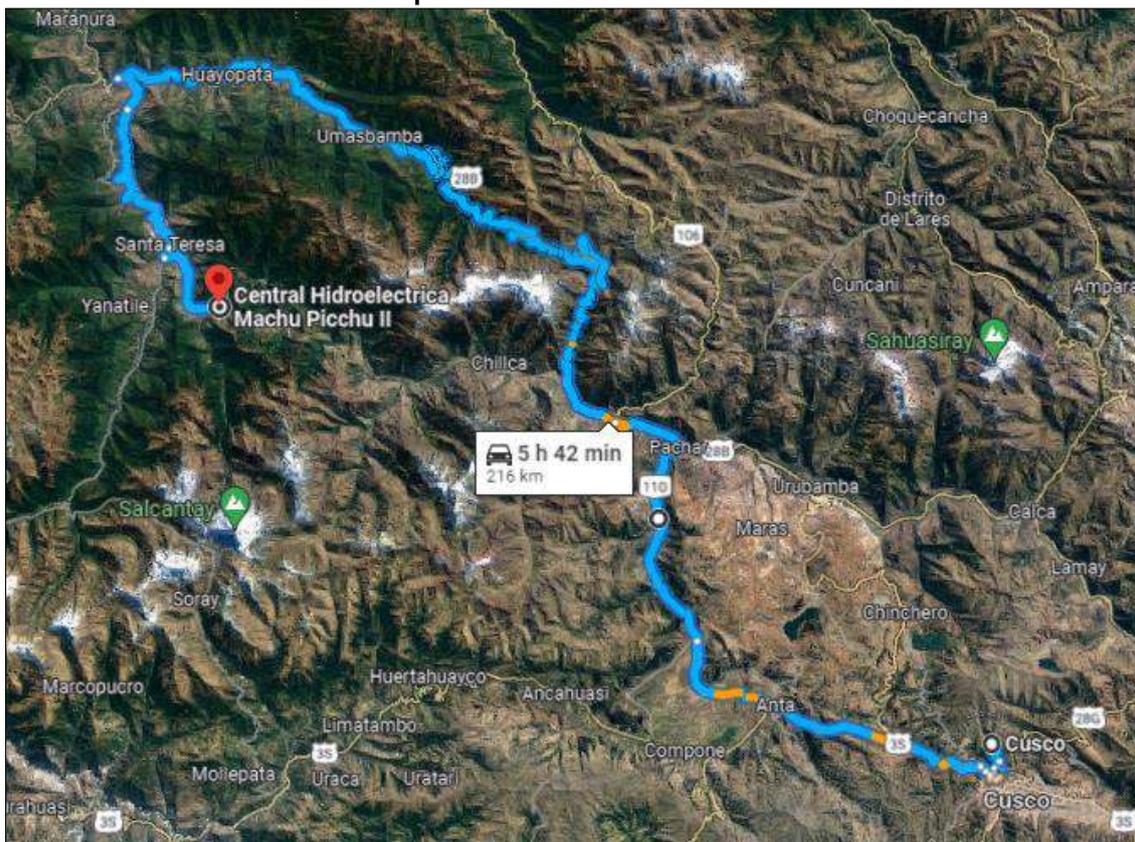
2.2. VÍAS DE ACCESO

CUADRO 2. Acceso Central Hidroeléctrica de Machupicchu subestación 138Kv

Tramo	Distancia (km)	Tiempo (Horas)	Tipo de vía	Estado
Plaza de Armas Cusco – Santa María - Santa Teresa – Hidroeléctrica	243 km	4 h 08 min	Asfaltado y Trocha carrozable	Bueno
Plaza de Armas Cusco – Ollantaytambo – aguas Calientes – Hidroeléctrica	101.5 km	4 h 12 min	Asfaltado y riel	Bueno

Fuente: Google Maps

IMAGEN 9. Mapa de accesibilidad al área de influencia



Fuente: Google Maps

1.7. CARACTERÍSTICAS SOCIALES

1.7.1. POBLACIÓN

Se ha identificado de 70 pobladores en el ámbito de influencia, 20 dedicada al comercio y 50 como personal de EGEMSA

1.7.2. ESTRUCTURAS PROVINCIONALES DE COMERCIO

En el ámbito de influencia, se identificó 15 módulos de características precarias dedicadas al comercio, 05 módulos de acero y drywall, en el campamento de EGEMSA se identificaron 28 módulos de mampostería y prefabricados aproximadamente.

1.7.3. MODULOS DE VIGILANCIA DE EGEMSA

En el ámbito de influencia, se ha identificado 01 caseta o puesto de vigilancia PV1, con 02 trabajadores permanentes.

2.3 CARACTERÍSTICAS GEOLOGICAS REGIONALES

2.3.1 LITOESTRATIGRAFIA REGIONAL

El trabajo inicia con una configuración regional, identificando al cuadrángulo de Machupicchu 27-q a escala 1: 50,000 del INGEMMET, el ámbito de influencia está compuesta por substrato rocoso intrusivo granítico, correspondientes al Plutón de Machupicchu del Pérmico-Triásico, rocas metamórficas del Ordovícico, también afloran rocas metavolcánicas anfibolitas, granito, gneis, correspondientes al Complejo Iscaybamba; sobre estas rocas se desarrollan diferentes depósitos cuaternarios.

Depósitos del Cuaternario Reciente

Depósito aluvial (Qh-al)

Se ubican preferentemente a lo largo del cauce del río Vilcanota en ambas márgenes tipo terrazas y parte en la vertiente, conformado por bloques y gravas de rocas intrusivas en su mayoría, envueltos por una matriz areno - arcillosa.

Deposito coluvial (Qh cl)

Estos materiales son acumulados generalmente en las vertientes bajas del cerro El El Calvario como producto la caída de fragmentos y sedimentos por factores externos como las precipitaciones pluviales, están constituidos por bloques angulosos envueltos en una matriz limosa.

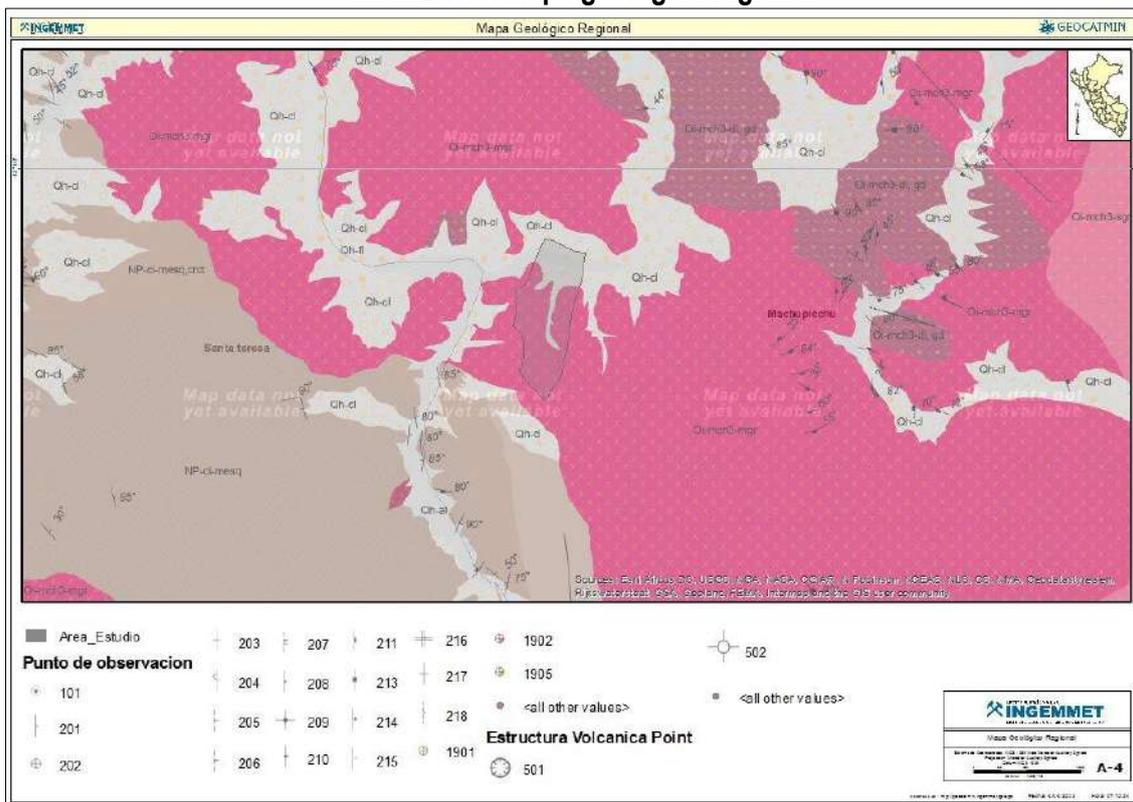
Deposito fluvial (Qh-fl)

En el ámbito de influencia se identifica en la parte baja hacia la zona marginales del río Vilcanota, compuesto mayormente por bloques y gravas de composición intrusiva como monzogranito y sienogranito redondeados a subredondeados. También se observa cuarcita, pizarra y esquisto en menor proporción.

Plutón Machupicchu (Oi-mch3-sgr)

Aflora principalmente al este del ámbito de influencia. Está compuesta afloramientos y substrato rocoso intrusivo como por monzogranito de grano medio a grueso de textura inequigranular con cristales desarrollados de feldespato potásico con variaciones locales a sienogranito.

IMAGEN 10. Mapa geológico regional



Fuente: INGENMET – GEOCATMIN

2.3.2 GEOMORFOLOGIA REGIONAL

VALLES FLUVIALES.

Son superficies bajas adyacentes a los fondos de valle y ocupan también el mismo curso fluvial, se originan por inundaciones de detritos es decir movimientos en masa con abundante contenido de agua producto del derretimiento de la nieve y el hielo, y las intensas precipitaciones pluviales registradas en la zona, morfológicamente se distinguen como terrenos planos con pendientes de entre 5° y 20°; compuesto por gravas y bloques envueltas en matriz limo arcillosa; por tratarse de valles están expuestos a la ocurrencia de peligros geológicos asociados a los aludes, las inundaciones, flujos de detritos y flujos de lodo.

UNIDAD DE MONTAÑA

Se considera dentro de esta unidad a las geoformas con alturas mayores a los 300 m. respecto al nivel de base local. Se reconocen como cimas o cumbres agudas, subagudas, semiredondeadas, redondeadas o tubulares y estribaciones producto de las deformaciones sufridas por la erosión y la influencia de otros eventos de diferente naturaleza (levantamiento, glaciación, etc.). Sus laderas presentan un pendiente promedio superior al 30 %.

Montañas en rocas intrusivas

Conforman laderas y crestas de topografía muy abrupta, con pendientes de hasta 80° (vertiente sur de los nevados Salkantay) y elevaciones que alcanzan los 6271 m.s.n.m. Estos relieves tienen formas irregulares y la evolución de sus formas está controlada por fallas de dirección E-O, diaclasas y el modelado glaciar. Desde el punto de vista litológico son rocas graníticas

que pertenecen al Batolito de Machupicchu. El grado de peligrosidad en esta subunidad está caracterizado por las continuas caídas y desprendimientos de roca y detritos, así como avalanchas de hielo y nieve de los nevados Salkantay, Amparay y Humantay (Concha, 2015).

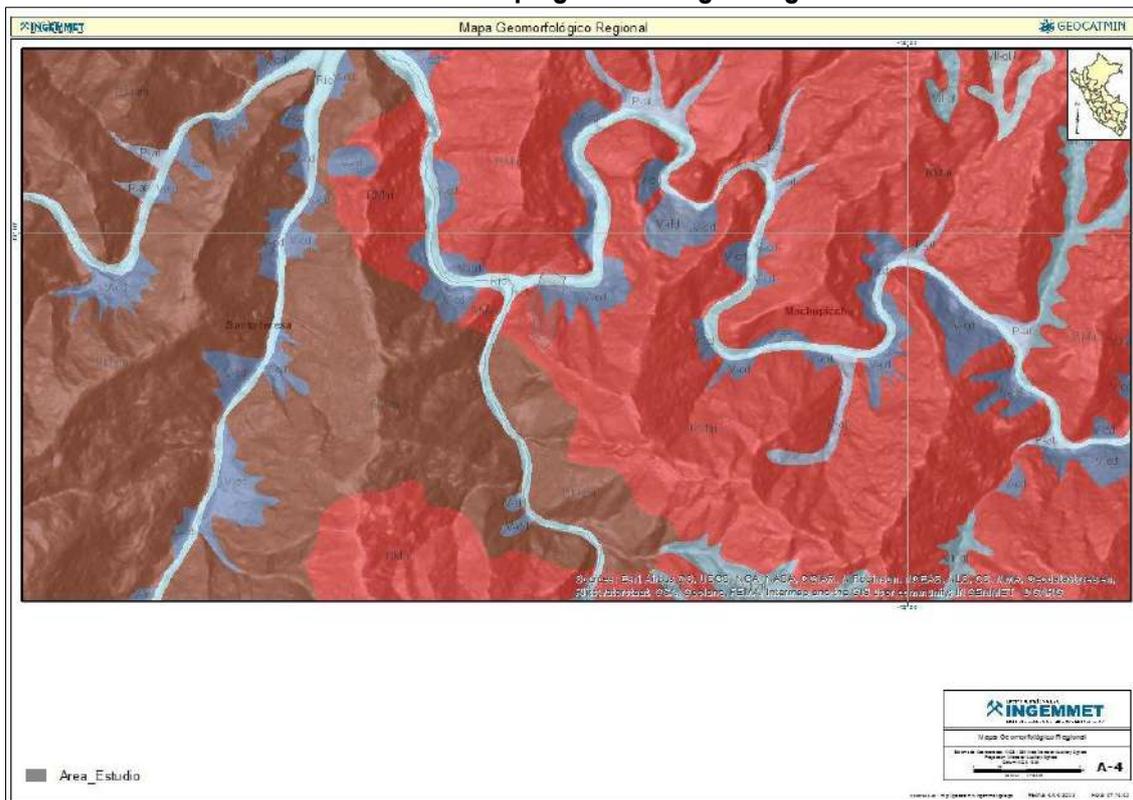
VERTIENTES

Vertiente o piedemonte coluvio – deluvial

Corresponde a las acumulaciones o depósitos de ladera media a baja originados por procesos de movimientos en masa del tipo deslizamientos, derrumbes, avalanchas de rocas o movimientos complejos. Corresponde a laderas con pendientes que varían entre 30° y 70° (vertiente sur del nevado Salkantay). Su composición litológica es homogénea, constituida por fragmentos rocosos envueltos en matriz arenosa, son depósitos de corto recorrido y forman abanicos y conos de deyección en las laderas de las montañas.

Su peligrosidad está caracterizada por la formación de deslizamientos, derrumbes y avalanchas producidas por el desgaste y la erosión de las rocas que en muchos casos se encuentran fracturadas y alteradas (Concha, 2015).

IMAGEN 11. Mapa geomorfológico regional



Fuente: INGENMET – GEOCATMIN

2.4 CARACTERÍSTICAS GEOLOGICAS LOCALES

2.4.1 UNIDADES LITOLÓGICAS

Dentro del área de influencia mediante la identificación en campo y mapeo geológico de unidades litológicas, se identificaron 05 unidades litológicas, como: Fragmentos de roca, Depósitos coluvio aluviales, depósitos coluvio-deluviales, Afloramientos rocosos, depósitos aluvio-fluviales y materiales fluviales. **(Ver Lamina MP – 02, Mapas temáticos)**

CUADRO 3. Unidades litológicas, ámbito de influencia

DESCRIPCION
Fragmentos de roca intrusiva,
Depósito coluvio aluvial
Depósito coluvio deluvial
Afloramiento Rocoso intrusivo
Depósito aluvio fluvial
Material fluvial

FRAGMENTOS DE ROCA INTUSIVA

En el área de influencia está ubicada hacia la parte media a alta, se acumulan, por denudación y/o caída desde el afloramiento rocoso. Es una de las unidades más susceptibles por desprendimiento y caída hacia las cotas más bajas, por acción de la intensa precipitación, intemperismo – meteorización por las altas y bajas temperaturas extremas, el propio peso del material y la Neotectónica, todo ello origina el fracturamiento y alteración de los afloramientos rocosos como gneises de granito observados hacia la cabecera, y monzogranitos y granitos en predominancia.

FOTOGRAFÍA 1. Fragmentos de roca sobre deposito coluvial



DEPÓSITO COLUVIO-ALUVIAL

Esta unidad, se ubica bajo un sistema de deslizamientos en diferentes eventos, son unidades de composición areno arcillosa con bloques polimícticos provenientes de fracturamiento y meteorización del macizo rocoso, de coloración clara por su contenido en arcillas, producto de la alteración de plagioclasas y feldespatos que componen las rocas intrusivas, sumados a cuarzo como arenas, estos materiales sumados a las precipitaciones y acción gravitatoria generan flujos de suelo depositando en su recorrido estos materiales coluvio aluviales.

FOTOGRAFÍA 2. Depósitos coluvio aluviales por erosión pluvial



DEPÓSITO COLUVIO DELUVIAL

Materiales acumulados generalmente en las laderas bajas de las montañas como producto del acarreo de sedimentos por la escorrentía superficial, flujos de lodo y las precipitaciones pluviales, están constituidos por bloques y fragmentos angulosos polimícticos de roca intrusiva envueltos en una matriz limosa angulosos con una potencias de 1.00 hasta 2.30 en algunas zonas, son producto de la caída de detritos y bloques de roca pertenecientes al plutón Machupicchu, los cuales se depositan a lo largo de la ladera y en la base de las vertientes.

FOTOGRAFÍA 3. Depósitos coluvio deluviales mayores a 1 m de espesor



AFLORAMIENTO ROCOSO INTRUSIVO

Esta unidad litológica aflora en áreas denudadas y libres de vegetación y/u otros depósitos recientes. Está formada por rocas de composición granítica, granodiorítica e incluso gneisificada en algunos casos, que superficialmente están alteradas por la presencia del agua, producto de la precipitación, en el que los aluminosilicatos empiezan a albitizarse y convertirse en arcilla; así como los minerales de composición ferromagnesiano se oxidan, todo ello conllevando al fracturamiento y acumulación de materiales recientes alrededor de estos.

Están distribuidas espacialmente principalmente en la cabecera del área de influencia y a la margen izquierda encima de las tuberías que transportan el agua a las turbinas generadoras, en menor porcentaje aparecen en niveles intermedios e indistintamente espaciados.

Debido al alto grado de fracturamiento y correspondiendo a fallas del tipo cuña y rotacional identificados principalmente, estos bloques se desprenden y mezclados al material limo arcilloso generan flujos de suelo y roca (Derrumbes), así mismo son generadores de caídas de roca.

FOTOGRAFÍA 4. Afloramientos rocosos



DEPÓSITO ALUVIO-FLUVIAL

Depósitos conformados por materiales de antiguos aluviones, a lo largo del cauce del río Urubamba, conformado por bloques de gran tamaño, sobre una matriz limoarcillosa, además conforman las zonas llanas y bajas entre piedemonte y el río Urubamba dentro del área de estudio.

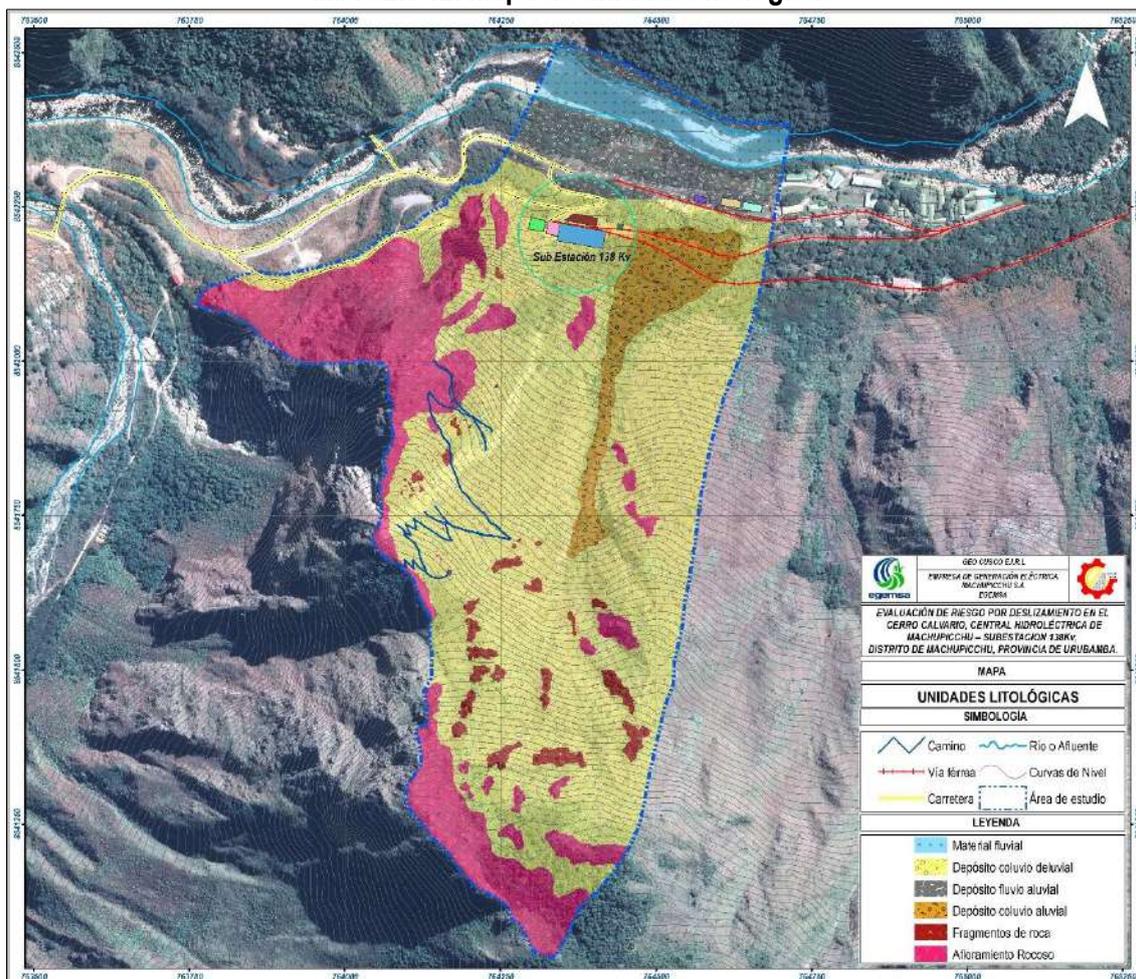
MATERIAL FLUVIAL

Ubicada en la parte más baja, conformado mayormente por bloques de gran tamaño de roca intrusiva, cuya forma redondeada a subredondeada se debe al transporte fluvial sufrido desde áreas aguas arriba de su ubicación, además de material arenoso y gravas a manera de bancos laterales.

FOTOGRAFÍA 5. Depósitos fluviales y fluvio aluviales en márgenes del río



IMAGEN 12. Mapa de unidades litológicas



2.4.2 UNIDADES GEOMORFOLOGICAS LOCALES

En el ámbito de intervención se ha identificado unidades geomorfológicas del tipo estructural y fluvial principalmente. *(Ver Lamina MP – 03, Mapas temáticos)*

VERTIENTE DE DESLIZAMIENTO – ESCARPE DE DESLIZAMIENTO

Son geoformas con pendientes escarpadas (Mayores a 37°), originadas por procesos de movimientos en masa antiguos y recientes, que pueden ser del tipo deslizamientos, caída de rocas y posteriormente flujos. Esta es la unidad más erosionada por las precipitaciones, debido a su pendiente y al ser zonas desnudas sin presencia de vegetación, además representa un mayor peligro ante eventos de deslizamientos, caídas de roca y flujos.

Dentro del área de estudio se identifican dos zonas, la más crítica por sus dimensiones ubicada hacia la margen derecha de cerro El Calvario, y la segunda la cual posee un tratamiento con estructuras de sostenimiento y contención hacia la margen izquierda.

FOTOGRAFÍA 6. Vertiente de deslizamiento al extremo este del ámbito de evaluación



VERTIENTE COLUVIO DELUVIAL

Esta unidad es el resultado de la acumulación intercalada de materiales coluviales y deluviales, (Suelos residuales) que se acumulan a lo largo y al pie de ladera. Los materiales coluviales son acarreados y acumulados por efecto de la gravedad, mientras que los materiales deluviales son depositados por flujos o la escorrentía superficial concentrada que erosionan a los materiales sueltos de las laderas. Estos dos tipos de materiales están interestratificados y no pueden ser separados como unidades individuales. Esta unidad se asocia geodinámicamente con la ocurrencia de movimientos en masa, incluyendo movimientos complejos, reptación de suelos, avalanchas de detritos, flujos de derrubios y flujos de bloques rocosos.

FOTOGRAFÍA 7. Vertiente coluvio - deluvial



PIEDEMONTE

Concierno a la zona de transición entre la vertiente y la llanura, donde se observa un cambio de pendiente hacia la llanura aluvial. El piedemonte se origina debido a la erosión que ocurre en la vertiente, hacia la zona de mayor cota. A medida que la precipitación y otros procesos climáticos erosionan la superficie de las montañas, se van acumulando sedimentos que descienden hacia el pie de la montaña. Estos sedimentos se depositan gradualmente y forman una superficie de moderada pendiente que se extiende desde la base de la montaña hasta la llanura aluvial.

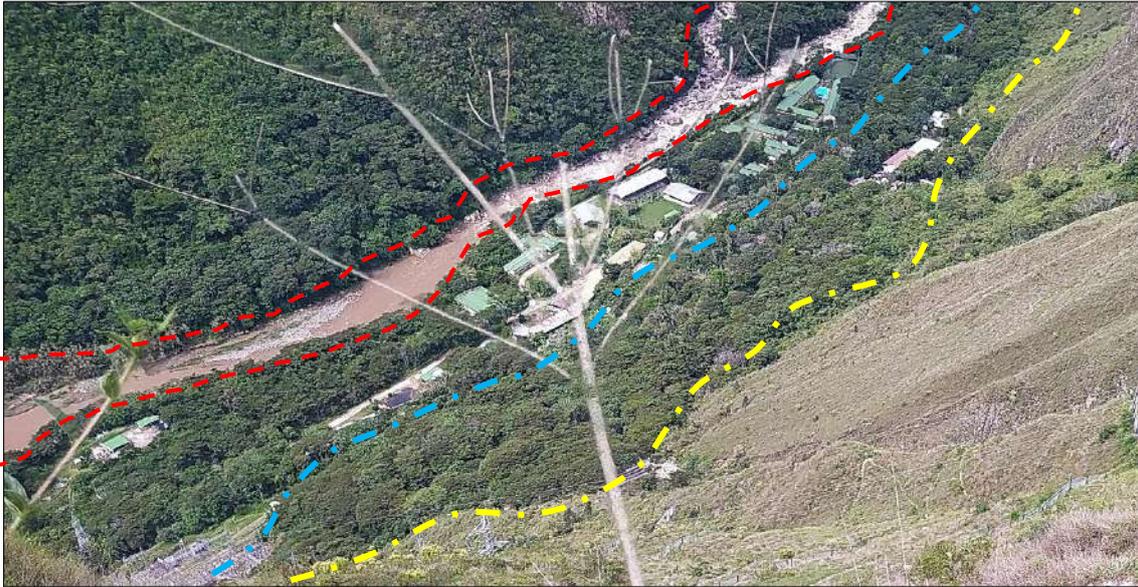
LLANURA ALUVIAL

Corresponde a planicies y zonas relativamente llanas ubicadas al pie de sistemas montañosos, las cuales son inclinadas a ligeramente inclinadas. Estas geoformas planas se forman por la acumulación de sedimentos que son acarreados por la escorrentía superficial y se producen de manera excepcional y periódicas, generalmente relacionadas con lluvias ocasionales, extraordinarias y muy excepcionales que se presentan en la zona de estudio.

RÍO O CAUCE NATURAL

Dentro de esta unidad se reúne los cuerpos de agua de origen natural (ríos), los cuales tienen dimensiones representables a la escala de trabajo, por el área de estudio recorre el río Urubamba el cual a lo largo de su paso va sedimentando y erosionado material dentro y a lo largo de su cauce.

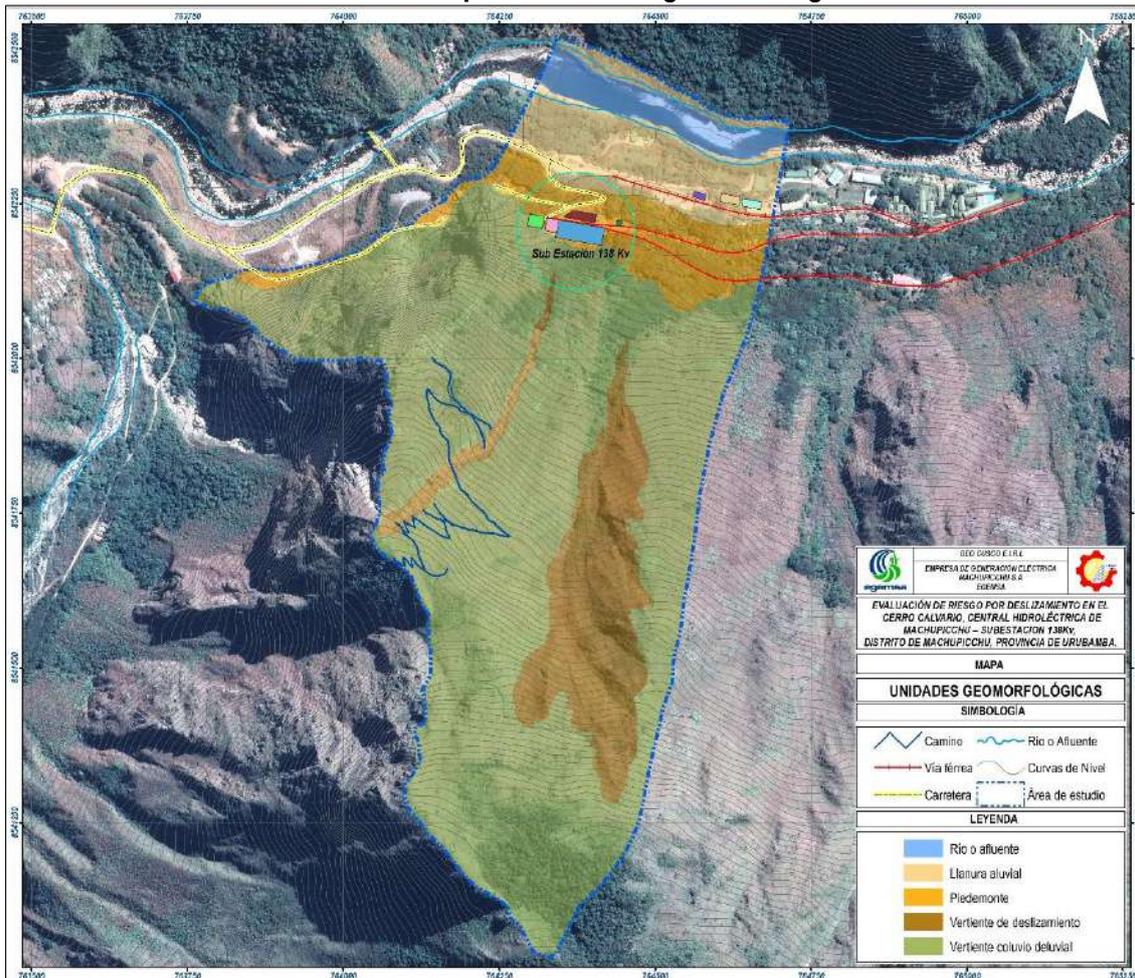
FOTOGRAFÍA 8. Afluente, llanura aluvial y piedemonte



CUADRO 4. Unidades geomorfológicas dentro del área de estudio

DESCRIPCION
Vertiente de deslizamiento o escarpe
Vertiente coluvio deluvial
Piedemonte
Llanura aluvial
Río o cauce natural

IMAGEN 13. Mapa de unidades geomorfológicas



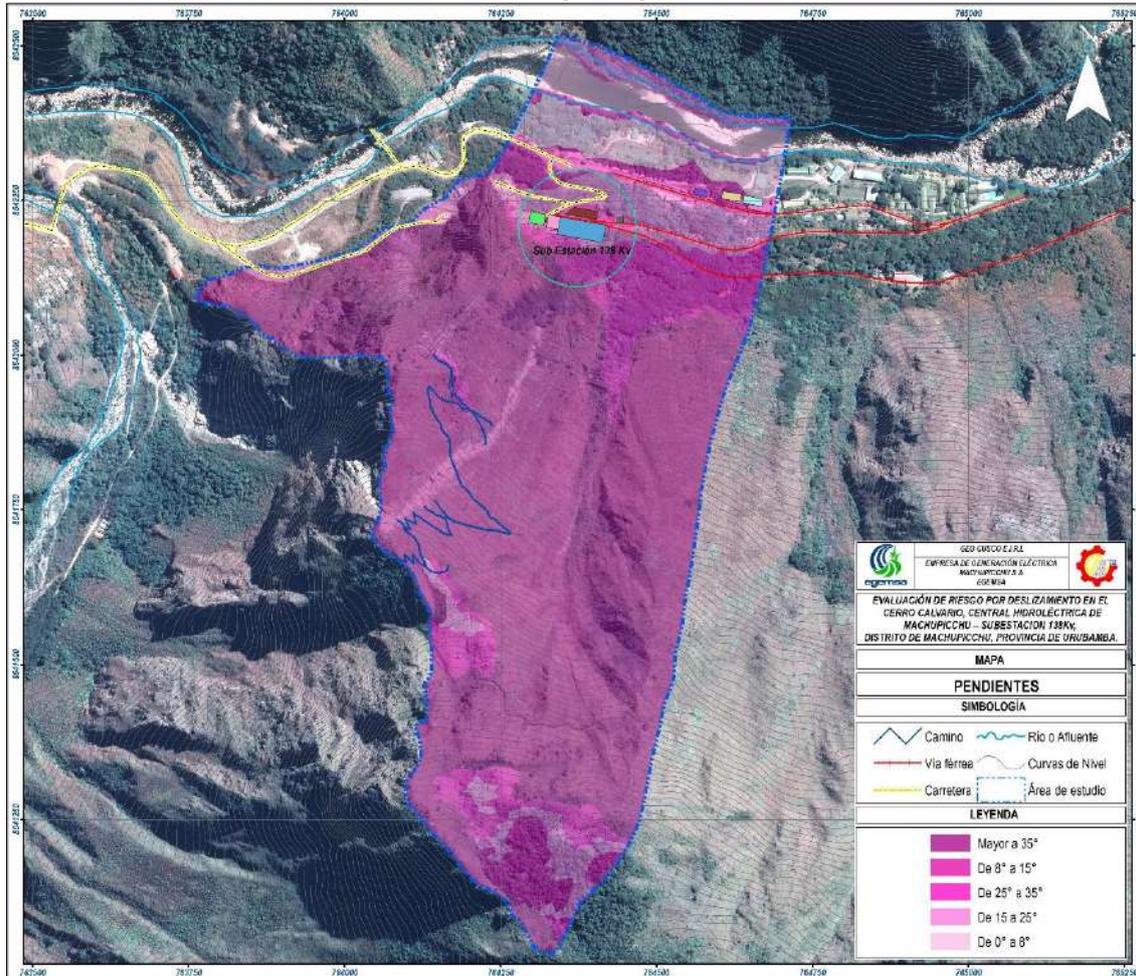
2.4.3 PENDIENTE

Las pendientes se han identificado y clasificado en base a la información de la topografía generada con ALOS PALSAR DEM el cual es uno de los múltiples recursos cartográficos disponibles dentro de los productos del satélite ALOS de la Agencia Japonesa de Exploración Aeroespacial (JAXA), las pendientes generadas están en grados agrupado en 05 descriptores, nuestra zona de estudio predomina pendientes fuertes, mayores a 27°, y en menor área pendientes medias a bajas entre 0° a 27°. **(Ver Lamina MP – 04, Mapas temáticos)**

CUADRO 5. Clasificación de pendientes, área de estudio.

GRADOS	DESCRIPCION
Mayor a 35°	Empinadas a más (escarpados)
De 25° a 35°	Moderadamente Empinados
De 15° a 25°	Fuertemente inclinadas
De 8° a 15°	Moderadamente inclinadas
De 0° a 8°	Llanas a ligeramente inclinadas

IMAGEN 14. Mapa de pendientes



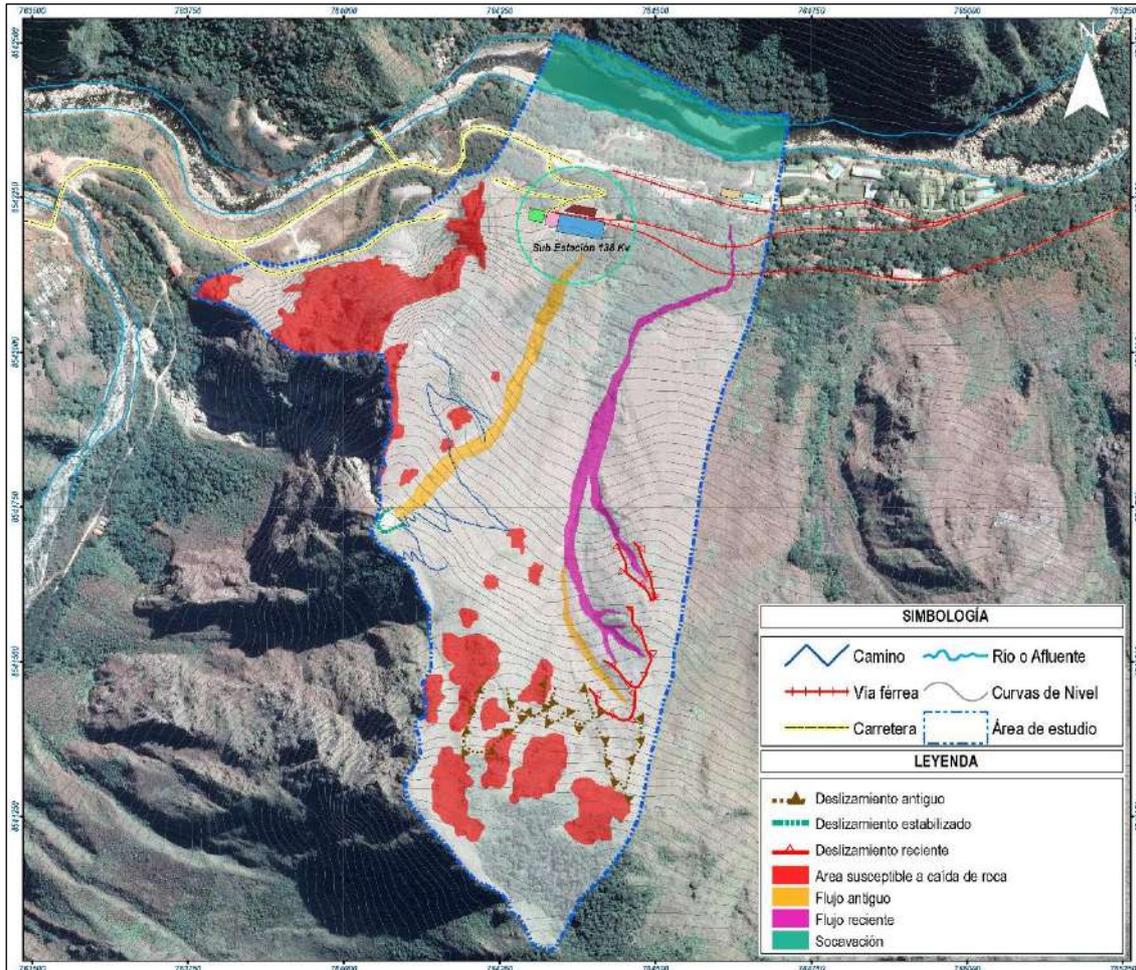
2.4.4 GEODINAMICA EXTERNA

El área de influencia presenta 04 procesos de geodinámica externa:

El primer evento son movimiento en masa deslizamientos, observados en el área de influencia, tanto antiguos conformando un sistema, y recientes reactivados originados en primera instancia por la orientación de las diaclasas que afectan el macizo rocoso, en este caso según el análisis cinemático estructural, corresponden a fallas rotacionales y fallas en cuña analizados e interpretados de las características geotécnicas del “Estudio geológico, geodinámico externo y geofísico del cerro El Calvario nivel superior patio de llaves fase I central hidroeléctrica de Machupicchu.” (Zapana, R. L. (2020).

El segundo evento es caída de rocas, desde las zonas más altas hacia la parte inferior, se encuentra la subestación 138Kv. Este proceso es el resultado de la meteorización y la erosión del macizo rocoso granítico, el cual presenta alto grado de fracturamiento. Como resultado, se origina eventos de caída de rocas en tiempos prolongados o muchos años. El tercer evento son los flujos de suelo y roca, generados posteriormente a estos deslizamientos y caídas de roca, los cuales, sumados a la precipitación, el peso específico del material y la fuerza gravitacional, forman esto flujos de comportamiento no newtoniano. Finalmente cabe mencionar la erosión, sedimentación y socavación que genera el flujo del río. **(Ver Lamina MP – 06, Mapas temáticos)**

IMAGEN 15. Geodinámica externa



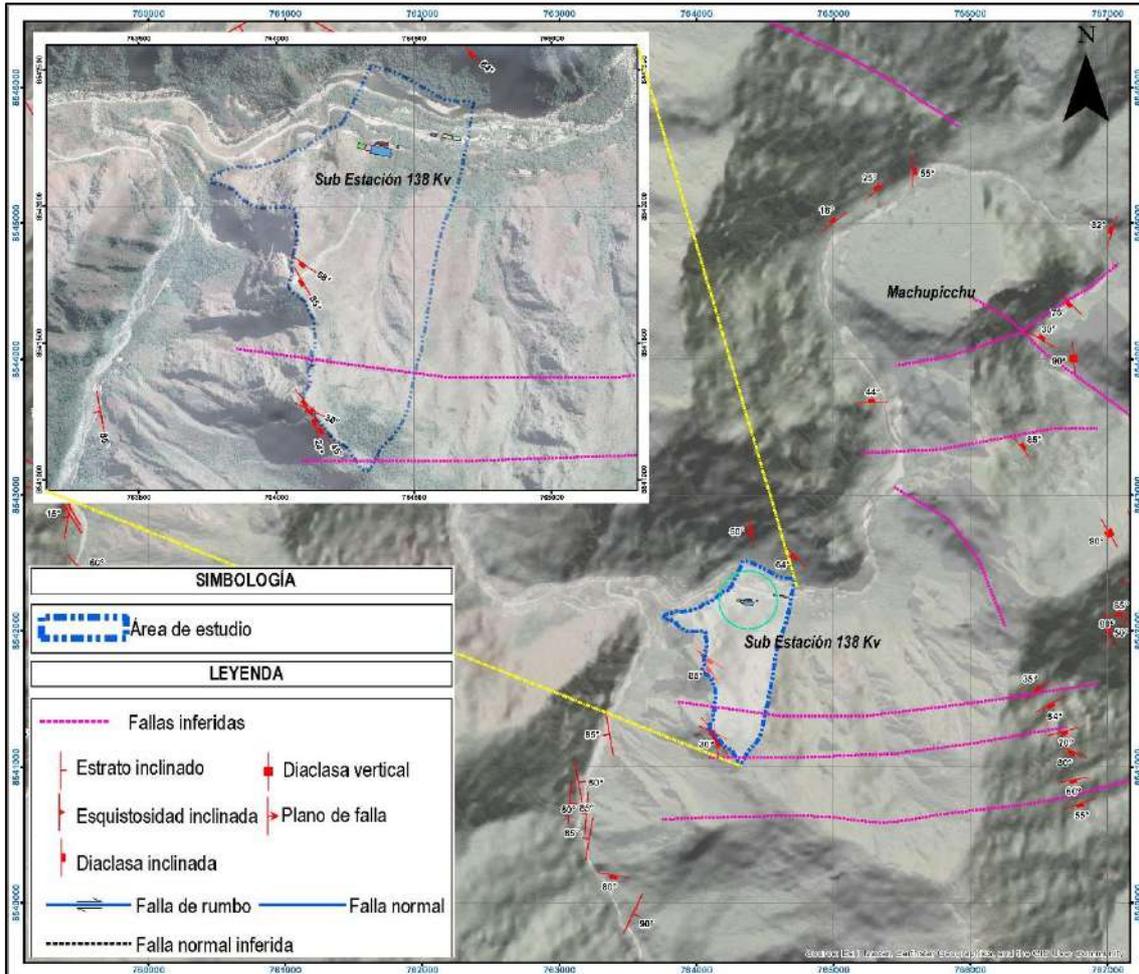
2.4.5 GEOLOGIA ESTRUCTURAL

De acuerdo al estudio geológico, geofísico y geodinámico en el Cerro El El Calvario se identificaron dos sistemas de fallas que influyeron en la formación del río Urubamba.

La imagen 16, muestra estos sistemas en color azul y rojo para la falla Este-Oeste y Norte-Sur, respectivamente. La falla Este-Oeste tiene una zona amplia que se extiende hacia el Cerro el El Calvario a través de la falla principal determinada por líneas de color morado, representando fallas inferidas.

Las fallas NNW-SSE, que son pronunciadas al norte del río Urubamba, son menos evidentes hacia el sur donde se encuentra el Cerro El Calvario, aunque se pueden identificar por los alineamientos indicados, y dirección de diaclasas.

IMAGEN 16. Sistemas de fallas y geología estructural



Fuente: Modificado de Estudio geológico, geodinámico externo y geofísico del cerro El Calvario nivel superior patio de llaves fase I central hidroeléctrica de Machupicchu. Zapana, R. L. (2020).

SISTEMA WNW- ESE

El sistema de fallas y fracturas en la zona presenta direcciones que van desde N100° hasta N110°, con buzamientos hacia el noreste que varían entre 65° y 80°, presenta un alto ángulo. Este sistema se encuentra en el mismo azimut y buzamiento que la pendiente del talud, lo que lo convierte en un factor intrínseco en los movimientos de flujos de detritos.

Además, este sistema está asociado a otros sistemas que se orientan en dirección NE-SW y presentan buzamientos de alto ángulo con inclinaciones hacia el noroeste. Por su disposición, estos sistemas no representan un riesgo de inestabilidad con la pendiente del talud.

SISTEMA NNW-SSE

El sistema principal que se encuentra en el área está relacionado con el sistema WNW-ESE, y ambos sistemas son los responsables de la formación de los acantilados en el Cerro El Calvario. Además, se asocia el sistema NE-SW con estos dos sistemas y los ángulos de inclinación de estas fallas y fracturas se encuentran en un rango de 65° a 78°.

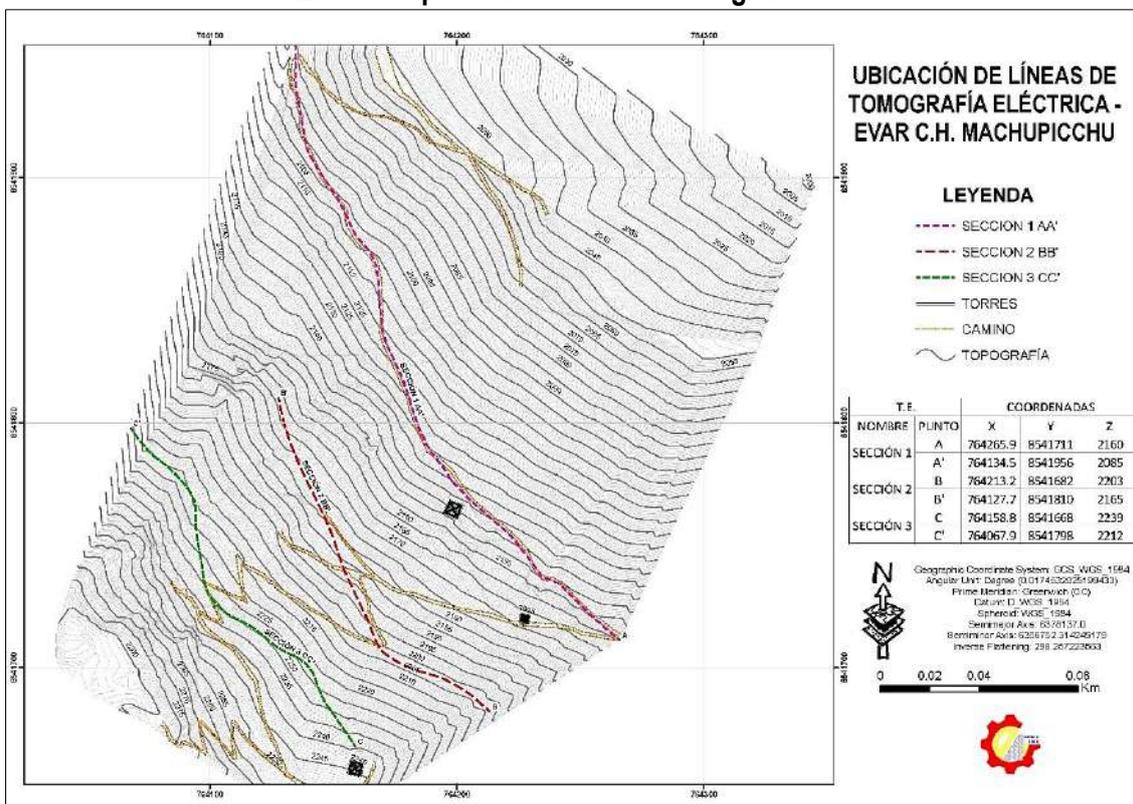
Por otro lado, el sistema principal NNW-SSE presenta fallas y fracturas que se orientan en direcciones entre N165° y N175°, con buzamientos hacia el suroeste que varían entre 30° y 70°. Es decir, este sistema presenta una variedad de inclinaciones, pero en la cima del Cerro El Calvario, las fallas y fracturas suelen tener buzamientos de alto ángulo.

En conclusión, el sistema de fallas y fracturas en la zona se presenta con mayor frecuencia en un patrón Este-Oeste, con ligeras variaciones locales que van desde WNW hasta ESE. También se asocia con otro sistema importante que va en dirección NNW-SSE, con variaciones locales de NW-SE. Estas fallas y fracturas suelen tener un alto ángulo y, en algunos casos, presentan un amplio rango de buzamientos que van desde bajos hasta altos ángulos de pendiente. Ambos sistemas son responsables de la ocurrencia de importantes fenómenos geodinámicos en el área de estudio y se consideran causas intrínsecas de estos procesos.

2.4.6 GEOFISICA

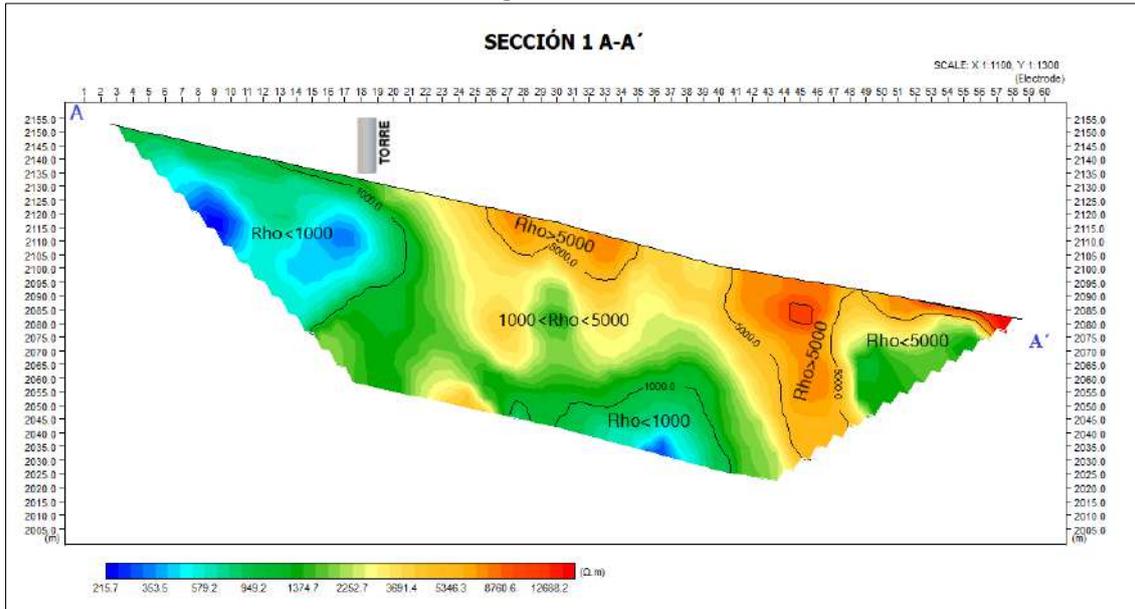
Se han realizado tres (03) secciones para registro de tomografía con un aproximado de 660 metros lineales en total; una sección de 300 metros y dos secciones de 180 metros cada uno. Estas secciones tomográficas han sido dispuestas transversalmente a la pendiente del cerro El Calvario con la finalidad de establecer una interpretación lo más acertada posible.

IMAGEN 17. Mapa de ubicación de tomografía eléctrica



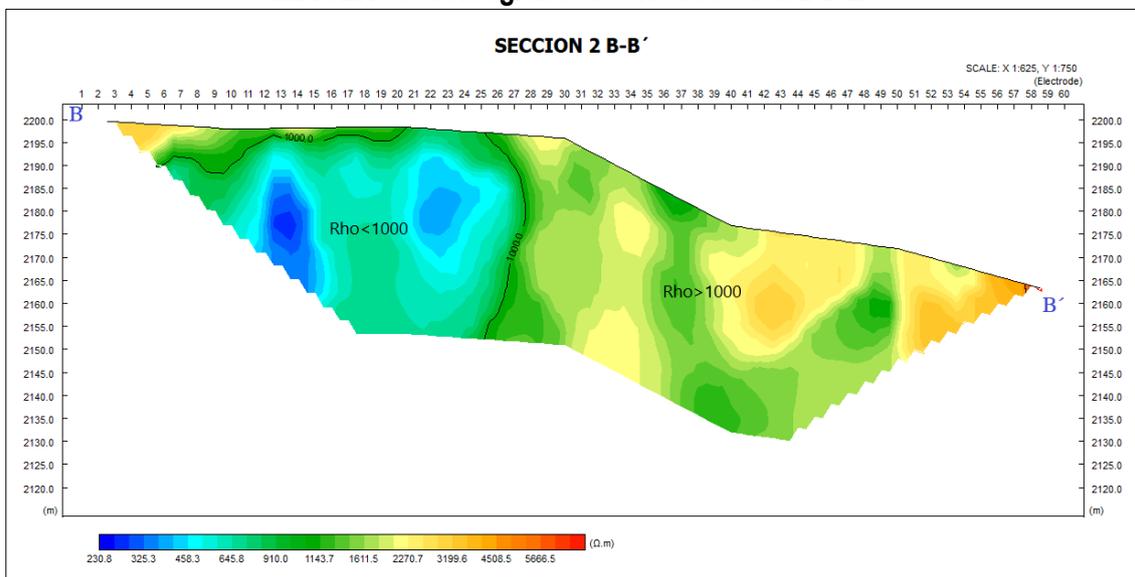
La sección 1 A-A' es una línea de 300 metros a lo largo del camino en la parte baja de la ladera del cerro El El Calvario, con resistividades que van desde 215 Ω m a 12688 Ω m y un espesor de 80 m en promedio. En esta sección, se pueden observar zonas de baja, media y alta resistividad. Las zonas de baja resistividad se encuentran predominantemente en el sector extremo izquierdo y en la parte central baja, correspondientes al macizo rocoso afectado por la presencia de humedad o saturación de flujos de agua y a materiales superficiales sueltos o saprolito. Las zonas de media resistividad son las más comunes y corresponden al basamento rocoso alterado con fuerte a mediano grado de fracturamiento, mientras que las zonas de alta resistividad se observan hacia el sector derecho y corresponden al basamento rocoso granítico del batolito de Machupicchu con bajo grado de fracturamiento.

IMAGEN 18. Tomografía eléctrica sección 1 A-A'



La Sección 2 B-B' es una línea de 180 metros de longitud situada en la ladera del cerro El Calvario y muestra resistividades que van desde los 230 Ω m hasta 5667 Ω m con un espesor promedio de 45 m. Las zonas de baja resistividad se encuentran en el sector izquierdo de la figura, con valores inferiores a 1000 Ω m que sugieren la presencia de humedad o saturación de flujos de agua entre fracturas y poros. Las zonas de media resistividad se observan en el sector derecho de la figura con resistividades mayores a 1000 Ω m, correspondientes al basamento rocoso alterado con fuerte a mediano grado de fracturamiento.

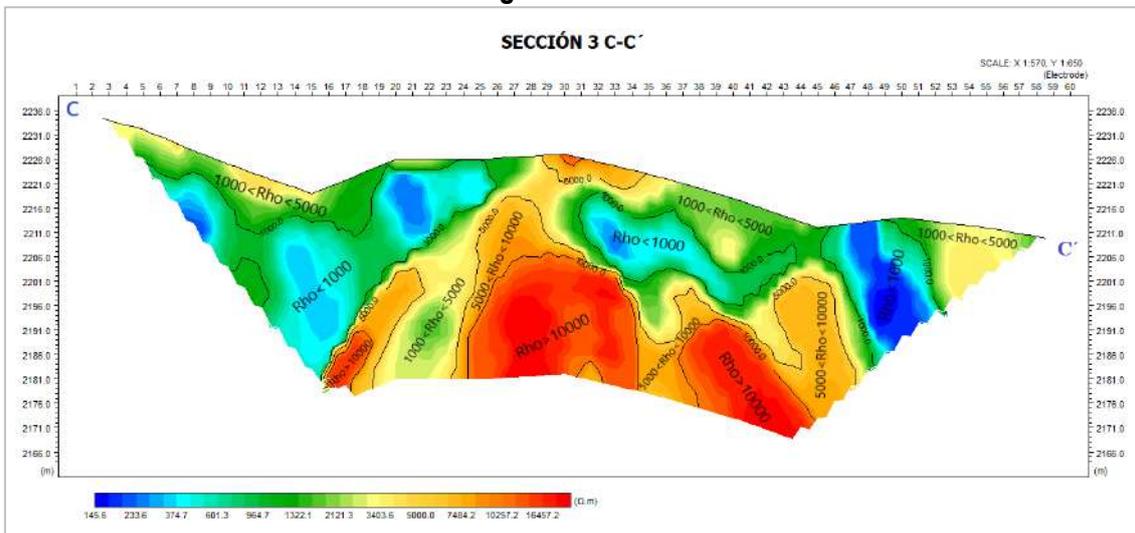
IMAGEN 19. Tomografía eléctrica sección 2 B-B'



La sección 3 C-C' es una línea de 180 metros de longitud en la ladera del cerro El Calvario con resistividades que van desde los 145 Ω m hasta 16457 Ω m. En la zona de baja resistividad se observan valores inferiores a 1000 Ω m que sugieren la presencia de humedad o saturación de flujos de agua, así como materiales superficiales como suelo suelto o saprolito. En la zona de media resistividad se observan valores entre 1000 Ω m y 5000 Ω m, correspondientes al basamento rocoso alterado con fracturamiento. En la zona de alta resistividad, con valores entre 5000 Ω m y 10000 Ω m, se encuentra el basamento rocoso granítico del batolito de Machupicchu

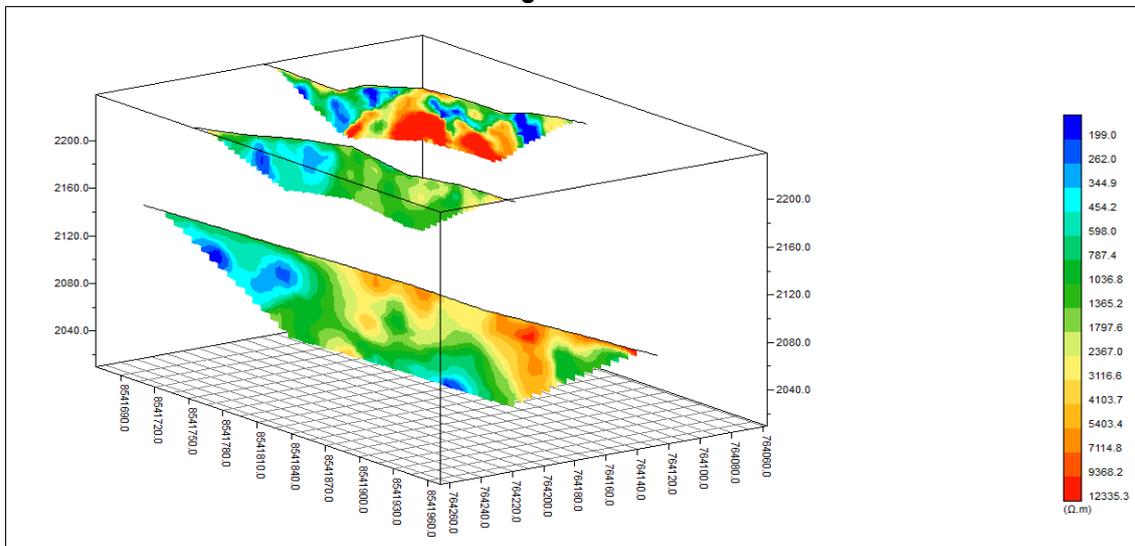
con bajo grado de fracturamiento. Por último, la zona de muy alta resistividad se encuentra en la parte central baja de la figura, con resistividades mayores a 10000 Ω m y correspondientes al basamento rocoso granítico del batolito de Machupicchu en estado de roca sana, donde se observan estructuras alargadas y sub verticales de media y alta resistividad.

IMAGEN 20. Tomografía eléctrica sección 2 C-C'



La sección transversal del cerro El Calvario analizada mediante la técnica de tomografía eléctrica evidencia la presencia de zonas de baja, media, alta y muy alta resistividad. Las zonas de baja resistividad sugieren la presencia de materiales superficiales como suelos sueltos o saprolito afectados por humedad o saturación de flujos de agua, así como macizos rocosos afectados por la presencia de fracturas y poros. Las zonas de media y alta resistividad corresponden a basamento rocoso alterado con fuerte a mediano grado de fracturamiento y basamento rocoso granítico del batolito de Machupicchu con bajo grado de fracturamiento, respectivamente. La zona de muy alta resistividad se relaciona con el basamento rocoso granítico del batolito de Machupicchu en su estado sano y presenta estructuras alargadas y subverticales de media y alta resistividad. Estos resultados permiten entender la distribución de las diferentes formaciones geológicas y su relación con los procesos hidrogeológicos y geotécnicos en la zona de estudio.

IMAGEN 21. Tomografía eléctrica sección 3D



2.5 CONDICIONES CLIMATOLÓGICAS

La subestación 138Kv, de la central hidroeléctrica Machupicchu está ubicada dentro de un área que se caracteriza por tener un clima subtropical de montaña. La ciudad tiene dos estaciones distintas: una estación seca de abril a octubre y una estación húmeda de noviembre a marzo. Durante la estación seca, el clima es generalmente soleado y seco, con temperaturas que oscilan entre 10°C y 25°C. Las noches pueden ser bastante frías, bajando a alrededor de 5°C. La estación húmeda trae fuertes lluvias y mayor humedad, con temperaturas que oscilan entre 10°C y 20°C. La ciudad puede quedar envuelta en niebla durante la temporada de lluvias, lo que puede limitar la visibilidad. Debido a su elevación, la ciudad de Machu Picchu puede experimentar cambios climáticos rápidos, con cielos soleados que se convierten rápidamente en tardes lluviosas.

2.5.1 PRECIPITACIÓN

El área de estudio, al igual que la ciudad del Cusco, se caracteriza por tener dos estaciones marcadas: una de estiaje, entre los meses de abril y noviembre, y otra pluviosa, entre los meses de diciembre a marzo.

Las estaciones meteorológicas más próximas presentes en el área de estudio son las estaciones de Huyro, Machupicchu y Quillabamba, en cuyos datos se observa una variación de acuerdo a la altitud; como se muestra en el siguiente cuadro.

CUADRO 06. Información Pluviométrica máxima 24 hrs en estaciones analizadas.

AÑO	PP 24 Hrs			AÑO	PP 24 Hrs		
	HUYRO	MACHUPICCHU	QUILLABAMBA		HUYRO	MACHUPICCHU	QUILLABAMBA
1963				1992		41	31
1964	44	45.3	36	1993		41	
1965	53	48.4	41	1994		41	
1966	35.2	58.3	38	1995		41	
1967	58	61.2	30	1996		41	22
1968	90	85.2	37	1997		41	40
1969	44.6	68.2	55	1998		42	63
1970	60.2	80	39	1999		64.3	58
1971	59.4	65.5	42	2000		64.8	57
1972	59	78.6	42	2001		66.2	44
1973	47.4	78	35	2002		105.8	57
1974	51	69	30	2003		82.6	46
1975	52	56	42	2004		58.6	38
1976	48	56	35	2005		70	40
1977	55	41	40	2006		67.5	49
1978	50	41	59	2007		77.6	52
1979	54	41	33	2008		70	52
1980	13	41	37	2009		57.5	54
1981	36	41	39	2010		75.9	83
1982		41		2011		59.9	34
1983		41		2012		63.1	
1984		41		2013		57.5	
1985		41		2014		68	
1986		41	58	2015		64.1	
1987		41	132	2016		97.8	
1988		41	82	2017		74.3	
1989		41	50	2018		58	
1990		41	78				
1991		41	52				

Fuente: SENAMHI

2.5.2 TEMPERATURA

- Temperatura media anual: 20.8°C – 29.4 °C
- Precipitación media anual: 800 mm
- ETP anual: 4.7 mm/día
- Humedad relativa: 80 %

CUADRO 07. Promedios de Temperatura media mensual en un período de 37 años.

Mes	Temperaturas medias mensuales (°C)
Enero	11.74
Febrero	11.62
Marzo	11.55
Abril	11.20
Mayo	11.21
Junio	9.11
Julio	8.91
Agosto	10.04
Setiembre	10.95
Octubre	12.14
Noviembre	12.35
Diciembre	12.21
Promedio anual	11.00

Fuente: SENAMHI

2.5.3 HUMEDAD RELATIVA.

La humedad del aire en Machupicchu varía a lo largo del año. Durante la estación seca, que va de abril a octubre, la humedad relativa promedio es del 60% al 70%. Durante la estación húmeda, de noviembre a marzo, la humedad relativa promedio aumenta a más del 80%. Los meses más húmedos son enero y febrero, con una humedad relativa del 90%. La precipitación también tiene un impacto significativo en la humedad del aire, ya que las lluvias pueden aumentar la humedad. En general, la humedad del aire en Machu Picchu es alta durante todo el año, lo que contribuye al clima fresco y húmedo de la zona.

CUADRO 8. Humedad promedio mensual

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
2020	93.28	93.61	90.56	88.40	85.99	82.09	79.96	83.61	84.46	84.74	86.25	91.48

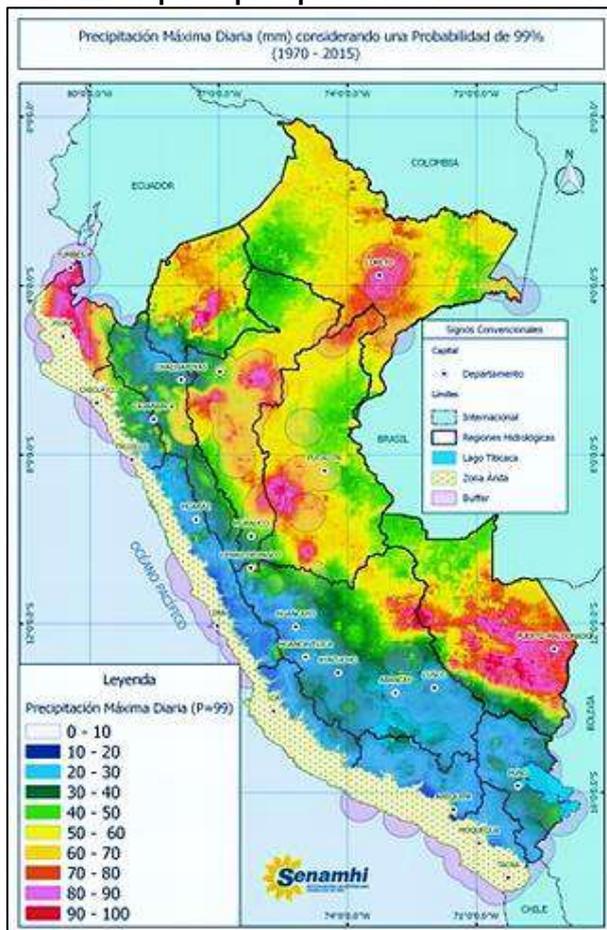
Fuente: SENAMHI – 2018

2.6 CONDICIONES CLIMATOLÓGICAS

2.6.1 UMBRALES DE PRECIPITACION PLUVIAL

Según el Mapa de Umbrales de Precipitación del SENAMHI (2016), presenta la Categorías de las lluvias según su percentil de precipitación Máxima Diaria como: Extremadamente lluvioso, Muy lluvioso, Lluvioso y Moderadamente Lluvioso"

IMAGEN 22. Mapa de precipitaciones máximas del Perú



Fuente: SENAMHI – 2018

Por consiguiente, la Convención presenta máximas precipitaciones pluviales entre los percentiles de P40 a P100. Se utilizó los umbrales de precipitación de la estación meteorológica de Machupicchu.

CUADRO 09. Umbrales de precipitación

Umbrales De Precipitación	Caracterización De Lluvias Extremas	Precipitación
RR/día>99p	Extremadamente lluvioso	PM>43.8 mm
95p<RR/día≤99p	Muy lluvioso	28 mm<PM≤43.8 mm
90p<RR/día≤95p	Lluvioso	21.4 mm<PM≤28 mm
75p<RR/día≤90p	Moderadamente Lluvioso	12.7 mm<PM≤21.4 mm
50p<RR/día≤75p	Usualmente Lluvioso	PM<12.7 mm

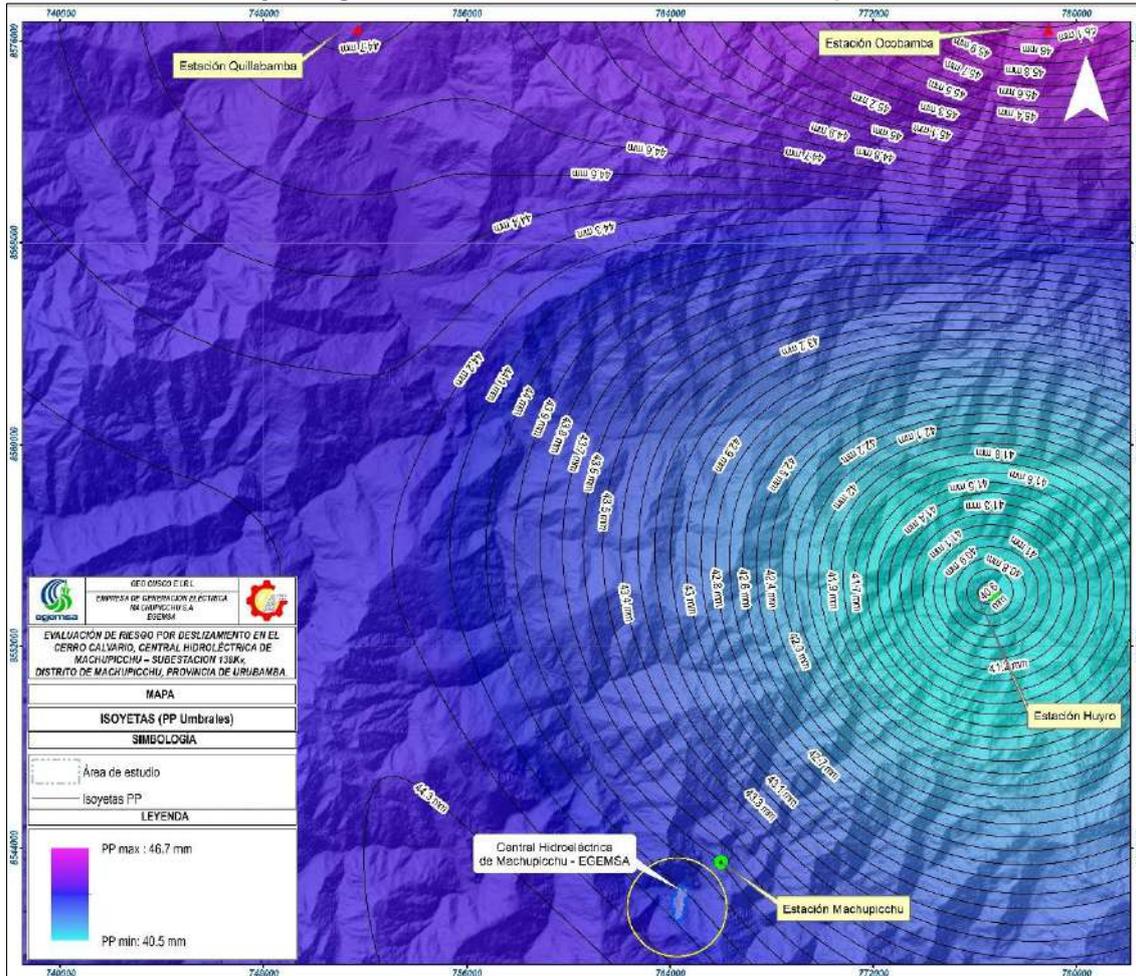
Fuente: SENAMHI – 2018

2.6.2 ISOYETAS

La isoyeta en la meteorología considera a la curva que permite representar a nivel cartográfico los puntos terrestres que comparten el mismo indicador de pluviosidad media anual.

Se ha generado Isoyetas en base a las estaciones cercanas a escala regional para la zona de estudio, considerando las precipitaciones máximas según los Umbrales de Precipitación estimadas por el Senamhi, en la que el Área de estudio se ubica entre precipitaciones máximas de entre 28.5 mm y 29 mm. (Ver Lamina MP – 07, Mapas temáticos)

IMAGEN 23. Isoyetas generadas en base a Umbrales de Precipitación - SENAMHI



2.6.3 MODELO INDICE TOPOGRAFICO DE HUMEDAD

El Índice Topográfico de Humedad (ITH, TWI o CTI) permite identificar los potenciales lugares donde se concentra la humedad o las zonas de acumulación de agua. La obtención de este indicador está basada en el análisis morfológico del territorio pudiendo ser utilizado para la elaboración de inventarios de potenciales zonas húmedas o identificar los límites de las láminas de una masa de agua ya existente.

El cálculo del modelo se basa en una secuencia de análisis de Modelos Digitales de Terreno y su morfología para identificar las zonas de mayor potencial de acumulación de humedad. El resultado será un grupo de zonas territoriales de gran potencial de recepción de agua pudiendo delimitarlas como zonas potenciales de surgencia de humedales y combinarlo con otras técnicas analíticas como análisis multispectrales, análisis de avenidas o estudios de suelos.

El sistema para análisis geocientíficos automatizados (SAGA) es un SIG de código abierto, que desde su primer lanzamiento en 2004 se ha desarrollado rápidamente a partir de una herramienta especializada para análisis digital del terreno a un completo y globalmente plataforma GIS establecida para el análisis científico y el modelado.

Es una aplicación portátil, por lo que no requiere instalación SAGA ha sido diseñado para una implementación fácil y efectiva de algoritmos espaciales y, por lo tanto, sirve como marco para el desarrollo e implementación de métodos y modelos geocientíficos. Esto es posible gracias a una interfaz de programación de aplicaciones (API).

Para extraer el TWI con SAGA, es posible seguir dos caminos diferentes: el camino paso a paso o el paso único herramienta. El primer paso es el preprocesamiento del DEM, que se puede hacer con tres herramientas diferentes: el Relleno Herramienta Sumideros (Wang y Liu), los Sumideros de relleno (Planchon y Darboux) herramienta y la herramienta Eliminación del fregadero.

Todos ellos llenan toda la depresión del DEM y dan como salida un DEM sin depresión, que se puede utilizar como entrada para calcular un mapa de acumulación de flujo. El usuario también puede especificar un valor de pendiente mínimo, que es el mínimo ángulo de pendiente que debe conservarse de celda a celda, o un umbral para la profundidad máxima de un sumidero para ser considerado para su remoción.

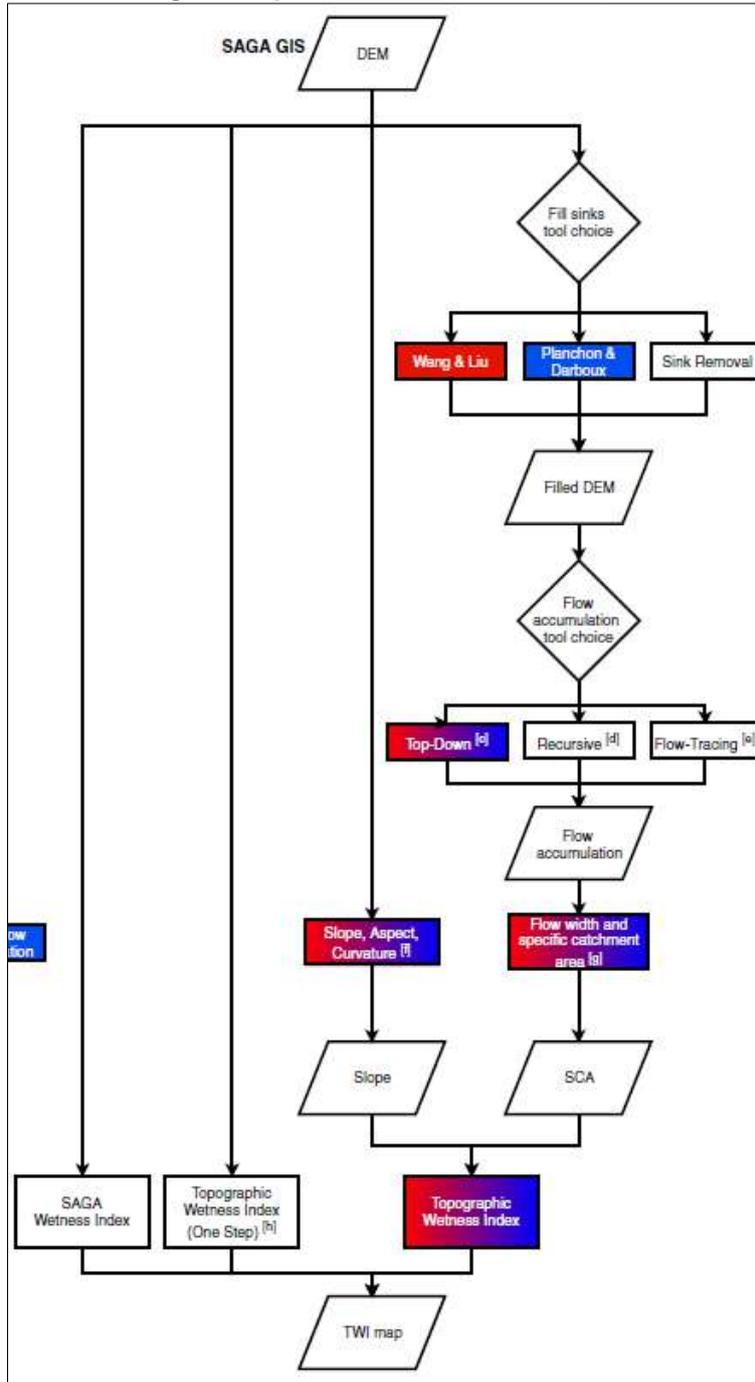
Las herramientas que se pueden utilizar para extraer la acumulación de flujo mapa son tres: Acumulación de flujo (de arriba hacia abajo), Acumulación de flujo (recursiva), Acumulación de flujo (Trazado de flujo).

La herramienta Acumulación de flujo (Top - Down) necesita como entrada el DEM lleno y da como salida el mapa de la acumulación de flujo, calculado mediante el procesamiento el DEM desde la celda más alta hasta la celda más baja. Esta herramienta permite elegir la unidad de salida entre la celda el área y el número de celdas, y establecer un umbral para el flujo lineal, es decir, la posibilidad de aplicar un flujo lineal algoritmo de enrutamiento a aquellas celdas que tienen una acumulación de flujo mayor que un umbral definido por el usuario. El algoritmo de enrutamiento de flujo implementado en la herramienta es: D8, Braunschweiger Reliefmodell, Rho 8, MFD, determinista Infinito (Dinf), dirección de flujo múltiple triangular (TMFD) y Dirección de Flujo Múltiple basada en Máximo.

Esta herramienta necesita como ingrese el DEM y el usuario solo tiene que configurar el preferido algoritmo de enrutamiento de flujo entre los siguientes: D8, Braunschweiger Reliefmodell, Rho 8, MFD, Dinf, TMFD y MFD-md. Esta herramienta da directamente como salida el TWI mapa. La herramienta Índice topográfico de humedad (un paso) es una cadena de herramientas, en la que el DEM se preprocesa con el Sumidero herramienta Eliminación y la pendiente se calcula utilizando el Pendiente, Aspecto, Herramienta de curvatura, luego se calcula el TWI usando las siguientes herramientas en secuencia: Acumulación de flujo (Top-Down), ancho de flujo y captación específica Área, Índice Topográfico de Humedad (TWI). el usuario tiene solo para especificar el algoritmo utilizado para enrutar el flujo en el cálculo de acumulación de flujo, todas las demás configuraciones se dejan por defecto: esto significa, por ejemplo, que el umbral para el flujo lineal siempre se establece en 500.

Además, cabe mencionar el SAGA Wetness Herramienta de índice, que calcula la humedad topográfica Índice como antes, pero modifica el cálculo de la cuenca área. Este método no considera el flujo como una película muy delgada. En consecuencia, las celdas ubicadas en el valle pisos, con una pequeña distancia vertical a un canal, dan como resultado un potencial de humedad del suelo más realista en comparación con el TWI calculado con el área de captación estándar.

IMAGEN 24. Algoritmo para determinar ITH o TWI, en SAGA GIS.



Fuente: Mattivi, P. (2019). TWI computation: a comparison of different open-source GISs.

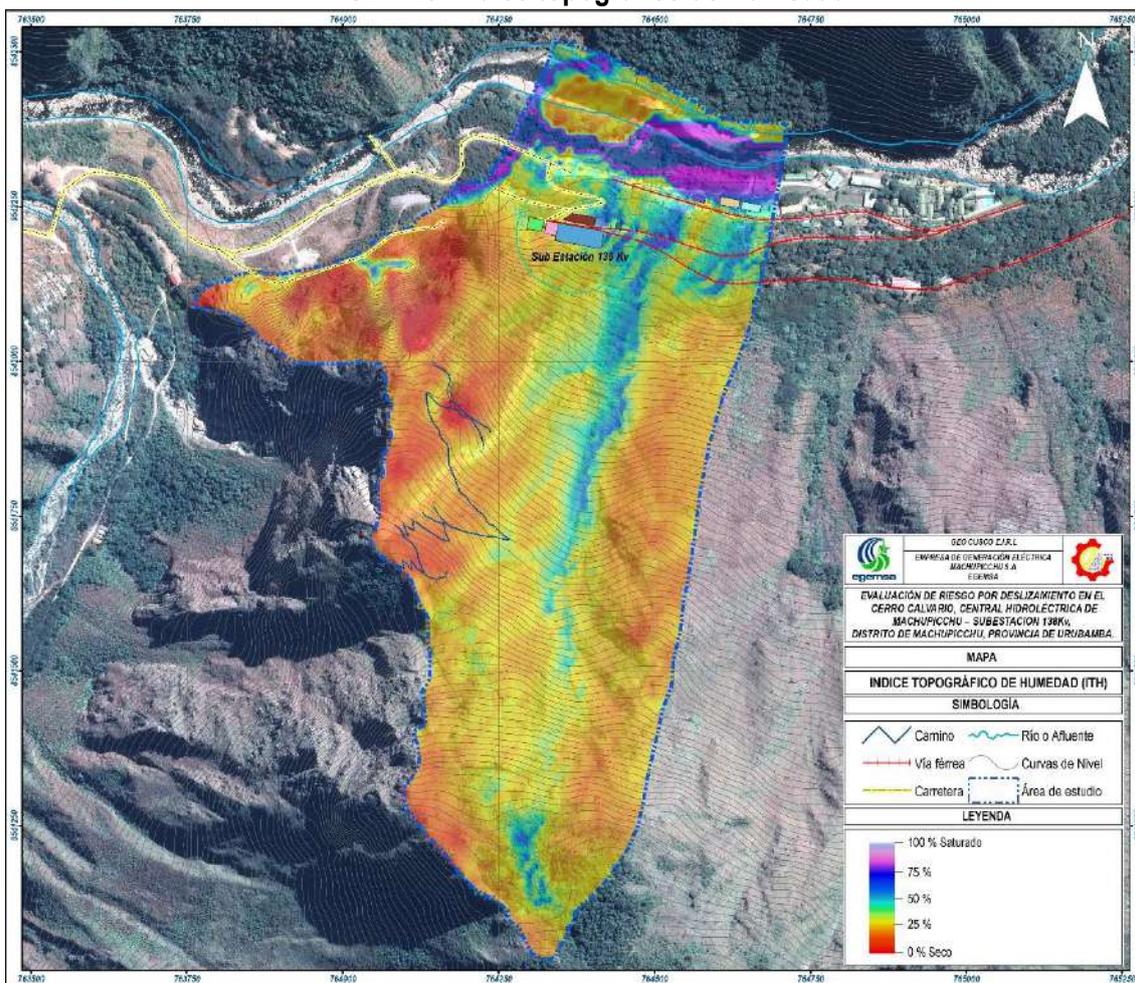
De acuerdo al análisis del índice topográfico de humedad tiene estrecha relación con las líneas geofísicas de tomografía eléctrica realizadas, se observa en el mapa, hacia la margen derecha existe presencia de agua subterránea o mayor porcentaje de humedad que se incrementa según se acerca al nivel de base el cual corresponde al río, y en menor porcentaje hacia la margen izquierda con coloración más rojiza que también nos da a entender que se trata de la presencia del macizo rocoso ubicado más superficialmente. **(Ver Lamina MP – 05, Mapas temáticos)**

Es así que en base a los resultados obtenidos en el modelo ITH, se clasificaron de acuerdo a los siguientes rangos porcentuales:

CUADRO 10. Índice Topográfico de Humedad

Índice Topográfico de Humedad
> 64%
48% - 64%
32% - 48%
16% - 32%
< 16 %

IMAGEN 25. Índice topográfico de Humedad



2.7 GEOTECNIA, GEOMECÁNICA – ESTABILIDAD DE TALUDES

El área de estudio está situada en la parte este del cuadrángulo de Machupicchu y se prolonga hacia el cuadrángulo de Urubamba, donde se le da el nombre de batolito de Machupicchu, en el nevado Salkantay extendiéndose hasta Santa Teresa, en la zona de estudio tiene una forma alargada de dirección N-S, con una superficie aproximada de 244 km².

Composicionalmente se trata de rocas intrusivas plutónicas compuestas esencialmente por granitos, sienogranitos, monzogranitos, granodioritas, cuarzo monzodioritas, cuarzo monzonitas, y menos frecuente cuarzo sienitas y granitos alcalinos, en algunas zonas intruidas por tonalitas (Kalafatovich C, 1963).

El conjunto del macizo rocoso, en las instalaciones de la Central hidroeléctrica de Machupicchu, ha sido afectada por una alteración hidrotermal importante, la misma que ha afectado la textura original de la granodiorita y el monzogranito, haciendo que el 90% de las rocas obtenidas como testigos tengan una textura gnéissica, más propiamente se puede identificar como una granodiorita milonitizada, es decir ha sido afectada por un proceso tectónico de carácter regional, por la magnitud de la zona afectada (más de 100 m).

En el área de estudio del cerro El Calvario el macizo rocoso está compuesto por bloques de roca intacta separados por discontinuidades (fracturas), materiales de relleno y fluidos en las fracturas que se expanden como rocas con alteración gnéissica que han generado en la cima, zonas alteradas que han devenido como zonas inestables.

2.7.1 CARACTERIZACIÓN GEOMECÁNICA DEL MACIZO

De acuerdo al informe elaborado por UNITEST, en resumen, el material es un granito con un RQD del 50 % y una valoración RMR de 55, teniendo un peso específico de 2.42 gr/cm³, por tanto, es un material de clase III, de calidad media con una carga admisible de 7.11 Kg/cm².

Los ensayos de compresión uniaxial, muestran materiales con resistencias entre los 189.26 y 250.64 Kg/cm², teniendo como rotura el tipo de falla columnar.

En la evaluación geotécnica y geodinámica en el área inestable del cerro El Calvario-central hidroeléctrica Machupicchu” constituye parte del expediente técnico “ampliación y actualización del expediente técnico - obra de protección del patio de llaves C.H. Machupicchu”, se han realizado valoraciones del macizo rocoso en 11 estaciones geomecánicas, de los que se tiene como resultado general rocas de calidad mala a media, en promedio, de clase III, con una cohesión de 1 a 3 Kg/cm² y ángulo de rozamiento de 15 a 35 °.

2.7.2 MECANICA DE SUELOS

En el área de estudio se han realizado cinco calicatas, por la empresa UNITEST, cuyas características en promedio, son:

Suelos clasificados como Gravas arcillosas con arena con contenidos de humedad entre los 8.71 y 14.21 %, y capacidades portantes entre los 1.37 y 1.69 Kg/cm².

CUADRO 11. Índice Topográfico de Humedad

UBICACIÓN		GRANULOMETRIA			LIMITES DE CONSISTENCIA			CLASIF.		CONT. HUMEDAD	Descripcion
		GRAVA (%)	ARENAS (%)	FINOS (%)	LIMITE LIQUIDO	LIMITE PLASTICO	INDICE DE PLAST.	SUCS			
CALICATA	C-1	33.99	35.76	30.25	23	17	6	GC-GM	14.21	Grava arcillosa con arena	
CALICATA	C-2	41.31	30.08	28.41	21	16	5	GC-GM	11.61	Grava arcillosa con arena	
CALICATA	C-3	55.09	27.42	17.49	0	0	0	GM	10.26	Grava limosa con arena	
CALICATA	C-4	65.75	25.01	9.24	0	0	0	GP-GM	8.71	Grava mal graduada con limo	
CALICATA	C-5	51.44	31.74	16.82	0	0	0	GM	10.7	Grava limosa con arena	

Fuente: Informe geotécnico, UNITEST, 2021.

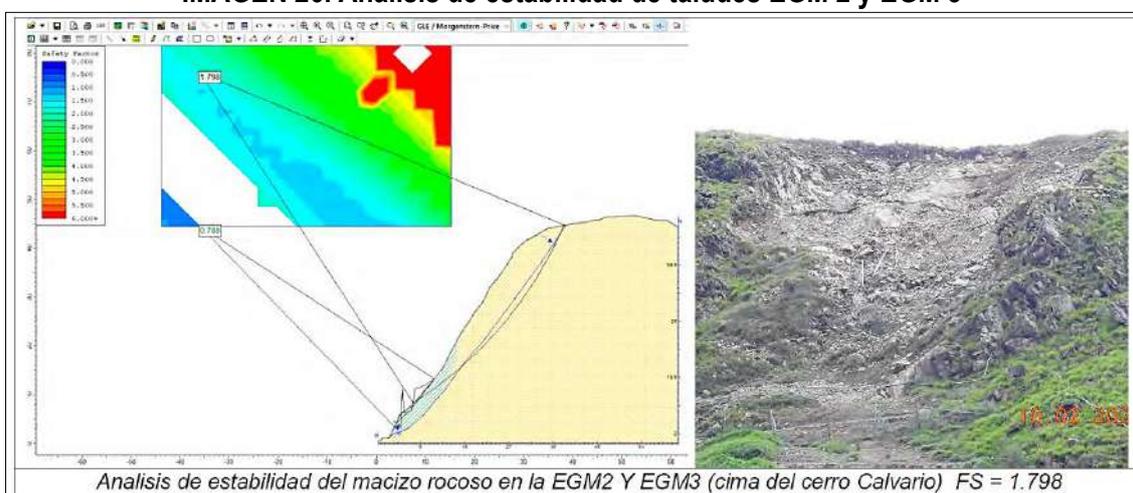
2.7.3 ESTABILIDAD DE TALUDES

Del estudio de estabilidad de taludes, son relevantes las estaciones geomecánicas EGM 2 y EGM 3 las que fueron analizadas mediante el software Slide 6.0, empleando el criterio de rotura de Hoek y Brown para el macizo rocoso y Morh Coulomb para los suelos. Los resultados indican que, en general, el talud es estable con un factor de seguridad de 1.798. Sin embargo, los suelos tienen

un factor de seguridad de 0.788, lo que los clasifica como inestables según la norma técnica CE 020. Se debe señalar que los procesos geodinámicos asociados a derrumbes superficiales están relacionados con el nivel de alteración por meteorización en el que se ha formado el saprolito. La presencia de agua y la fuerte pendiente han provocado desprendimientos de rocas, por lo que el proceso geodinámico se clasifica como derrumbes superficiales.

Del análisis anterior, se recomendó realizar sostenimiento en la zona donde se han generado derrumbes periódicos, la cual se caracteriza por la acumulación de rocas muy fracturadas y alteradas, siendo el agua de las precipitaciones el factor desencadenante. Se sugirió también el uso de bulones, cables y enmallado en función de la clase y calidad de la roca, con espaciado de 1.2m para rocas de clase RMR IV y 3m para RMR III. Finalmente, se recomendó evitar la infiltración de agua mediante el uso de geotextiles adecuados y que el sostenimiento debe de cubrir completamente la zona inestable y asegurar un anclaje adecuado.

IMAGEN 26. Análisis de estabilidad de taludes EGM 2 y EGM 3



Fuente: Evaluación geotécnica y geodinámica en el área inestable del cerro El Calvario, Central Hidroeléctrica de Machupicchu, Zapana, R. L. (2021).

3. CAPÍTULO III: DETERMINACIÓN DEL NIVEL DE PELIGROSIDAD

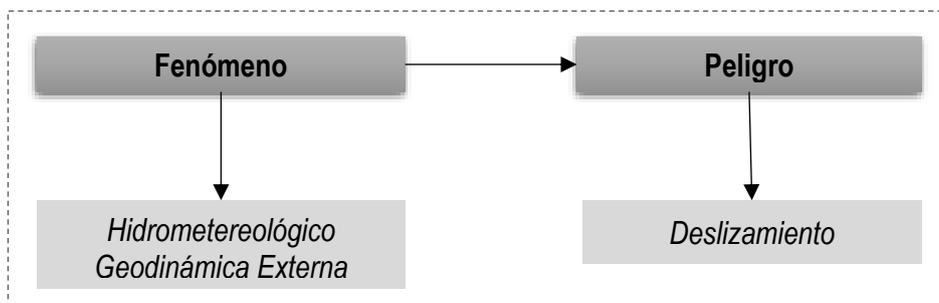
3.1 METODOLOGÍA PARA LA DETERMINACIÓN DEL PELIGRO

Para determinar el nivel de peligrosidad por deslizamientos, se utilizó el análisis de los factores condicionantes como Pendiente, Unidades litológicas, ITH y Unidades Geomorfología, como factor desencadenante se considera las Precipitaciones máximas (Isoyetas); además como parámetro de evaluación se considera a los Volúmenes y áreas representativas para Deslizamientos cartografiados e identificados como puntos críticos; seguido de la cuantificación los elementos expuestos en el área de estudio determinada.

La determinación de peligrosidad se realizó mediante el análisis de superposición en sistemas de información geográfica (SIG) y ponderación de parámetros según metodología propuesta por Saaty y adaptada por el CENEPRED.

3.1.1 IDENTIFICACIÓN DEL FENOMENO Y EL PELIGRO

GRÁFICO 1: clasificación de fenómeno natural – peligro



3.1.2 METODOLOGÍA PARA LA IDENTIFICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE LOS PELIGROS.

GRÁFICO 2: metodología general para determinar la peligrosidad

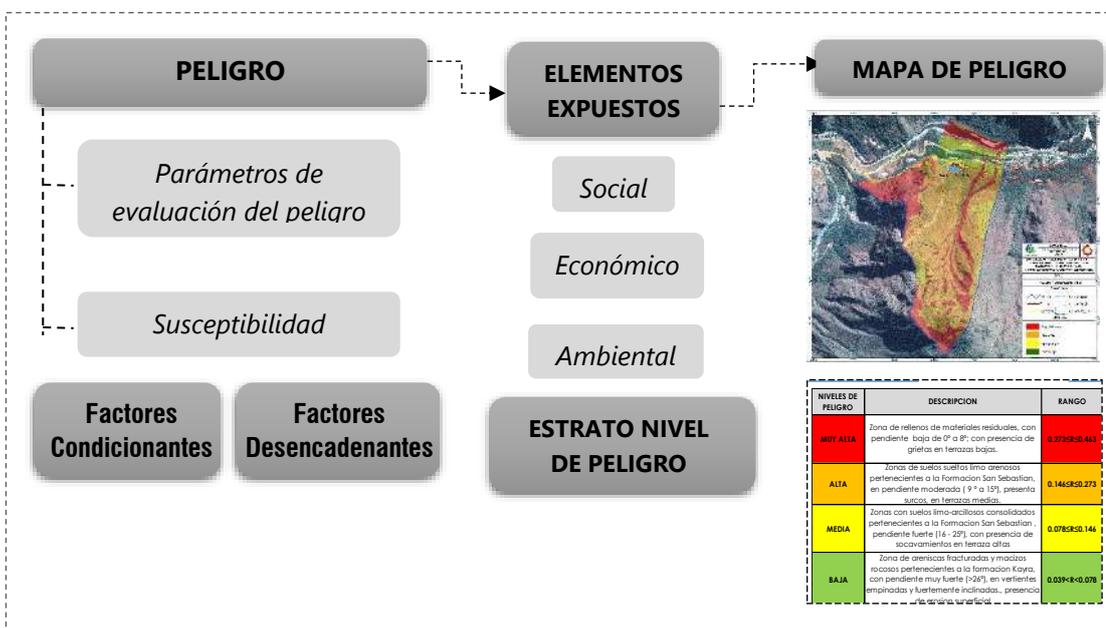
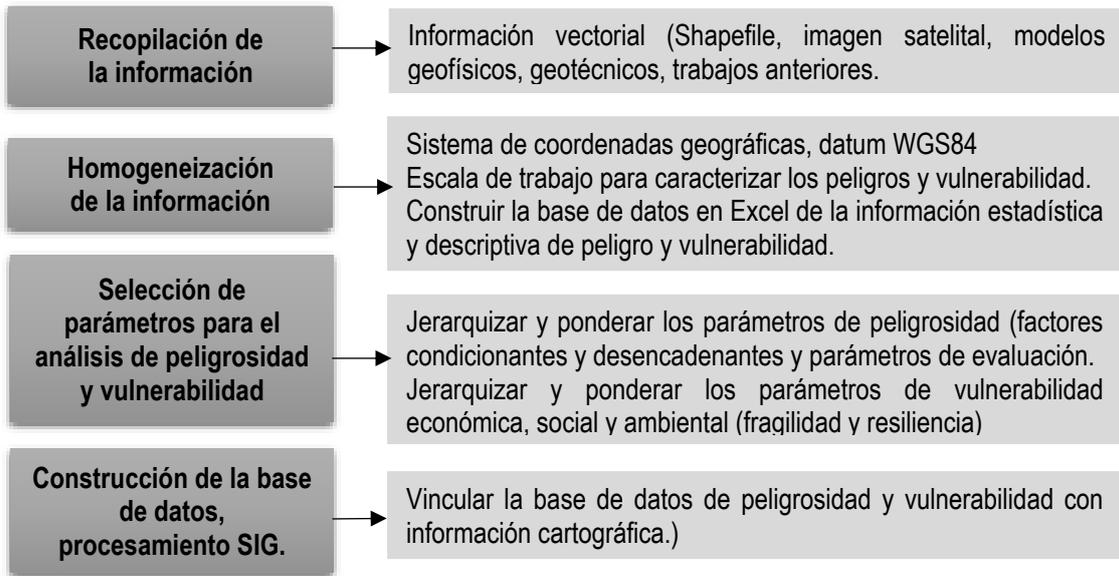


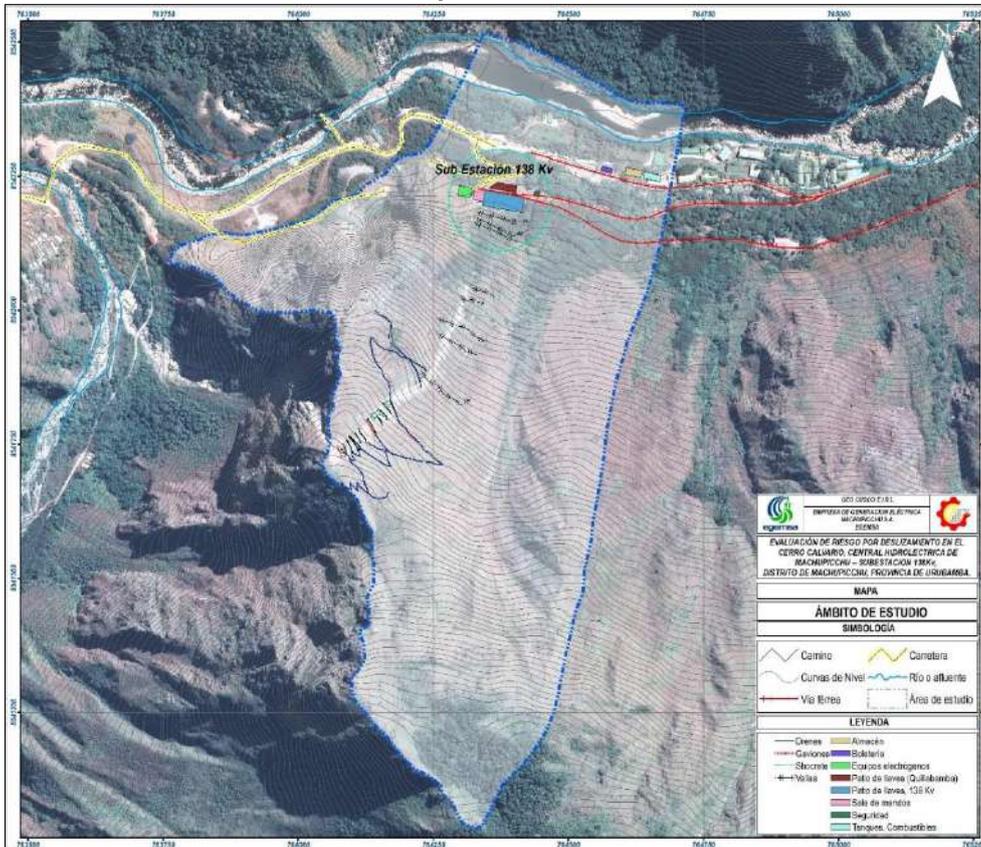
GRÁFICO 3: Flujoograma general del proceso de análisis de información



3.2 IDENTIFICACIÓN DEL ÁMBITO DE ESTUDIO.

El área de estudio considerada para el presente informe consta de 59.32 Ha (0.59 km²) como se observa en el mapa del área de estudio, considerándose hacia la base hasta el borde derecho del río Urubamba, por motivos de considerar también eventos de inundaciones o flujo de detritos. (Ver *Lamina MP – 01, Mapas temáticos*)

IMAGEN 27. Mapa del área de evaluación

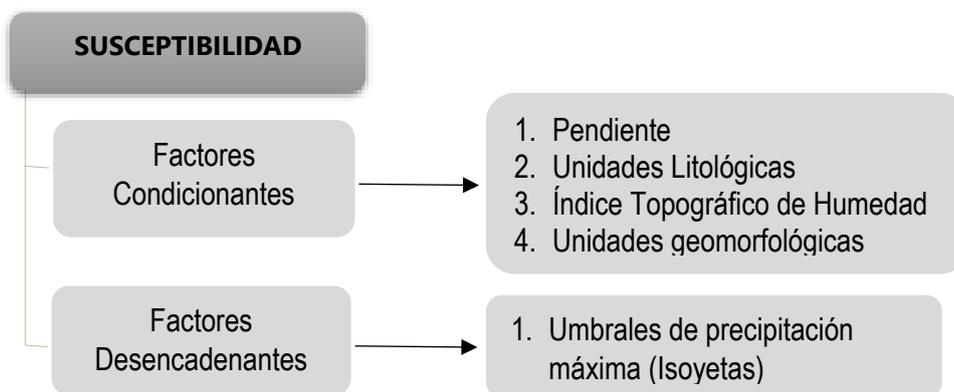


3.3 SUSCEPTIBILIDAD DEL TERRITORIO.

La susceptibilidad está referida a la mayor o menor predisposición a que un evento suceda u ocurra sobre determinado ámbito geográfico (depende de los factores condicionantes y desencadenantes del fenómeno y su respectivo ámbito geográfico). Para la evaluación de la susceptibilidad del área de estudio del peligro por deslizamiento se han considerado como factores condicionantes del territorio la Pendiente, Unidades Litológicas, ITH y Unidades geomorfológicas; como factor desencadenante los umbrales de precipitación e isoyetas.

Se presenta ponderación utilizando el proceso de análisis jerárquico, según la metodología de Saaty.

GRÁFICO 4: Factores y parámetros de la susceptibilidad



3.3.1 ANÁLISIS DE LOS FACTORES CONDICIONANTES

Para la obtención de los pesos ponderados del parámetro del factor condicionante, se utilizó un método semicuantitativo con los datos obtenidos del área de estudio como la Pendiente, Unidades Litológicas, ITH y Unidades geomorfológicas.

CUADRO 12. Nomenclatura de factores condicionantes

CÓDIGO	PARÁMETROS
FC1	Pendiente
FC2	Unidades Litológicas
FC3	Índice Topográfico de Humedad
FC4	Unidades Geomorfológicas

CUADRO 13. Matriz de comparación de pares

PARAMETROS	FC1	FC2	FC3	FC4
FC1	1.00	3.00	5.00	7.00
FC2	0.33	1.00	3.00	5.00
FC3	0.20	0.33	1.00	3.00
FC4	0.14	0.20	0.33	1.00

CUADRO 14. Matriz de normalización de pares

PARAMETROS	FC1	FC2	FC3	FC4	Vector priorización
FC1	0.597	0.662	0.536	0.438	0.558
FC2	0.199	0.221	0.321	0.313	0.263
FC3	0.119	0.074	0.107	0.188	0.122
FC4	0.085	0.044	0.036	0.063	0.057

CUADRO 15. Índice de consistencia y relación de consistencia

Índice de consistencia	IC	0.039
Relación de consistencia < 0.1	RC	0.04

PARÁMETRO: PENDIENTE

CUADRO 16. Nomenclatura de parámetro

CODIGO	DESCRIPTORES	DESCRIPCION
PE1	Mayor a 37°	Empinadas a más (escarpadas)
PE2	De 27° a 37°	Moderadamente Empinados
PE3	De 15° a 27°	fuertemente inclinadas
PE4	De 8° a 15°	Moderadamente inclinadas
PE5	De 0° a 8°	Llanas a ligeramente inclinadas

CUADRO 17. Matriz de comparación de pares

DESCRIPTORES	PE1	PE2	PE3	PE4	PE5
PE1	1.00	3.00	5.00	7.00	9.00
PE2	0.33	1.00	3.00	5.00	7.00
PE3	0.20	0.33	1.00	3.00	5.00
PE4	0.14	0.20	0.33	1.00	3.00
PE5	0.11	0.14	0.20	0.33	1.00

CUADRO 18. Matriz de normalización de pares

DESCRIPTORES	PE1	PE2	PE3	PE4	PE5	Vector priorización
PE1	0.560	0.642	0.524	0.429	0.360	0.503
PE2	0.187	0.214	0.315	0.306	0.280	0.260
PE3	0.112	0.071	0.105	0.184	0.200	0.134
PE4	0.080	0.043	0.035	0.061	0.120	0.068
PE5	0.062	0.031	0.021	0.020	0.040	0.035

CUADRO 19. Índice de consistencia y relación de consistencia

Índice de consistencia	IC	0.061
Relación de consistencia < 0.1	RC	0.054

PARÁMETRO: LITOLOGÍA.

CUADRO 20. Nomenclatura de parámetro

CODIGO	DESCRITORES
LIT1	Fragmentos de roca, depósito coluvio aluvial
LIT2	Depósito coluvio deluvial
LIT3	Afloramiento Rocoso
LIT4	Depósito aluvio fluvial
LIT5	Material fluvial

CUADRO 21. Matriz de comparación de pares

DESCRITORES	LIT1	LIT2	LIT3	LIT4	LIT5
LIT1	1.00	3.00	5.00	7.00	9.00
LIT2	0.33	1.00	3.00	5.00	7.00
LIT3	0.20	0.33	1.00	3.00	5.00
LIT4	0.14	0.20	0.33	1.00	2.00
LIT5	0.11	0.14	0.20	0.50	1.00

CUADRO 22. Matriz de normalización de pares

DESCRITORES	LIT1	LIT2	LIT3	LIT4	LIT5	Vector priorización
LIT1	0.560	0.642	0.524	0.424	0.375	0.505
LIT2	0.187	0.214	0.315	0.303	0.292	0.262
LIT3	0.112	0.071	0.105	0.182	0.208	0.136
LIT4	0.080	0.043	0.035	0.061	0.083	0.060
LIT5	0.062	0.031	0.021	0.030	0.042	0.037

CUADRO 23. Índice de consistencia y relación de consistencia

Índice de consistencia	IC	0.061
Relación de consistencia < 0.1	RC	0.054

PARÁMETRO: INDICE TOPOGRAFICO DE HUMEDAD

CUADRO 24. Nomenclatura de parámetro

CODIGO	DESCRITORES
IT1	> 64%
IT2	48% - 64%
IT3	32% - 48%
IT4	16% - 32%
IT5	< 16 %

CUADRO 25. Matriz de comparación de pares

DESCRITORES	IT1	IT2	IT3	IT4	IT5
IT1	1.00	2.00	3.00	5.00	7.00
IT2	0.50	1.00	2.00	3.00	5.00
IT3	0.33	0.50	1.00	2.00	3.00
IT4	0.20	0.33	0.50	1.00	2.00
IT5	0.14	0.20	0.33	0.50	1.00

CUADRO 26. Matriz de normalización de pares

DESCRIPTORES	IT1	IT2	IT3	IT4	IT5	Vector priorización
IT1	0.460	0.496	0.439	0.435	0.389	0.444
IT2	0.230	0.248	0.293	0.261	0.278	0.262
IT3	0.153	0.124	0.146	0.174	0.167	0.153
IT4	0.092	0.083	0.073	0.087	0.111	0.089
IT5	0.066	0.050	0.049	0.043	0.056	0.053

CUADRO 27. Índice de consistencia y relación de consistencia

Índice de consistencia	IC	0.007
Relación de consistencia < 0.1	RC	0.006

PARÁMETRO: UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS

CUADRO 28. Nomenclatura de parámetro

CODIGO	DESCRIPTORES
GE1	Vertiente de deslizamiento
GE2	Vertiente coluvio deluvial
GE3	Piedemonte
GE4	Llanura aluvial
GE5	Río o afluente

CUADRO 29. Matriz de comparación de pares

DESCRIPTORES	GE1	GE2	GE3	GE4	GE5
GE1	1.00	3.00	5.00	7.00	9.00
GE2	0.33	1.00	3.00	5.00	7.00
GE3	0.20	0.33	1.00	3.00	5.00
GE4	0.14	0.20	0.33	1.00	3.00
GE5	0.11	0.14	0.20	0.33	1.00

CUADRO 30. Matriz de normalización de pares

DESCRIPTORES	GE1	GE2	GE3	GE4	GE5	Vector priorización
GE1	0.560	0.642	0.524	0.429	0.360	0.503
GE2	0.187	0.214	0.315	0.306	0.280	0.260
GE3	0.112	0.071	0.105	0.184	0.200	0.134
GE4	0.080	0.043	0.035	0.061	0.120	0.068
GE5	0.062	0.031	0.021	0.020	0.040	0.035

CUADRO 31. Índice de consistencia y relación de consistencia

Índice de consistencia	IC	0.061
Relación de consistencia < 0.1	RC	0.054

3.3.2 ANÁLISIS DEL FACTOR DESENCADENANTE

Se considera como factor desencadenante a los umbrales de precipitación según la Nota Técnica 001 SENAMHI – DGM – 2014 para lo cual se consideró la estación meteorológica más cercana a la zona de estudio la cual es la estación de Machupicchu, para la obtención de los pesos ponderados del parámetro del factor desencadenante, se utilizó el proceso de análisis jerárquico. Los resultados obtenidos son los siguientes:

Además, se realizó las isoyetas de precipitación en base a las precipitaciones máximas por estación según los umbrales de precipitación.

PARÁMETRO: UMBRALES DE PRECIPITACIÓN

CUADRO 32. Nomenclatura de parámetro

CODIGO	DESCRIPTORES
UP1	Extremadamente lluvioso $RR > 43,8$ mm
UP2	Muy lluvioso $28,0$ mm $< RR \leq 43,8$ mm
UP3	Lluvioso $21,4$ mm $< RR \leq 28,0$ mm
UP4	Moderadamente lluvioso $12,7$ mm $< RR \leq 21,4$ mm
UP5	Usualmente Lluvioso $\leq 12,7$

CUADRO 33. Matriz de comparación de pares

DESCRIPTORES	UP1	UP2	UP3	UP4	UP5
UP1	1.00	2.00	3.00	4.00	8.00
UP2	0.50	1.00	2.00	3.00	6.00
UP3	0.33	0.50	1.00	2.00	4.00
UP4	0.25	0.33	0.50	1.00	2.00
UP5	0.13	0.17	0.25	0.50	1.00

CUADRO 34. Matriz de normalización de pares

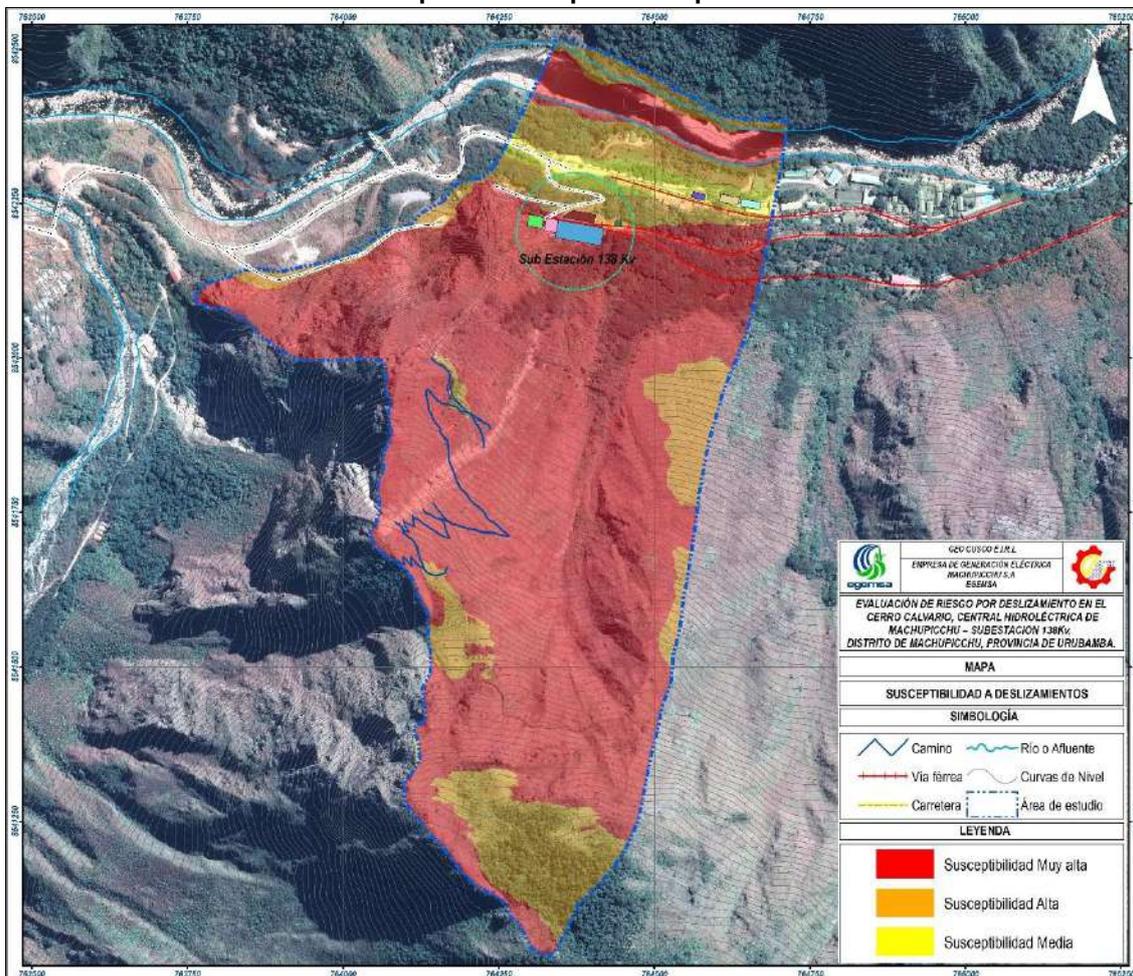
DESCRIPTORES	UP1	UP2	UP3	UP4	UP5	Vector priorización
UP1	0.453	0.500	0.444	0.381	0.381	0.432
UP2	0.226	0.250	0.296	0.286	0.286	0.269
UP3	0.151	0.125	0.148	0.190	0.190	0.161
UP4	0.113	0.083	0.074	0.095	0.095	0.092
UP5	0.057	0.042	0.037	0.048	0.048	0.046

CUADRO 35. Índice de consistencia y relación de consistencia

Índice de consistencia	IC	0.061
Relación de consistencia < 0.1	RC	0.054

A continuación se presenta la susceptibilidad resultante del procesamiento de capas y unión de los factores condicionantes y factor desencadenante. (Ver Lamina MP – 11, Mapas temáticos)

IMAGEN 28. Mapa de susceptibilidad por deslizamiento



3.4 PARÁMETRO DE EVALUACIÓN

Para la identificación y determinación del parámetro de evaluación se ha estimado el volumen de los deslizamientos identificados en campo y mediante uso de imágenes y Fotografías aéreas.

Se ha seguido la metodología de los Sistemas de Información Geográfica, en la que se requiere de una superficie, en este caso se usó una Red irregular triangulada (TIN), se digita y determina los polígonos de las áreas con evidencia en campo de Deslizamientos, antiguos y recientes.

Mediante el uso de ArcGIS, se realizó la estimación de volúmenes de las áreas significativas a la ocurrencia de deslizamientos, caída de roca y flujos, tomando como referencia una cota base y usando las herramientas que proporciona este software.

3.4.1 PARÁMETRO: VOLUMEN DE DESLIZAMIENTO

Se identifica a este parámetro como los volúmenes estimados para los deslizamientos identificados y cartografiados, y calculados con ArcGIS. (Ver Lamina MP – 08, Mapas temáticos)

Clasificación de volumen de deslizamientos

Según la bibliografía revisada, se tiene la siguiente propuesta clasificación de suelos, se considera la clasificación según volúmenes de Fell (1994.):

Tabla 2. Clasificación de magnitudes de los movimientos de ladera según Fell (1994).

Magnitud	Descripción	Volumen (m ³)
7	Extremadamente grande	> 5 x 10 ⁶
6	Muy grande	1x10 ⁶ - 5x10 ⁶
5	Grande	25x10 ⁴ - 1x10 ⁶
4	Mediana	5x10 ⁴ - 25x10 ⁴
3	Pequeño	5x10 ³ - 5x10 ⁴
2	Muy pequeño	5x10 ² - 5x10 ³
1	Extremadamente pequeño	<5x10 ²

En base a esta clasificación se hizo la adecuación de magnitud de volúmenes para el área de estudio.

CUADRO 36. Nomenclatura de parámetro

CODIGO	DESCRIPTORES
DE1	> 250000 m ³
DE2	50000 m ³ a 250000 m ³
DE3	5000 m ³ a 50000 m ³
DE4	500 m ³ a 5000 m ³
DE5	Menor a 500 m ³

CUADRO 37. Matriz de comparación de pares

DESCRIPTORES	DE1	DE2	DE3	DE4	DE5
DE1	1.00	3.00	5.00	7.00	9.00
DE2	0.33	1.00	3.00	5.00	7.00
DE3	0.20	0.33	1.00	3.00	5.00
DE4	0.14	0.20	0.33	1.00	3.00
DE5	0.11	0.14	0.20	0.33	1.00

CUADRO 38. Matriz de normalización de pares

DESCRIPTORES	DE1	DE2	DE3	DE4	DE5	Vector priorización
DE1	0.560	0.642	0.524	0.429	0.360	0.503
DE2	0.187	0.214	0.315	0.306	0.280	0.260
DE3	0.112	0.071	0.105	0.184	0.200	0.134
DE4	0.080	0.043	0.035	0.061	0.120	0.068
DE5	0.062	0.031	0.021	0.020	0.040	0.035

CUADRO 39. Índice de consistencia y relación de consistencia

Índice de consistencia	IC	0.06
Relación de consistencia < 0.1	RC	0.05

3.4.2 ANALISIS DE CAIDA DE ROCAS Y PERIODOS DE RECURRENCIA DE EVENTOS

Durante los años 2004 – 2005 se presentaron deslizamientos de rocas y material coluvial proveniente del cerro El Calvario en el flanco lateral derecho del patio de llaves de la subestación de los grupos Pélton.

En fecha 3 de abril 2019, se presentó intempestivamente en la zona del cerro El Calvario un evento de caída de rocas, ocasionando daños en las instalaciones eléctricas de las líneas de transmisión en 138 KV, líneas en media tensión, circuitos en baja tensión y daños de algunos equipos.

Posteriormente, el 22 de enero de 2020 cuando la Central Hidroeléctrica Machupicchu se encontraba generando 165 MW, mediante el grupo Francis y los 03 grupos Peltón; intempestivamente el grupo Francis se desconecta del sistema, esto debido a una falla en la barra de la subestación de la I fase a causa de la caída de una roca que dejó fuera de servicio los equipos de maniobra de la línea L1001: Seccionador de barra e interruptor de potencia.

Considerando estos hechos, se puede considerar que los eventos geodinámicos capaces de causar algún daño han ocurrido después de 14 años uno del otro evento y con diferentes horizontes del proyecto (30, 50 y 100 años de vida útil del proyecto)

Sea “p” la probabilidad de un evento extremo: $p=P(X \geq xT)$ Esa probabilidad está relacionada con el periodo de retorno T en la forma: $p=1/T$ Por tanto, la probabilidad de no ocurrencia de un evento extremo, para un año, será: Para N años, vida útil del proyecto, la probabilidad de no ocurrencia de la lluvia de cálculo es: En el caso que nos ocupa: - Periodo de vida útil del proyecto es de:

$N=30,50$ y 100 años.

$P(X < xT) = (1 - 1/T)^N$

Donde:

N: horizonte del proyecto, que se considera 50 años para los equipos de la C:H. Machupicchu.

T: periodo de retorno de 14 años

$P(X < xt) = 0.1 = (1 - 1/T)^{30}$

Los resultados son los siguientes:

	T= 14 años	N= 30 años	N= 50 Años	N 100 años
Probabilidad de ocurrencia en:	4 años	99.90%		
	5 años		99.90%	
	6 años			99.90%

Lo que significa que considerando una vida útil del proyecto se debe tener presente que la ocurrencia de un evento similar hay la probabilidad de 99.9% de ocurrencia.

3.5 NIVELES DE PELIGRO

En el siguiente cuadro, se muestran los niveles de peligro y sus respectivos rangos obtenidos a través de utilizar el Proceso de Análisis Jerárquico.

CUADRO 40. Niveles de peligro

NIVEL	RANGO				
MUY ALTO	0.262	≤	P	≤	0.490
ALTO	0.139	≤	P	<	0.262
MEDIO	0.072	≤	P	<	0.139
BAJO	0.037	≤	P	<	0.072

3.6 ESTRATO NIVEL DE PELIGROSIDAD

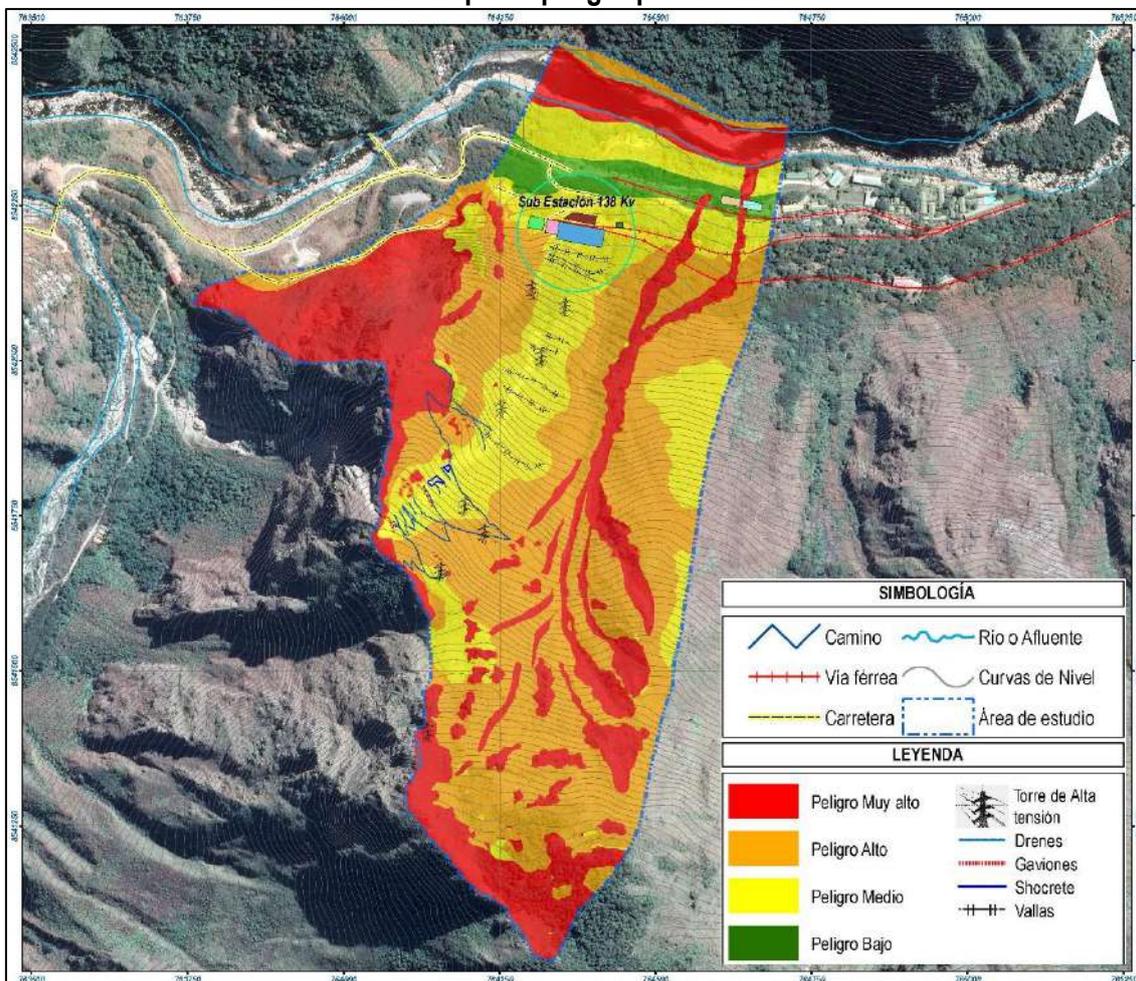
CUADRO 41. Matriz nivel de peligrosidad

NIVEL	DESCRIPCION
MUY ALTO	Zonas cuya susceptibilidad está condicionada litológicamente por fragmentos de roca granítica y depósito coluvio aluvial, con valores mayores a 64% de índice topográfico de humedad, con pendiente empinadas a escarpadas mayores a 37° con geoformas de vertientes de deslizamientos, todos ellos desencadenadas por precipitaciones pluviales de acuerdo a los umbrales de precipitación se considera como muy lluvioso con rango de 28,0 mm<RR≤43,8 mm, con parámetros de evaluación de volumen de material mayores a 250,000 m ³
ALTO	Zonas cuya susceptibilidad está condicionada litológicamente por depósito coluvio deluvial, con valores de 48% a 64% de índice topográfico de humedad, con pendiente moderadamente empinadas de 27° a 37° con geoformas de vertientes coluvio deluvial, todos ellos desencadenadas por precipitaciones pluviales de acuerdo a los umbrales de precipitación se considera como muy lluvioso con rango de 28,0 mm<RR≤43,8 mm, con parámetros de evaluación de volumen de material mayores a 250,000 m ³
MEDIO	Zonas cuya susceptibilidad está condicionada litológicamente por afloramientos de roca granítica, con valores de 32% - 48% de índice topográfico de humedad, con pendiente fuertemente inclinada de 15° a 27° con geoformas de piedemonte, todos ellos desencadenadas por precipitaciones pluviales de acuerdo a los umbrales de precipitación se considera como muy lluvioso con rango de 28,0 mm<RR≤43,8 mm, con parámetros de evaluación de volumen de material mayores a 250,000 m ³
BAJO	Zonas cuya susceptibilidad está condicionada litológicamente por depósito aluvio fluvial y material fluvial, con valores menores a 32% de índice topográfico de humedad, con pendiente moderadamente empinadas a llanas menores a 15° con geoformas de llanura aluvial y rio o afluente, todos ellos desencadenadas por precipitaciones pluviales de acuerdo a los umbrales de precipitación se considera como muy lluvioso con rango de 28,0 mm<RR≤43,8 mm, con parámetros de evaluación de volumen de material mayores a 250,000 m ³

3.7 MAPA DE PELIGRO POR DESLIZAMIENTO AMBITO DE INFLUENCIA

Se observa el mapa de peligro resultante de la unión y procesamiento de capas. (Ver Lamina MP – 12, Mapas temáticos)

IMAGEN 29. Mapa de peligro por deslizamientos

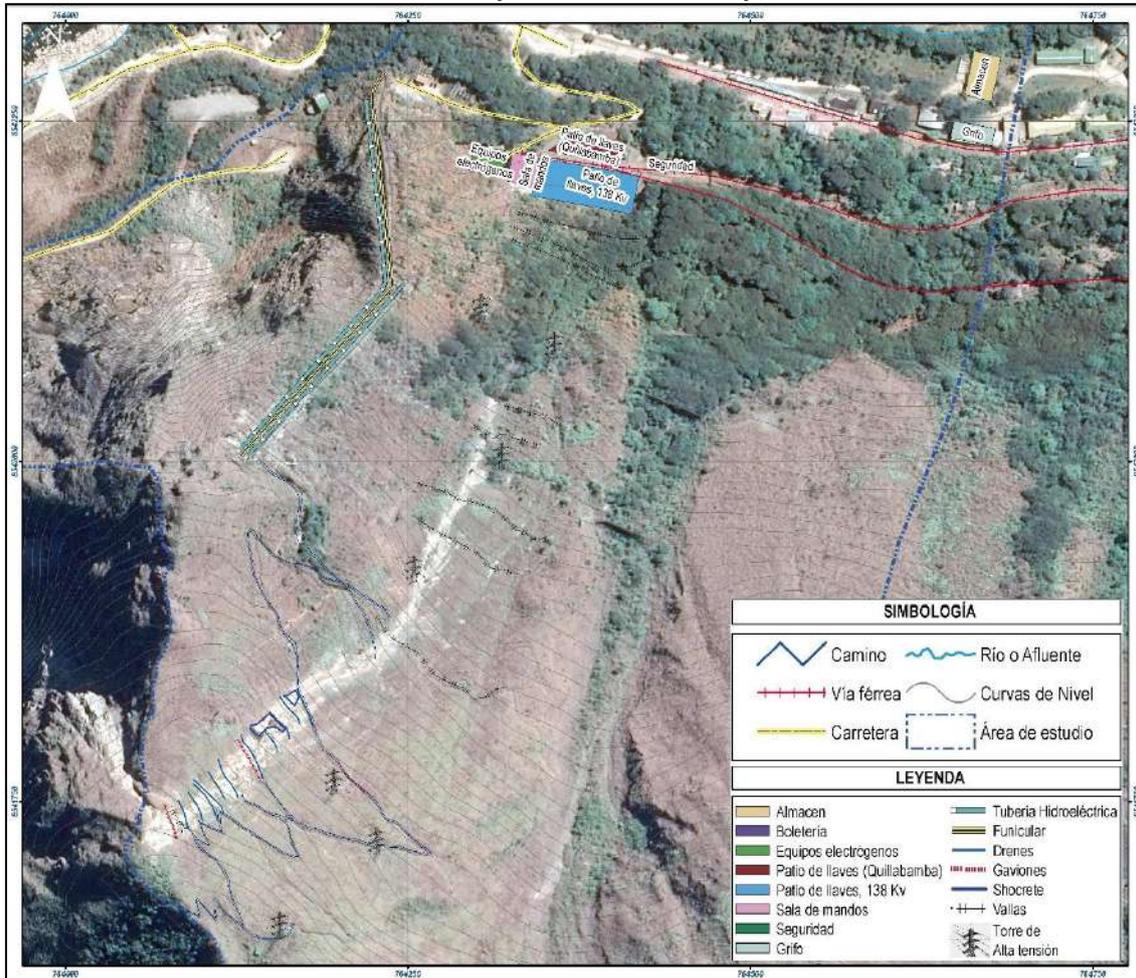


Se identifica 04 niveles de peligro dentro del ámbito de intervención, los cuales corresponden a nivel Muy alto, alto, medio y bajo, este análisis resulta de la superposición de mapas de los factores condicionantes, desencadenantes y sumado el parámetro de evaluación, se realiza operaciones aritméticas en el software ArcGIS mediante la metodología de Saaty propuesta por CENEPRED, cabe resaltar que para este análisis se considera los elementos estructurales existentes en el ámbito instalados como medias de corrección y reducción de peligros y riesgo respectivamente, los cuales corresponden a estructuras de protección, contención y sostenimiento como gaviones, vallas metálicas, mallas olímpicas, drenes, enmallados, pernos de anclaje, calzadura de roca en mampostería y proyección de concreto (shotcrete).

Cabe resaltar que el mapa resultante, muestra zonas o áreas con peligro a eventos de deslizamientos, caída de rocas considerando el alcance máximo posible y flujos de suelo con probabilidad de ocurrencia.

3.8 ANALISIS DE ELEMENTOS EXPUESTOS

IMAGEN 30. Mapa de Elementos expuestos



En el mapa se observa los elementos expuestos, presentan medidas de reducción de riesgos por deslizamientos y caída de rocas; se considera también las torres de alta tensión, funicular y tuberías como elementos expuestos y principalmente el patio de llaves, Sub Estación 138 Kv el cual es de interés principal para el documento técnico de Evaluación de riesgo, finalmente se considera el almacén y tanque de combustibles ubicados dentro del campamento de EGEMSA. (Ver Lamina MP – 10, Mapas temáticos)

3.9 ANALISIS DE ELEMENTOS EXPUESTOS EN NIVELES DE PELIGRO

IMAGEN 31. Mapa de Elementos expuestos en niveles de peligro



La imagen 31, correspondiente al mapa de elementos expuestos en los 04 niveles de peligrosidad, además nótese que el patio de llaves Sub estación 138 Kv, la sala de mandos, los equipos eléctricos, el patio de llaves Quillabamba y la caseta de seguridad se ubican sobre nivel de peligro **MEDIO**, es decir que una vez determinado su riesgo este se reduce en gran medida y en cuanto al almacén y depósito de tanques y combustibles se ubican en peligro Muy alto y Bajo, estos dos últimos expuestos a eventos de flujos de suelo. *(Ver Lamina MP – 13, Mapas temáticos)*

CAPITULO IV: ANÁLISIS DE LA VULNERABILIDAD.

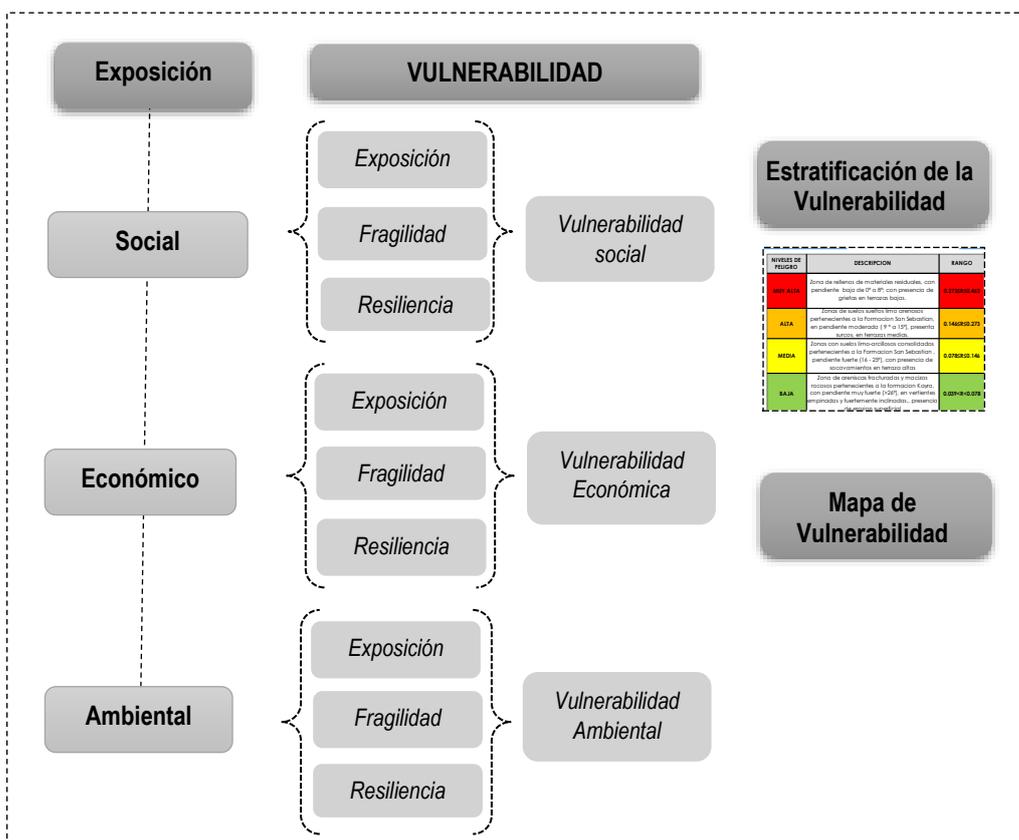
4.1 ANALISIS DE VULNERABILIDAD

Para determinar los niveles de vulnerabilidad del área de influencia de la Sub Estación 138 Kv y otros elementos expuestos dentro del área de estudio, se consideró la dimensión económica, social y ambiental, considerando a la parte económica como la más importante en el análisis, debido a que considera la infraestructura, estructura y condiciones físicas de la Sub Estación 138 Kv, esta determinación se basa en la información del procesamiento de información obtenida en campo de forma visual, encuesta e información brindada por EGEMSA.

Asimismo, para el análisis de vulnerabilidad se consideró **las condiciones actuales de la Sub Estación y elementos expuestos existentes**, considerando los 03 factores que son exposición, fragilidad y resiliencia.

4.2 METODOLOGÍA PARA LA DETERMINACIÓN DEL NIVEL DE VULNERABILIDAD

GRÁFICO 5: Secuencia de la metodología del análisis de vulnerabilidad



Se realizó el siguiente análisis entre las dimensiones analizadas para la vulnerabilidad, donde se da mayor priorización a la dimensión económica el análisis corresponde a la parte física e infraestructura de la Sub estación 138 Kv, el cual es el objeto e interés principal de la Evaluación de Riesgo.

Así mismo se considera la infraestructura existente dentro del área de estudio como estructuras de ingeniería y otros ambientes existentes.

CUADRO 42. Matriz de comparación de pares

Dimensión	Social	Económico	Ambiental
Social	1.00	3.00	5.00
Económica	0.50	1.00	3.00
Ambiental	0.20	0.33	1.00

CUADRO 43. Matriz de normalización de pares

Dimensión	Social	Económico	Ambiental	Vector priorización
Social	0.652	0.692	0.556	0.633
Económico	0.217	0.231	0.333	0.260
Ambiental	0.130	0.077	0.111	0.106

4.3 VULNERABILIDAD EN LA DIMENSION SOCIAL

Para el análisis de la dimensión social se ha identificado las características intrínsecas de la población que habita dentro del área de estudio, así mismo los medios o vías de comunicación que existentes y los sistemas de alerta, protocolos y señalizaciones existentes que se manejan dentro del área de estudio.

Se identificaron y seleccionaron parámetros de evaluación agrupados en las componentes de exposición, fragilidad y resiliencia.

4.3.1 EXPOSICIÓN SOCIAL

La exposición está referida al nivel o grado de exposición respecto al peligro de la población dentro del ámbito de influencia, es decir cuando su integridad física se ve expuesta.

CUADRO 44. Nomenclatura del parámetro

CODIGO	PARÁMETROS	Vector Priorización
PES1	Población dentro del área de estudio	1.00

POBLACIÓN DENTRO DEL ÁREA DE ESTUDIO: Este parámetro se refiere a la cantidad estimada de población que radica dentro del área de estudio, considerando la población, personal de EGEMSA, trabajadores de la red ferroviaria, trabajadores de la zona y turistas o personal que frecuenta y transita por la zona que comprende el área de estudio.

Esta información se obtuvo de encuestas a pobladores de la zona y trabajadores de EGEMSA, obteniéndose cantidades aproximadas.

CUADRO 45. Nomenclatura del parámetro

CODIGO	DESCRIPTORES
PA1	Mayor 50 personas
PA1	De 40 a 50 personas
PA1	De 30 a 40 personas
PA1	De 20 a 30 personas
PA1	Menor a 20 personas

CUADRO 46. Matriz de comparación de pares

Descriptorios	PA1	PA2	PA3	PA4	PA5
PA1	1.00	3.00	5.00	7.00	9.00
PA1	0.33	1.00	3.00	5.00	7.00
PA1	0.20	0.33	1.00	3.00	5.00
PA1	0.14	0.20	0.33	1.00	3.00
PA1	0.11	0.14	0.20	0.33	1.00

CUADRO 47. Matriz de normalización de pares

Descriptorios	PA1	PA2	PA3	PA4	PA5	Vector de priorización
PA1	0.560	0.642	0.524	0.429	0.360	0.503
PA1	0.187	0.214	0.315	0.306	0.280	0.260
PA1	0.112	0.071	0.105	0.184	0.200	0.134
PA1	0.080	0.043	0.035	0.061	0.120	0.068
PA1	0.062	0.031	0.021	0.020	0.040	0.035

4.3.2 FRAGILIDAD SOCIAL

La fragilidad social está determinada por la carencia de recursos o medios de vida, unidades productoras y demás elementos que satisfagan las necesidades mínimas de la población en general.

CUADRO 48. Nomenclatura del parámetro

CODIGO	PARÁMETROS	Vector Priorización
PFS1	Vías o medios de comunicación al área de estudio	1.00

VIAS O MEDIOS DE COMUNICACIÓN AL AREA DE ESTUDIO: Este parámetro indica el acceso que se tiene a la zona de estudio ante la eventualidad de emergencias que puedan suscitarse.

Considerándose al más vulnerable aquella donde no existen los medios suficientes o ninguno en su defecto.

CUADRO 49. Nomenclatura del parámetro

CODIGO	DESCRIPTORES
VC1	No existen otros medios
VC2	Existen caminos peatonales
VC3	Existe Vía Trocha
VC4	Existe Vía afirmada
VC5	Existe Vía asfaltada o afirmada, Red ferroviaria, Caminos.

CUADRO 50. Matriz de comparación de pares

Descriptorios	VC1	VC2	VC3	VC4	VC5
VC1	1.00	2.00	5.00	7.00	9.00
VC2	0.50	1.00	3.00	5.00	7.00
VC3	0.20	0.33	1.00	3.00	5.00
VC4	0.14	0.20	0.33	1.00	3.00
VC5	0.11	0.14	0.20	0.33	1.00

CUADRO 51. Matriz de normalización de pares

Descriptores	VC1	VC2	VC3	VC4	VC5	Vector de priorización
VC1	0.512	0.544	0.524	0.429	0.360	0.474
VC2	0.256	0.272	0.315	0.306	0.280	0.286
VC3	0.102	0.091	0.105	0.184	0.200	0.136
VC4	0.073	0.054	0.035	0.061	0.120	0.069
VC5	0.057	0.039	0.021	0.020	0.040	0.035

4.3.3 RESILIENCIA SOCIAL

La resiliencia está referida al nivel de asimilación o capacidad de recuperación del ser humano y sus medios de vida frente a la ocurrencia de un peligro. Está asociada a condiciones sociales y de organización de la población, a mayor resiliencia menor vulnerabilidad.

CUADRO 52. Nomenclatura del parámetro

CODIGO	PARÁMETROS	Vector Priorización
PRS1	Sistemas de alerta, protocolos, señalización existente	1.00

SISTEMAS DE ALERTA, PROTOCOLOS, SEÑALIZACIÓN EXISTENTE: Para este parámetro se han considerado si la población dentro del área de estudio e incluso áreas de influencia, cuentan con sistemas de alerta en caso de movimientos en masa, señalización, si cuentan con protocolos y demás elementos que minimicen o ayuden a reducir posibles riesgos.

CUADRO 53. Nomenclatura del parámetro

CODIGO	DESCRIPTORES
SI1	No participa
SI2	Rara vez
SI3	Una vez al mes
SI4	Dos veces al mes
SI5	Siempre en todas las actividades

CUADRO 54. Matriz de comparación de pares

Descriptores	SI1	SI2	SI3	SI4	SI5
SI1	1.00	2.00	4.00	7.00	9.00
SI2	0.50	1.00	3.00	5.00	7.00
SI3	0.25	0.33	1.00	3.00	5.00
SI4	0.14	0.20	0.33	1.00	3.00
SI5	0.11	0.14	0.20	0.33	1.00

CUADRO 55. Matriz de normalización de pares

Descriptores	SI1	SI2	SI3	SI4	SI5	Vector de priorización
OS1	0.499	0.544	0.469	0.429	0.360	0.460
OS2	0.250	0.272	0.352	0.306	0.280	0.292
OS3	0.125	0.091	0.117	0.184	0.200	0.143
OS4	0.071	0.054	0.039	0.061	0.120	0.069
OS5	0.055	0.039	0.023	0.020	0.040	0.036

4.4 VULNERABILIDAD EN LA DIMENSION ECONOMICA

El análisis de la dimensión económica considera características de la infraestructura de la Sub Estación 138 Kv y de sus características principales como unidad productora.

4.4.1 EXPOSICIÓN ECONÓMICA

Está referida a la exposición de la infraestructura a zonas de peligro fuentes de peligro geológico, en este caso, se evalúa la distancia a deslizamientos, fuentes de caída de roca, y pendientes dentro del área de estudio.

CUADRO 56. Nomenclatura del parámetro

CODIGO	PARÁMETROS	Vector Priorización
PEE1	Distancia o ubicación respecto a la fuente de peligro	1.00

DISTANCIA O UBICACIÓN RESPECTO A LA FUENTE DE PELIGRO: La información de este parámetro está dada por las distancias calculadas a las fuentes de peligro.

CUADRO 57. Nomenclatura del parámetro

CODIGO	PARÁMETROS
DP1	Muy cercano o dentro del área de influencia (De 0 a 10 m)
DP2	Cercano (De 10 a 20 m)
DP3	Regular (De 20 a 30 m)
DP4	Lejano (De 30 a 50 m)
DP5	Muy lejano fuera del área de influencia (Mayor a 50 m)

CUADRO 58. Matriz de comparación de pares

Parámetros	DP1	DP2	DP3	DP4	DP5
DP1	1.00	3.00	5.00	7.00	9.00
DP2	0.33	1.00	2.00	5.00	7.00
DP3	0.20	0.50	1.00	2.00	5.00
DP4	0.14	0.20	0.50	1.00	2.00
DP5	0.11	0.14	0.20	0.50	1.00

CUADRO 59. Matriz de normalización de pares

Parámetros	DP1	DP2	DP3	DP4	DP5	Vector de priorización
DP1	0.560	0.619	0.575	0.452	0.375	0.516
DP2	0.187	0.206	0.230	0.323	0.292	0.247
DP3	0.112	0.103	0.115	0.129	0.208	0.133
DP4	0.080	0.041	0.057	0.065	0.083	0.065
DP5	0.062	0.029	0.023	0.032	0.042	0.038

4.4.2 FRAGILIDAD ECONÓMICA

Está referida a las condiciones de desventaja o debilidad relativa de la infraestructura principalmente, así como características propias del elemento.

CUADRO 60. Nomenclatura del parámetro

CODIGO	PARÁMETROS
PFE1	Material de construcción de sub estación
PFE2	Tipo de subestación por su ubicación
PFE3	Tipo de sub estación por su nivel de tensión

CUADRO 61. Matriz de comparación de pares

PARÁMETROS	PFE1	PFE2	PFE3
PFE1	1.00	3.00	5.00
PFE2	0.33	1.00	3.00
PFE3	0.20	0.33	1.00

CUADRO 62. Matriz de normalización de pares

PARÁMETROS	PFE1	PFE2	PFE3	Vector priorización
PFE1	0.652	0.692	0.556	0.633
PFE2	0.217	0.231	0.333	0.260
PFE3	0.130	0.077	0.111	0.106

MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN DE SUB ESTACIÓN

CUADRO 63. Nomenclatura del parámetro

CODIGO	PARÁMETROS
MC1	Mixto precario
MC2	Quincha
MC3	Adobe
MC4	Ladrillo Bloqueta
MC5	Concreto armado y acero

CUADRO 64. Matriz de comparación de pares

Parámetros	MC1	MC2	MC3	MC4	MC5
MC1	1.00	2.00	3.00	5.00	6.00
MC2	0.50	1.00	3.00	5.00	7.00
MC3	0.33	0.33	1.00	3.00	5.00
MC4	0.20	0.20	0.33	1.00	3.00
MC5	0.17	0.14	0.20	0.33	1.00

CUADRO 65. Matriz de normalización de pares

Parámetros	MC1	MC2	MC3	MC4	MC5	Vector de priorización
MC1	0.455	0.544	0.398	0.349	0.273	0.404
MC2	0.227	0.272	0.398	0.349	0.318	0.313
MC3	0.152	0.091	0.133	0.209	0.227	0.162
MC4	0.091	0.054	0.044	0.070	0.136	0.079
MC5	0.076	0.039	0.027	0.023	0.045	0.042

TIPO DE SUBESTACION POR SU UBICACIÓN.

CUADRO 66. Nomenclatura del parámetro

CODIGO	PARÁMETROS
TS1	Externo sin protección
TS2	Externo protegido con obras varias
TS3	Externo protegido precariamente
TS4	Interno, protegido o subterráneo
TS5	Externo sin protección

CUADRO 67. Matriz de comparación de pares

Parámetros	TS1	TS2	TS3	TS4	TS5
TS1	1.00	3.00	5.00	7.00	9.00
TS2	0.33	1.00	3.00	5.00	7.00
TS3	0.20	0.33	1.00	3.00	5.00
TS4	0.14	0.20	0.33	1.00	3.00
TS5	0.11	0.14	0.20	0.33	1.00

CUADRO 68. Matriz de normalización de pares

Parámetros	TS1	TS2	TS3	TS4	TS5	Vector de priorización
TS1	0.560	0.642	0.524	0.429	0.360	0.503
TS2	0.187	0.214	0.315	0.306	0.280	0.260
TS3	0.112	0.071	0.105	0.184	0.200	0.134
TS4	0.080	0.043	0.035	0.061	0.120	0.068
TS5	0.062	0.031	0.021	0.020	0.040	0.035

TIPO DE SUB ESTACION POR SU NIVEL DE TENSIÓN

CUADRO 69. Nomenclatura del parámetro

CODIGO	PARÁMETROS
TT1	De transmisión > 230 kV
TT2	De sub transmisión > 115 kV y < 230 kV
TT3	De distribución primaria > 23 kV y < 115 kV
TT4	De distribución secundaria < 23 kV
TT5	De transmisión > 230 kV

CUADRO 70. Matriz de comparación de pares

Parámetros	TT1	TT2	TT3	TT4	TT5
TT1	1.00	2.00	5.00	7.00	9.00
TT2	0.50	1.00	3.00	5.00	7.00
TT3	0.20	0.33	1.00	3.00	5.00
TT4	0.14	0.20	0.33	1.00	3.00
TT5	0.11	0.14	0.20	0.33	1.00

CUADRO 71. Matriz de normalización de pares

Parámetros	TT1	TT2	TT3	TT4	TT5	Vector de priorización
TT1	0.512	0.544	0.524	0.429	0.360	0.474
TT2	0.256	0.272	0.315	0.306	0.280	0.286
TT3	0.102	0.091	0.105	0.184	0.200	0.136
TT4	0.073	0.054	0.035	0.061	0.120	0.069
TT5	0.057	0.039	0.021	0.020	0.040	0.035

4.4.3 RESILIENCIA ECONÓMICA

La Resiliencia, está referida al nivel de asimilación o capacidad de recuperación de la infraestructura, como capacidad de respuesta ante eventos naturales, mantenimiento, reparaciones, etc.

CUADRO 72. Nomenclatura del parámetro

CODIGO	PARÁMETROS
PRE1	Obras complementarias de protección
PRE2	Protocolos de seguridad y mantenimiento

OBRAS COMPLEMENTARIAS DE PROTECCIÓN

CUADRO 73. Nomenclatura del parámetro

CODIGO	PARÁMETROS
OC1	Ninguna obra complementaria
OC2	Vallas
OC3	Vallas y Gaviones
OC4	Vallas, gaviones y drenes
OC5	Gaviones, Enrocados, Mampostería, Drenes, Vallas, Enmallados y anclajes

CUADRO 74. Matriz de comparación de pares

Parámetros	OC1	OC2	OC3	OC4	OC5
OC1	1.00	3.00	5.00	7.00	8.00
OC2	0.33	1.00	3.00	5.00	6.00
OC3	0.20	0.33	1.00	3.00	5.00
OC4	0.14	0.20	0.33	1.00	3.00
OC5	0.13	0.17	0.20	0.33	1.00

CUADRO 75. Matriz de normalización de pares

Parámetros	OC1	OC2	OC3	OC4	OC5	Vector de priorización
OC1	0.555	0.638	0.524	0.429	0.348	0.499
OC2	0.185	0.213	0.315	0.306	0.261	0.256
OC3	0.111	0.071	0.105	0.184	0.217	0.138
OC4	0.079	0.043	0.035	0.061	0.130	0.070
OC5	0.069	0.035	0.021	0.020	0.043	0.038

PROTOCOLOS DE SEGURIDAD Y MANTENIMIENTO

CUADRO 76. Nomenclatura del parámetro

CODIGO	PARÁMETROS
SM1	No tiene
SM2	Desconoce los protocolos no realiza manteamiento
SM3	Conoce superficialmente, realiza mantenimiento en plazos de tiempo muy largos
SM4	Cumple de forma incompleta el RISST realiza mantenimiento esporádicamente.
SM1	Cumple el RISST y realiza mantenimiento periódico

CUADRO 77. Matriz de comparación de pares

Parámetros	SM1	SM2	SM3	SM4	SM5
SM1	1.00	3.00	5.00	7.00	8.00
SM2	0.33	1.00	3.00	5.00	7.00
SM3	0.20	0.33	1.00	3.00	5.00
SM4	0.14	0.20	0.33	1.00	3.00
SM1	0.13	0.14	0.20	0.33	1.00

CUADRO 78. Matriz de normalización de pares

Parámetros	SM1	SM2	SM3	SM4	SM5	Vector de priorización
SM1	0.555	0.642	0.524	0.429	0.333	0.497
SM2	0.185	0.214	0.315	0.306	0.292	0.262
SM3	0.111	0.071	0.105	0.184	0.208	0.136
SM4	0.079	0.043	0.035	0.061	0.125	0.069
SM1	0.069	0.031	0.021	0.020	0.042	0.037

4.5 VULNERABILIDAD EN LA DIMENSION AMBIENTAL

Para el análisis de la dimensión ambiental se ha identificado las características de la disposición de residuos sólidos y la conservación y protección de especies naturales de flora y fauna, respetando el santuario de Machupicchu. Además de la reducción de impactos ambientales y se considera también el tipo de energía que genera la central hidroeléctrica de Machupicchu.

4.5.1 EXPOSICIÓN AMBIENTAL

CUADRO 79. Nomenclatura del parámetro

CODIGO	PARÁMETROS	Vector Priorización
PEA1	Impacto ambiental de especies de flora y fauna	1.00

IMPACTO AMBIENTAL DE ESPECIES DE FLORA Y FAUNA

CUADRO 80. Nomenclatura del parámetro

CODIGO	PARÁMETROS
IA1	Impacta a especies endémicas
IA2	Impacta a especies de flora y fauna
IA3	Impacta regularmente
IA4	Impacta en baja intensidad
IA5	Mínima o ninguna

CUADRO 81. Matriz de comparación de pares

Parámetros	IA1	IA2	IA3	IA4	IA5
IA1	1.00	3.00	5.00	7.00	9.00
IA2	0.33	1.00	3.00	4.00	7.00
IA3	0.20	0.33	1.00	3.00	5.00
IA4	0.14	0.25	0.33	1.00	3.00
IA5	0.11	0.14	0.20	0.33	1.00

CUADRO 82. Matriz de normalización de pares

Parámetros	IA1	IA2	IA3	IA4	IA5	Vector de priorización
IA1	0.560	0.635	0.524	0.457	0.360	0.507
IA2	0.187	0.212	0.315	0.261	0.280	0.251
IA3	0.112	0.071	0.105	0.196	0.200	0.137
IA4	0.080	0.053	0.035	0.065	0.120	0.071
IA5	0.062	0.030	0.021	0.022	0.040	0.035

4.5.2 FRAGILIDAD AMBIENTAL

CUADRO 83. Nomenclatura del parámetro

CODIGO	PARÁMETROS	Vector Priorización
PFA1	Disposición de RRSS	0.50
PFA2	Tipo de energía generada	0.50

DISPOSICIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS

CUADRO 84. Nomenclatura del parámetro

CODIGO	PARÁMETROS
RS1	Dispone en cauces o quebradas
RS2	Quema los RRSS
RS3	Desechar en vías y/o calles
RS4	Desechar en botaderos
RS5	Clasifica y reutiliza los RRSS

CUADRO 85. Matriz de comparación de pares

Parámetros	RS1	RS2	RS3	RS4	RS5
RS1	1.00	3.00	5.00	6.00	7.00
RS2	0.33	1.00	3.00	4.00	7.00
RS3	0.20	0.33	1.00	3.00	5.00
RS4	0.17	0.25	0.33	1.00	3.00
RS5	0.14	0.14	0.20	0.33	1.00

CUADRO 86. Matriz de normalización de pares

Parámetros	RS1	RS2	RS3	RS4	RS5	Vector de priorización
RS1	0.543	0.635	0.524	0.419	0.304	0.485
RS2	0.181	0.212	0.315	0.279	0.304	0.258
RS3	0.109	0.071	0.105	0.209	0.217	0.142
RS4	0.090	0.053	0.035	0.070	0.130	0.076
RS5	0.078	0.030	0.021	0.023	0.043	0.039

TIPO DE ENERGIA GENERADA

CUADRO 87. Nomenclatura del parámetro

CODIGO	PARÁMETROS
TE1	Energía por combustibles fósiles
TE2	Energía Biomasa
TE3	Energía Geotérmica
TE4	Energía renovable
TE5	Energía 100 limpia renovable

CUADRO 88. Matriz de comparación de pares

Parámetros	TE1	TE2	TE3	TE4	TE5
TE1	1.00	3.00	5.00	7.00	9.00
TE2	0.33	1.00	3.00	5.00	7.00
TE3	0.20	0.33	1.00	3.00	5.00
TE4	0.14	0.20	0.33	1.00	3.00
TE5	0.11	0.14	0.20	0.33	1.00

CUADRO 89. Matriz de normalización de pares

Parámetros	TE1	TE2	TE3	TE4	TE5	Vector de priorización
TE1	0.560	0.642	0.524	0.429	0.360	0.503
TE2	0.187	0.214	0.315	0.306	0.280	0.260
TE3	0.112	0.071	0.105	0.184	0.200	0.134
TE4	0.080	0.043	0.035	0.061	0.120	0.068
TE5	0.062	0.031	0.021	0.020	0.040	0.035

4.5.3 RESILIENCIA AMBIENTAL

CUADRO 90. Nomenclatura del parámetro

CODIGO	PARÁMETROS	Vector Priorización
PRA1	Reducción de impactos ambientales	0.50
PRA2	Cumple normativa ambiental y de cultura	0.50

REDUCCIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES

CUADRO 91. Nomenclatura del parámetro

CODIGO	PARÁMETROS
RI1	No busca reducir el impacto ambiental
RI2	Minimiza de forma errónea
RI3	Busca asesoramiento
RI4	Implementa otras medidas de reducción
RI5	Cuenta con estudios de EIA

CUADRO 92. Matriz de comparación de pares

Parámetros	RI1	RI2	RI3	RI4	RI5
RI1	1.00	3.00	4.00	5.00	7.00
RI2	0.33	1.00	2.00	3.00	5.00
RI3	0.25	0.50	1.00	3.00	5.00
RI4	0.20	0.33	0.33	1.00	3.00
RI5	0.14	0.20	0.20	0.33	1.00

CUADRO 93. Matriz de normalización de pares

Parámetros	RI1	RI2	RI3	RI4	RI5	Vector de priorización
RI1	0.519	0.596	0.531	0.405	0.333	0.477
RI2	0.173	0.199	0.265	0.243	0.238	0.224
RI3	0.130	0.099	0.133	0.243	0.238	0.169
RI4	0.104	0.066	0.044	0.081	0.143	0.088
RI5	0.074	0.040	0.027	0.027	0.048	0.043

CUMPLE NORMATIVA AMBIENTAL Y DE CULTURA

CUADRO 94. Nomenclatura del parámetro

CODIGO	PARÁMETROS
CN1	No cumple con normativas vigentes
CN2	Desconoce de la normativa
CN3	Cumple parcialmente
CN4	Cumple con normativa desactualizada
CN5	Cumple a totalidad con normativa vigente

CUADRO 95. Matriz de comparación de pares

Parámetros	CN1	CN2	CN3	CN4	CN5
CN1	1.00	2.00	4.00	5.00	7.00
CN2	0.50	1.00	3.00	4.00	5.00
CN3	0.25	0.33	1.00	3.00	5.00
CN4	0.20	0.25	0.33	1.00	3.00
CN5	0.14	0.20	0.20	0.33	1.00

CUADRO 96. Matriz de normalización de pares

Parámetros	CN1	CN2	CN3	CN4	CN5	Vector de priorización
CN1	0.478	0.529	0.469	0.375	0.333	0.437
CN2	0.239	0.264	0.352	0.300	0.238	0.279
CN3	0.119	0.088	0.117	0.225	0.238	0.158
CN4	0.096	0.066	0.039	0.075	0.143	0.084
CN5	0.068	0.053	0.023	0.025	0.048	0.043

4.6 ESTRATIFICACIÓN DEL NIVEL DE VULNERABILIDAD

CUADRO 97. Estratificación de la vulnerabilidad

NIVEL	DESCRIPCION
MUY ALTA	Este nivel está determinado por considerar una población que recurre o transita por el área de estudio de más de 50/día a demás no existen vías o medios de comunicación, no cuenta con sistemas de alerta, señalización y no cuenta con protocolos frente a desastres naturales, en cuanto a la infraestructura la sub estación 138 Kv se considera este nivel si se encuentra a una distancia menores a 10 metros del área de influencia del peligro del cerro El Calvario, con materiales de construcción inapropiados, es del tipo externo sin protección, con un tipo de distribución de transmisión mayor a 230 Kv, no cuenta con obras complementarias de protección y no cuenta con protocolos de seguridad ni realiza mantenimiento. Respecto al medio ambiente impacta a especies endémicas, dispone los residuos sólidos en cauces o ríos y quebradas, genera energía por medio de combustibles fósiles, no busca reducir el impacto ambiental, no cumple con normativas vigentes de medio ambiente ni de cultura.
ALTA	Este nivel está determinado por un tránsito de personas de entre 40 a 50 aproximadamente, se tiene la existencia de caminos peatonales, solo cuenta con señalización ante eventos de desastres naturales, en cuanto a la infraestructura la sub estación 138 Kv se considera este nivel si se encuentra a una distancia entre 10 a 20 metros del área de influencia del peligro del cerro El Calvario, con materiales de construcción inapropiados, es del tipo externo sin protección, con un tipo de distribución de sub trasmisión de entre 115 Kv y 230 Kv, solo cuenta con vallas de protección, Desconoce los protocolos no realiza mantenimiento, respecto al medio ambiente impacta especies de flora y fauna dentro del área de estudio, quema sus residuos sólidos, genera energía por biomasa, minimiza el impacto ambiental de forma errónea, desconoce de normativas de medio ambiente y cultura.
MEDIA	Este nivel está determinado por un tráfico de personas de entre 30 a 40 por día, existe una vía del tipo trocha, y cuenta con señalización y zonas de evacuación, en cuanto a la infraestructura la sub estación 138 Kv se considera este nivel si se encuentra a una distancia entre 20 a 30 metros del área de influencia del peligro del cerro El Calvario, con materiales de construcción de adobe u otro similar, del tipo externo protegido precariamente, con un tipo de distribución primaria de < 115 Kv, cuenta con obras de protección como vallas, gaviones y drenes, Conoce superficialmente, realiza mantenimiento en plazos de tiempo muy largos, en cuanto al medio ambiente impacta regularmente, desecha en vías o calles, genera energía geotérmica, busca asesoramiento sobre reducción de impacto ambiental y cumple parcialmente las normativas sobre medio ambiente y cultura.
BAJA	Este nivel está determinado por un tráfico de personas que varía de menos de 30/día, se tiene la existencia de vías afirmada o asfaltadas, red ferroviaria y una red de caminos, también cuenta con sistema de alerta mediante sirenas en caso de caídas, o deslizamientos, tiene zonas de evacuación y señalización de varios puntos, en cuanto a la infraestructura la sub estación 138 Kv se considera este nivel si se encuentra muy lejano o fuera del área de influencia del peligro del cerro El Calvario, con materiales de construcción de concreto y acero, del tipo interno protegido o subterráneo o externo protegido precariamente, con un tipo de distribución secundaria de < 115 Kv, cuenta con obras de protección como vallas, enrocados, gaviones, enmallados y anclajes en roca, cumple con el Reglamento Interno de Seguridad y Salud en el Trabajo de EGEMSA y realiza mantenimiento periódico o permanente, en cuanto al medio ambiente el impacto ambiental que genera es mínimo o nulo, sus residuos sólidos clasifica y reutiliza, genera energía 100% limpia y renovable, cuenta con estudios de impacto ambiental, cumple a totalidad las normativas vigentes respecto a medio ambiente y cultura.

4.7 NIVELES DE VULNERABILIDAD

Los niveles de vulnerabilidad, resultan del procesamiento de la información en formato Shp – GIS, de cada una de las dimensiones económica, social y ambiental, de las cuales se han dado como resultado los 04 niveles por defecto. En la Imagen 33 se muestra el mapa de Vulnerabilidad correspondiente a la Sub estación 138 Kv, tomando como unidad representativa un polígono debido a su configuración compleja de elementos, teniendo en cuenta que los elementos que lo componen son los mismos, en base a las características y parámetros para vulnerabilidad, la sub estación 138 Kv tiene un nivel bajo. principalmente por su infraestructura de acero en un 99% y otros elementos menos vulnerables desde el análisis de Fragilidad Económica. **(Ver Lamina MP – 14, Mapas temáticos)**

CUADRO 98. Niveles de vulnerabilidad

NIVEL	RANGO
MUY ALTO	0.266 ≤ V < 0.492
ALTO	0.137 ≤ V < 0.266
MEDIO	0.069 ≤ V < 0.137
BAJO	0.036 ≤ V < 0.069

4.8 MAPA DE VULNERABILIDAD ANTE DESLIZAMIENTO

IMAGEN 32. Mapa de vulnerabilidad ante deslizamientos



CAPITULO V: CÁLCULO DEL RIESGO

Una vez identificado y analizado el peligro a los que está expuesta la Sub Estación 138 Kv, mediante el nivel de susceptibilidad ante deslizamientos y movimientos en masa y los umbrales de precipitación, y la evaluación de los respectivos parámetros de evaluación del peligro por deslizamiento e identificado la exposición ante el peligro y realizado el respectivo análisis de los componentes que inciden en la vulnerabilidad en sus componentes de exposición, fragilidad y resiliencia, la identificación de los elementos potencialmente vulnerables, el tipo y nivel de daños que se puedan presentar, se procede a la conjunción de éstos para determinar el nivel de riesgo.

5.1 METODOLOGÍA PARA EL CÁLCULO DEL RIESGO

IMAGEN 33. Fórmula para determinar el nivel del riesgo

$$R_{ie} | t = f(P_i, V_e) | t$$

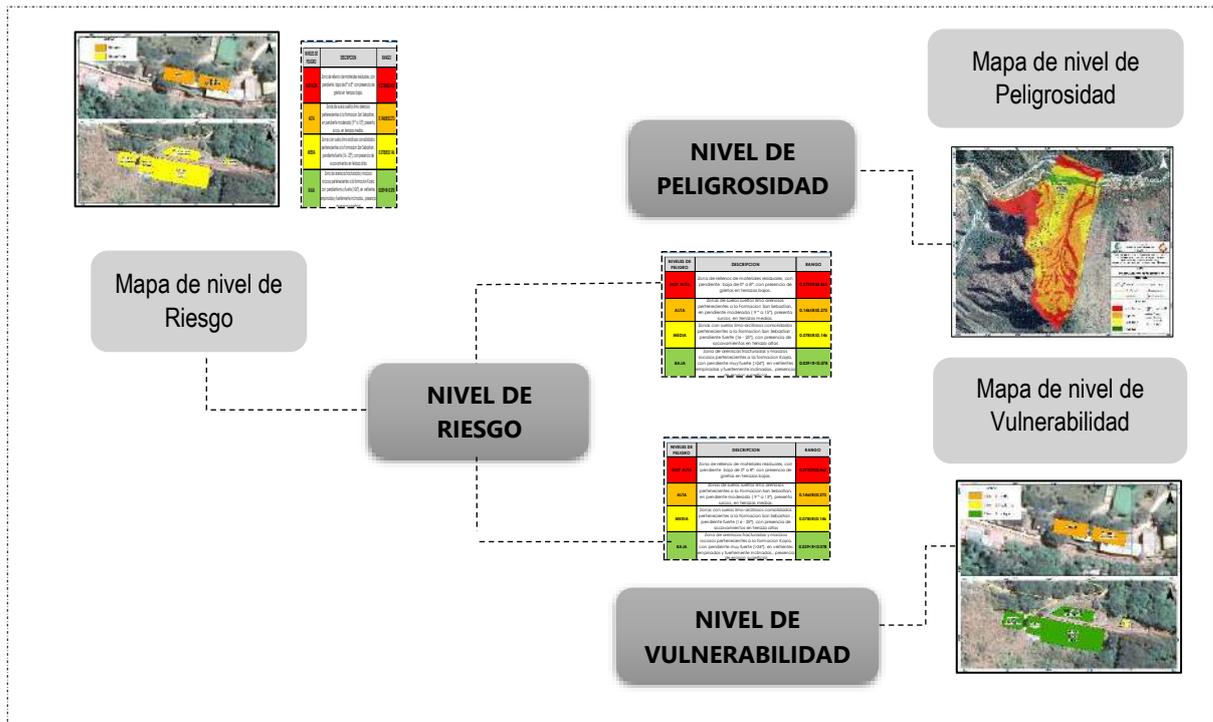
Dónde:

R= Riesgo.
 f= En función
 P_i =Peligro con la intensidad mayor o igual a i durante un período de exposición t
 V_e = Vulnerabilidad de un elemento expuesto

Fuente: CENEPRED

5.2 SECUENCIA METODOLOGÍA PARA LA ZONIFICACIÓN DE NIVELES DE RIESGO

GRÁFICO 6: porcentaje de nivel de vulnerabilidad



5.3 MATRIZ DE RIESGOS

CUADRO 99. Matriz de riesgo.

PMA	0.490	0.034	0.067	0.130	0.241
PA	0.262	0.018	0.036	0.070	0.129
PM	0.139	0.010	0.019	0.037	0.069
PB	0.072	0.005	0.010	0.019	0.035
		0.069	0.137	0.266	0.492
		VB	VM	VA	VMA

5.4 NIVELES DEL RIESGO

CUADRO 100. Niveles de riesgo

NIVEL DE RIESGO	RANGO	$\leq R <$	RANGO
MUY ALTO	0.070	$\leq R <$	0.241
ALTO	0.019	$\leq R <$	0.070
MEDIO	0.005	$\leq R <$	0.019
BAJO	0.001	$\leq R <$	0.005

5.5 ESTRATO NIVEL DE RIESGO POR DESLIZAMIENTO

CUADRO 101. Estratificación del riesgo por deslizamiento.

NIVEL	DESCRIPCION
MUY ALTO	<p>Zonas cuya susceptibilidad está condicionada litológicamente por fragmentos de roca granítica y depósito coluvio aluvial, con valores mayores a 64% de índice topográfico de humedad, con pendiente empinadas a escarpadas mayores a 37° con geoformas de vertientes de deslizamientos, todos ellos desencadenadas por precipitaciones pluviales de acuerdo a los umbrales de precipitación se considera como muy lluvioso con rango de 28,0 mm < RR ≤ 43,8 mm, con parámetros de evaluación de volumen de material mayores a 250,000 m³</p> <p>Este nivel está determinado por considerar una población que recurre o transita por el área de estudio de más de 50/día a demás no existen vías o medios de comunicación, no cuenta con sistemas de alerta, señalización y no cuenta con protocolos frente a desastres naturales, en cuanto a la infraestructura la sub estación 138 Kv se considera este nivel si se encuentra a una distancia menores a 10 metros del área de influencia del peligro del cerro El Calvario, con materiales de construcción inapropiados, es del tipo externo sin protección, con un tipo de distribución de transmisión mayor a 230 Kv, no cuenta con obras complementarias de protección y no cuenta con protocolos de seguridad ni realiza mantenimiento. Respecto al medio ambiente impacta a especies endémicas, dispone los residuos sólidos en cauces o ríos y quebradas, genera energía por medio de combustibles fósiles, no busca reducir el impacto ambiental, no cumple con normativas vigentes de medio ambiente ni de cultura.</p>
ALTO	<p>Zonas cuya susceptibilidad está condicionada litológicamente por depósito coluvio deluvial, con valores de 48% a 64% de índice topográfico de humedad, con pendiente moderadamente empinadas de 27° a 37° con geoformas de vertientes coluvio deluvial, todos ellos desencadenadas por precipitaciones pluviales de acuerdo a los umbrales de precipitación se considera como muy lluvioso con rango de 28,0 mm < RR ≤ 43,8 mm, con parámetros de evaluación de volumen de material mayores a 250,000 m³</p> <p>Este nivel está determinado por un tránsito de personas de entre 40 a 50 aproximadamente, se tiene la existencia de caminos peatonales, solo cuenta con señalización ante eventos de</p>

NIVEL	DESCRIPCION
	<p>desastres naturales, en cuanto a la infraestructura la sub estación 138 Kv se considera este nivel si se encuentra a una distancia entre 10 a 20 metros del área de influencia del peligro del cerro El Calvario, con materiales de construcción inapropiados, es del tipo externo sin protección, con un tipo de distribución de sub transmisión de entre 115 Kv y 230 Kv, solo cuenta con vallas de protección, Desconoce los protocolos no realiza mantenimiento, respecto al medio ambiente impacta especies de flora y fauna dentro del área de estudio, quema sus residuos sólidos, genera energía por biomasa, minimiza el impacto ambiental de forma errónea, desconoce de normativas de medio ambiente y cultura.</p>
MEDIO	<p>Zonas cuya susceptibilidad está condicionada litológicamente por afloramientos de roca granítica, con valores de 32% - 48% de índice topográfico de humedad, con pendiente fuertemente inclinada de 15° a 27° con geoformas de piedemonte, todos ellos desencadenadas por precipitaciones pluviales de acuerdo a los umbrales de precipitación se considera como muy lluvioso con rango de 28,0 mm<RR≤43,8 mm, con parámetros de evaluación de volumen de material mayores a 250,000 m³</p> <p>Este nivel está determinado por un tráfico de personas de entre 30 a 40 por día, existe una vía del tipo trocha, y cuenta con señalización y zonas de evacuación, en cuanto a la infraestructura la sub estación 138 Kv se considera este nivel si se encuentra a una distancia entre 20 a 30 metros del área de influencia del peligro del cerro El Calvario, con materiales de construcción de adobe u otro similar, del tipo externo protegido precariamente, con un tipo de distribución primaria de < 115 Kv, cuenta con obras de protección como vallas, gaviones y drenes, Conoce superficialmente, realiza mantenimiento en plazos de tiempo muy largos, en cuanto al medio ambiente impacta regularmente, desecha en vías o calles, genera energía geotérmica, busca asesoramiento sobre reducción de impacto ambiental y cumple parcialmente las normativas sobre medio ambiente y cultura.</p>
BAJO	<p>Zonas cuya susceptibilidad está condicionada litológicamente por depósito aluvio fluvial y material fluvial, con valores menores a 32% de índice topográfico de humedad, con pendiente moderadamente empinadas a llanas menores a 15° con geoformas de llanura aluvial y rio o afluente, todos ellos desencadenadas por precipitaciones pluviales de acuerdo a los umbrales de precipitación se considera como muy lluvioso con rango de 28,0 mm<RR≤43,8 mm, con parámetros de evaluación de volumen de material mayores a 250,000 m³</p> <p>Este nivel está determinado por un tráfico de personas que varía de menos de 30/día, se tiene la existencia de vías afirmada o asfaltadas, red ferroviaria y una red de caminos, también cuenta con sistema de alerta mediante sirenas en caso de caídas, o deslizamientos, tiene zonas de evacuación y señalización de varios puntos, en cuanto a la infraestructura la sub estación 138 Kv se considera este nivel si se encuentra muy lejano o fuera del área de influencia del peligro del cerro El Calvario, con materiales de construcción de concreto y acero, del tipo interno protegido o subterráneo o externo protegido precariamente, con un tipo de distribución secundaria de < 115 Kv, cuenta con obras de protección como vallas, enrocados, gaviones, enmallados y anclajes en roca, cumple con el Reglamento Interno de Seguridad y Salud en el Trabajo de EGEMSA y realiza mantenimiento periódico o permanente, en cuanto al medio ambiente el impacto ambiental que genera es mínimo o nulo, sus residuos sólidos clasifica y reutiliza, genera energía 100% limpia y renovable, cuenta con estudios de impacto ambiental, cumple a totalidad las normativas vigentes respecto a medio ambiente y cultura.</p>

5.6 MAPA DEL RIESGO POR DESLIZAMIENTO

IMAGEN 34. Mapa de riesgo originado por deslizamiento



La imagen 35 muestra el mapa de riesgo, resultante de la interpolación y cálculos estadísticos – aritméticos de los valores de Peligro y de Vulnerabilidad, resultando un nivel de Riesgo medio a Eventos de Deslizamientos y caída de rocas. **(Ver Lamina MP – 15, Mapas temáticos)**

5.7 CÁLCULO DE EFECTOS PROBABLES (DAÑOS Y PERDIDAS)

En esta parte de la evaluación, se estiman los efectos probables que podrían generarse afectación en la parte física de la Sub estación 138 Kv.

El desarrollo de cálculo de probables Daños y Pérdidas comprende el análisis en un escenario al que se ha denominado Situación sin Medidas de Reducción de Riesgo S/MRR, para el cual la metodología consistió en la determinación de los elementos expuestos (de acuerdo al mapa de riesgo) y su valorización por los niveles Muy Alto, Alto, Medio y Bajo

5.7.1 DETERMINACIÓN Y VALORIZACIÓN DE LOS ELEMENTOS EXPUESTOS POR PROBABLES EFECTOS EN DAÑOS Y PERDIDAS

Para este análisis se toma en cuenta los costos dados por el ministerio de vivienda para costos por regiones.



CUADRO 102. Costos Unitarios de Infraestructura de edificaciones

Tipo de edificación	Muros y columnas	Techos	Pisos	Puertas y ventanas	Revestimientos	Baños	Instalaciones eléctricas y sanitarias	Costo parcial por m2
Edificación de adobe	S/ 188.84	S/ 102.17	S/ 26.88	S/ 31.38	S/ 55.99	S/ 8.71	S/ 34.07	S/ 448.04
Edificación de concreto armado	S/ 358.95	S/ 215.68	S/ 120.11	S/ 210.72	S/ 198.63	S/ 49.70	S/ 52.41	S/ 1,206.20
Edificación de bloqueta y ladrillo	S/ 240.55	S/ 102.17	S/ 26.88	S/ 31.38	S/ 75.37	S/ 8.71	S/ 52.41	S/ 537.47
Edificación precaria	S/ 69.38	S/ 37.48	S/ 5.91	S/ 15.69	S/ 0.00	S/ 8.71	S/ 20.07	S/ 157.24

5.7.2 ANÁLISIS DE PERDIDAS PROBABLES

Los elementos expuestos son cuantificados y valorizados en base a los mapas de vulnerabilidad tanto en cantidad y los costos se obtienen en base a los cuadros de resumen de análisis de valores unitarios oficiales para materiales de construcción y materiales usados en la infraestructura.

CAPÍTULO VI: CONTROL DEL RIESGO

6.1 CONTROL DE RIESGOS.

6.1.1 VALORACIÓN DE LAS CONSECUENCIAS

En consideración a lo expuesto, el peligro por deslizamiento que está asociado a fenómenos hidrometeorológicos y de geodinámica externa en zonas susceptibles, afectará a todos los elementos expuestos como población, vivienda e infraestructura dentro del área de estudio correspondiente a la Sub estación 138 Kv y sus componentes:

- ❖ Barra de Interconexión I fase.
- ❖ Bahía de equipos conexión unidad G1 a barra (Interruptor, seccionadores, cables)
- ❖ Bahía de equipos conexión unidad G2 a barra (Interruptor, seccionadores, cables)
- ❖ Bahía de equipos conexión unidad G3 a barra (Interruptor, seccionadores, cables).
- ❖ Banco de Transformadores
 - Transformador de potencia trifásico Unidad G1.
 - Transformador de potencia trifásico Unidad G2.
 - Transformador de potencia trifásico Unidad G3.
- ❖ Transformador de Potencia trifásico Localidad Quillabamba.
- ❖ Bahía de equipos Línea L-1001 (Interruptor, seccionadores, cables, TC's, TP's).
- ❖ Bahía de equipos Línea L-1002 (Interruptor, seccionadores, cables TC's, TP's).
- ❖ Bahía Salida a Quillabamba
- ❖ Pórticos.
- ❖ Edificio Sala de Mandos.
- ❖ Interconexión II fase a I fase (Bahía 60LRB – Interruptor, seccionadores, cables, TC's, TP's).
- ❖ Sistema de detección y protección contra incendios.
- ❖ Equipamiento de control, mando y protección integrado (SCADA).
- ❖ Galería de cables y Cables de conexión.

CUADRO 103. Valoración de las consecuencias

Valor	Niveles	Descripción
4	Muy alta	La consecuencia debido al impacto de un fenómeno natural es catastrófica e inminente, requiere reubicar a la brevedad.
3	Alta	Las consecuencias debido al impacto de un fenómeno natural pueden ser gestionadas con apoyo externo.
2	Media	Las consecuencias debido al impacto de un fenómeno natural son moderados y pueden ser gestionadas con los recursos disponibles.
1	Baja	Las consecuencias debido al impacto de un fenómeno natural son mínimos y pueden ser gestionados sin dificultad.

Fuente: CENEPRED.

6.2 VALORACIÓN DE FRECUENCIA DE RECURRENCIA

Según la evaluación la frecuencia de la recurrencia del fenómeno hidrometeorológico y de geodinámica externa no es recurrente, por lo que la valoración de la frecuencia de recurrencia en la zona corresponde al nivel MEDIA, es decir, podría ocurrir en periodos de tiempos largos según las circunstancias (lluvias extremas o prolongadas con periodos de retorno largos), sismos de gran magnitud y con antecedentes de su ocurrencia con anterioridad, además se describe en la siguiente matriz.

CUADRO 104. Valoración de frecuencias de recurrencia

Valor	Niveles	Descripción
4	Muy alta	Podría ocurrir en la mayoría de las circunstancias, y ocurre en periodos de tiempo muy cortos.
3	Alta	Podría ocurrir en periodos de tiempo medianamente largos según las circunstancias, no es constante, por tratarse de lluvias extraordinarias.
2	Media	Podría ocurrir en periodos de tiempo largos según las circunstancias.
1	Baja	Podría ocurrir en circunstancias excepcionales y en tiempos muy largos.

Fuente: CENEPRED.

6.3 NIVEL DE CONSECUENCIA Y DAÑO

El nivel MEDIO se obtiene al interceptar en la matriz de doble entrada la consecuencia de nivel MEDIA y frecuencia de nivel MEDIA, los cuales se obtienen de los cuadros de valoración de frecuencias y consecuencias.

CUADRO 105. Nivel de consecuencia y daño

CONSECUENCIAS	NIVEL	ZONAS DE CONSECUENCIAS Y DAÑOS			
Muy alta	4	Alta	Muy alta	Muy alta	Muy alta
Alta	3	Alta	Alta	Alta	Muy alta
Media	2	Media	Media	Alta	Alta
Baja	1	Baja	Media	Alta	Alta
	NIVEL	1	2	3	4
	FRECUENCIA	BAJA	MEDIA	ALTA	MUY ALTA

Fuente: CENEPRED

6.4 ACEPTABILIDAD Y/O TOLERANCIA.

Del análisis de consecuencia y daño que corresponde al nivel **MEDIO**, este nivel se proyecta en la matriz de aceptabilidad y tolerancia, obteniendo el valor 02 como nivel o **RIESGO, TOLERABLE**, en la que se **deben desarrollar actividades para el MANEJO DE RIESGO (obras, proyectos, estructuras, etc.)**, en sectores identificados como prioritarios a su intervención.

CUADRO 106. Aceptabilidad y/o tolerancia del riesgo

Valor	Niveles	Descripción
4	Inadmisible	Se debe aplicar inmediatamente medidas de control físico y de ser posible transferir inmediatamente recursos económicos para reducir los riesgos
3	Inaceptable	Se debe desarrollar actividades INMEDIATAS Y PRIORITARIAS para el manejo de los riesgos, que corresponden EGEMSA y las entidades publicas y privadas.
2	Tolerable	Se debe desarrollar actividades para el manejo de riesgo (obras, proyectos, estructuras, etc)
1	Aceptable	Riesgo no presenta un peligro significativo.

Fuente: CENEPRED

6.5 MATRIZ DEL NIVEL DE ACEPTABILIDAD Y/O TOLERANCIA DEL RIESGO

Como se identifica el **RIESGO TOLERABLE**, por consiguiente, se determina el **NIVEL MEDIO** en la matriz de aceptabilidad y tolerancia del riesgo por deslizamientos.

CUADRO 107. Nivel de aceptabilidad y/o tolerancia del riesgo
NIVEL DE ACEPTABILIDAD Y TOLERANCIA DEL RIESGO

Riesgo inaceptable	Riesgo inadmisible	Riesgo inadmisible	Riesgo inadmisible
Riesgo inaceptable	Riesgo inaceptable	Riesgo inaceptable	Riesgo inadmisible
Riesgo tolerable	Riesgo tolerable	Riesgo inaceptable	Riesgo inaceptable
Riesgo aceptable	Riesgo tolerable	Riesgo inaceptable	Riesgo inaceptable

Fuente: CENEPRED

6.6 PRIORIDAD DE INTERVENCIÓN

De acuerdo al análisis establecido se ha determinado que el riesgo es **TOLERABLE**, por el cual la priorización para la intervención será de **NIVEL III TOLERABLE**, requiere una intervención periódica mas no de forma inmediata.

CUADRO 108. Prioridad de intervención

VALOR	DESCRIPTOR	NIVEL DE PRIORIZACION
4	Inadmisible	I
3	Inaceptable	II
2	Tolerable	III
1	Aceptable	IV

Fuente: CENEPRED

En el control del riesgo por deslizamientos, se deben desarrollar actividades **PROGRESIVAS** para la prevención y/o reducción del riesgo de desastres, como estabilización de laderas, desarrollando la política de estado en la **reducción de las vulnerabilidades** por parte de EGEMSA y la población involucrada, con finalidad de asegurar y proteger los bienes materiales de la Empresa.

6.7 MEDIDAS DE PREVENCIÓN Y REDUCCIÓN DEL RIESGO.

La autoridad competente (responsable) y la población involucrada, deberá utilizar el presente informe de evaluación de riesgo, según lo estipulado en la normatividad vigente, con la finalidad de prevenir y/o reducir los riesgos identificados en la Evaluación de riesgo.

6.7.1 MEDIDAS DE REDUCCIÓN DEL RIESGO

6.7.1.1 MEDIDAS DE REDUCCIÓN ESTRUCTURAL:

- i. Dentro del ámbito de intervención existen diferentes obras ingenieriles implementadas con anterioridad frente a eventos de deslizamientos, caída de roca y flujos de suelo, estas obras comprenden la implementación de vallas metálicas, mallas olímpicas, pernos de anclaje, gavioneria, enrocados, concreto proyectado (Shotcrete), y drenes. (Ver Imagen 36).
- ii. Mediante el análisis de un mapa de Aspecto (Aspect) se determinó los sectores a priorizar en base al cartografiado en campo y la dirección de las pendientes para observar la tendencia de dirección que existe dentro del área de estudio frente a eventos de movimiento en masa (Deslizamiento, Caída de roca y flujo de suelo), considerando como zonas prioritarias de intervención los sectores con presencia de rocas cartografiadas y que se ubican en dirección a la Sub Estación 138 Kv. (Ver Imagen 37).
- iii. En base al mapa de aspecto y al cartografiado geológico de áreas inestables susceptibles a caída de rocas, se considera sectores para su inmediata intervención con enmallados, implementación de pernos de anclaje y voladura controlada. A continuación, se muestra en la Imagen 37 el mapa de áreas críticas por caída de roca. (Ver Imagen 38).

IMAGEN 35. Obras estructurales existentes

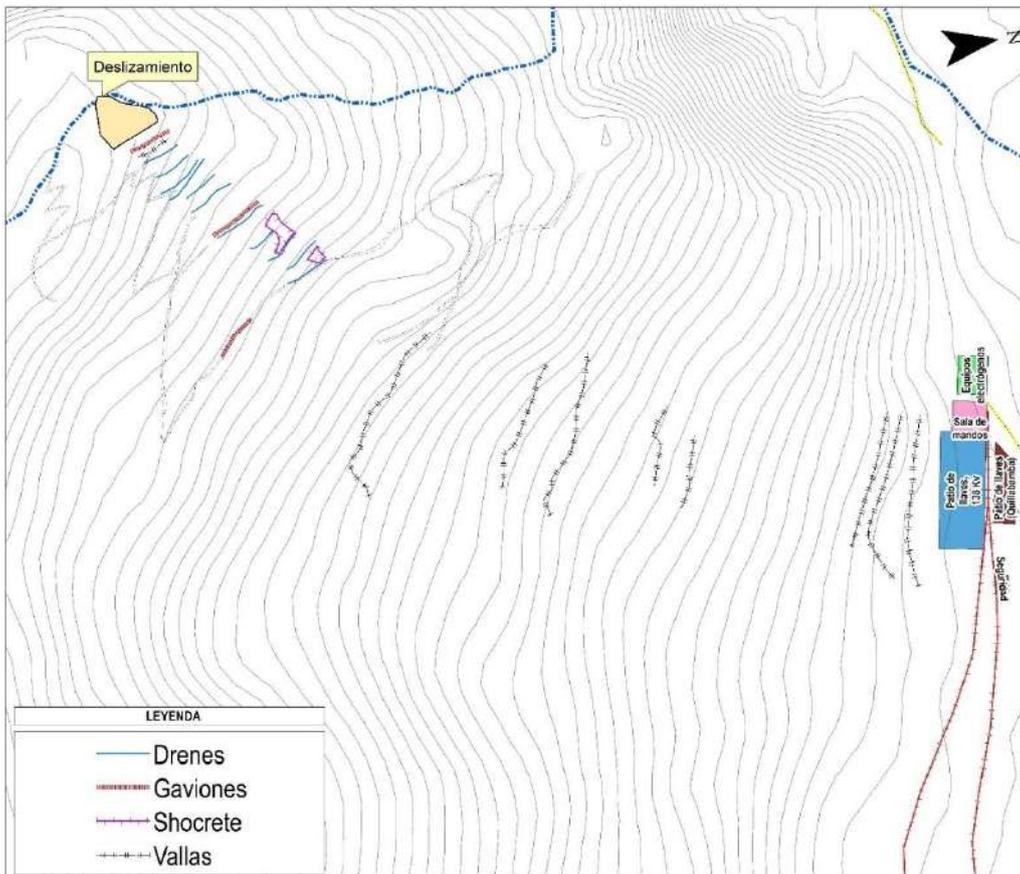


IMAGEN 36. Mapa de aspecto y dirección de pendientes

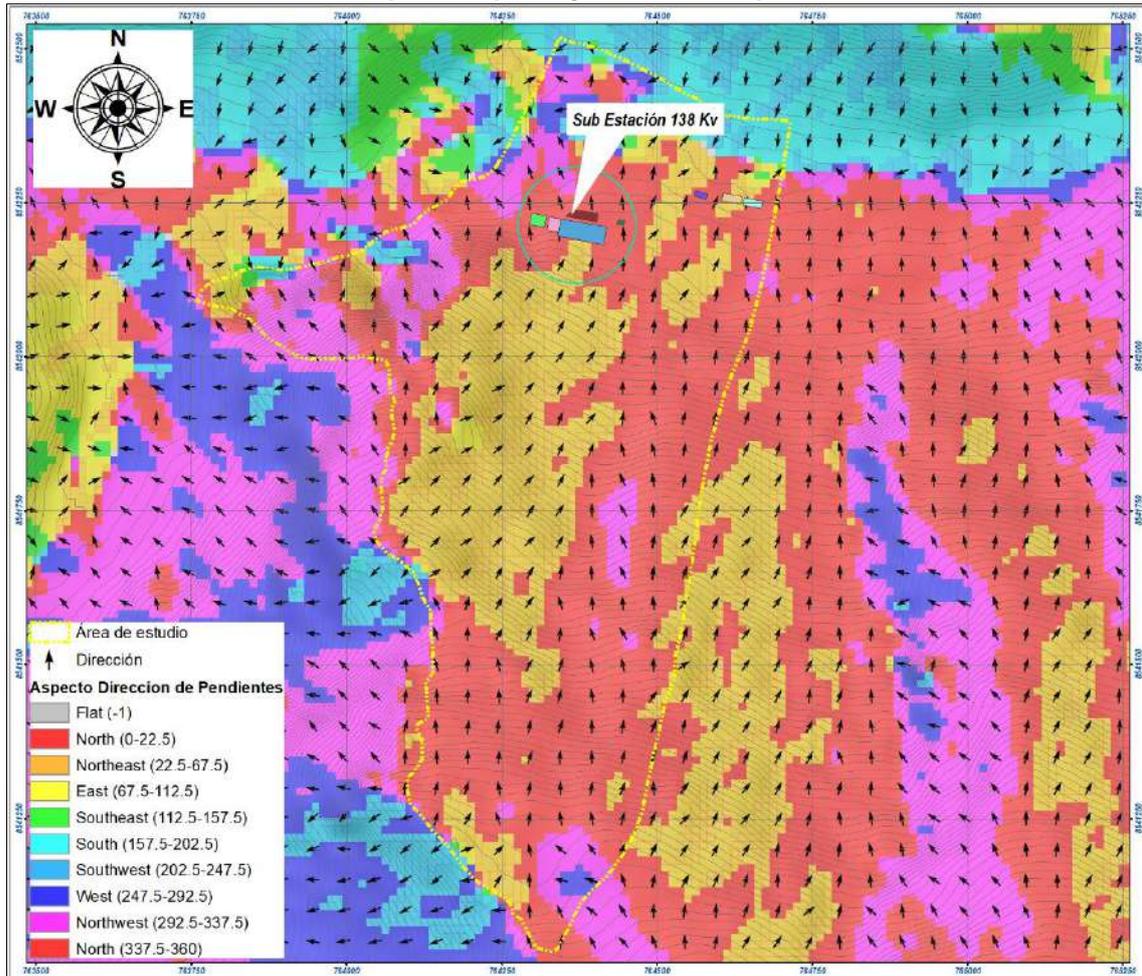
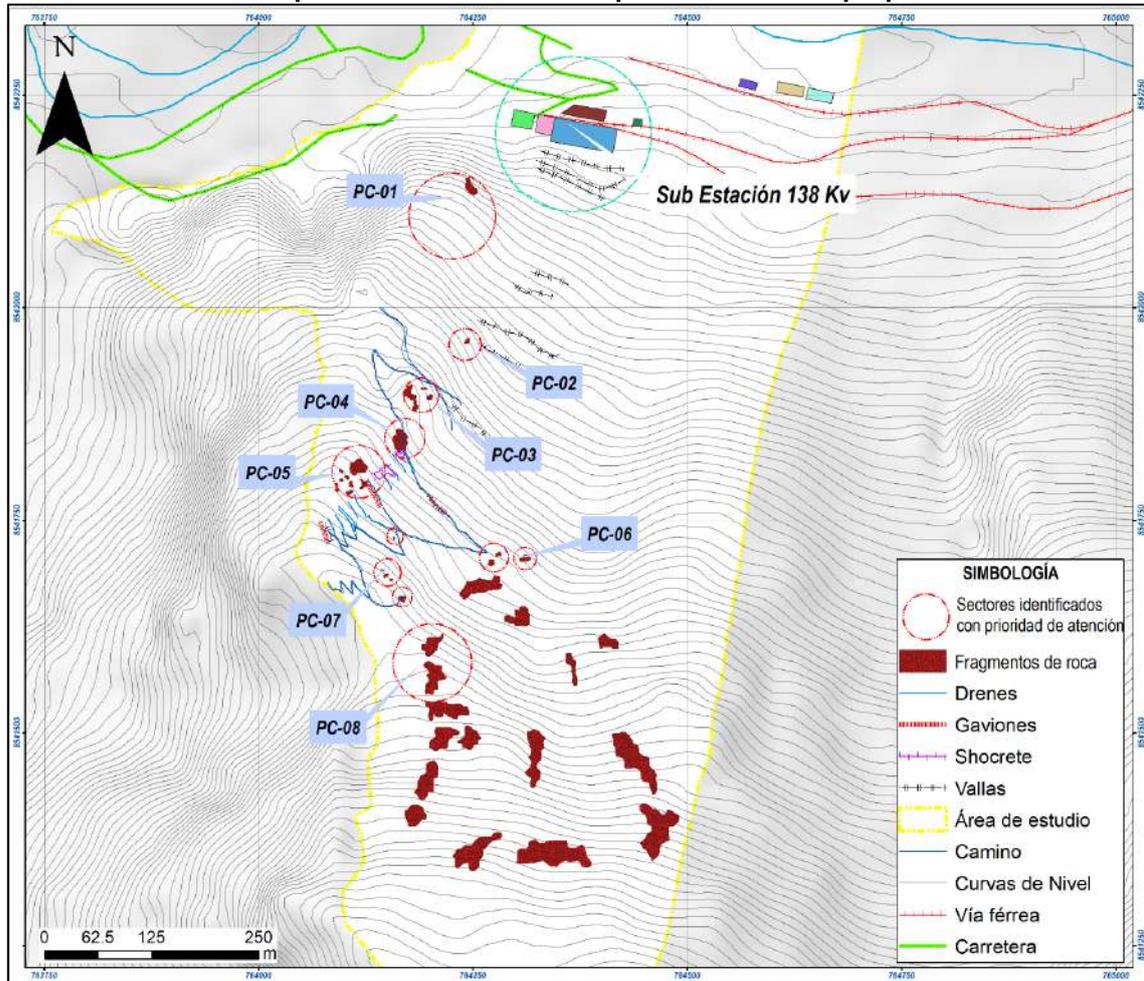
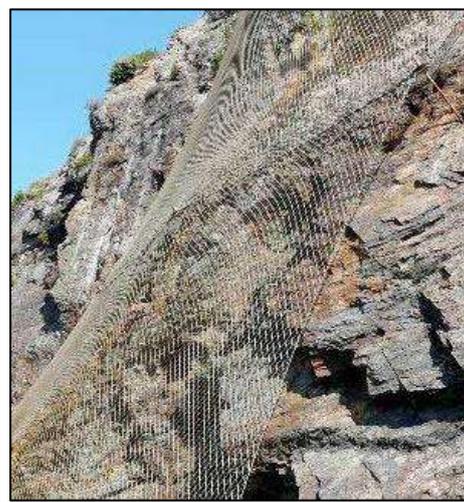


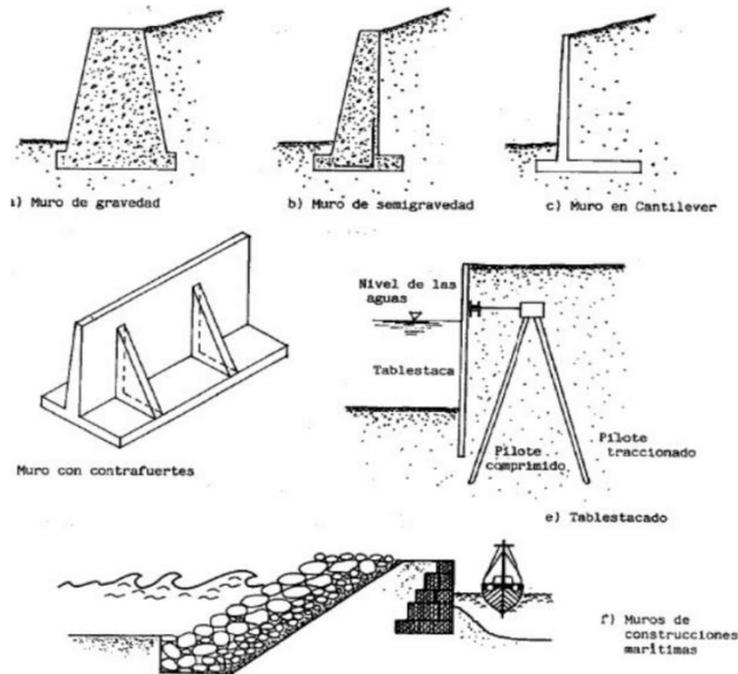
IMAGEN 37. Mapa de áreas identificadas para las acciones propuestas.



- i. Efectuar la impermeabilización de los afloramientos rocoso ubicados hacia la cabecera del polígono que comprende el área definida para el estudio, zonas donde se originan eventos de Deslizamientos, fracturamiento y posterior caída de rocas y generación de flujos, todo ello a partir de la infiltración del agua proveniente de precipitaciones pluviales, además se propone implementar recubrimientos con shotcrete, lechadas de concreto y recubrimiento con geomallas.



- ii. Implementar proyecto de creación de muro de contención (concreto armado u otro) con una altura superior a la de los componentes principales de la Sub estación 138 Kv, como medida de protección a la estructura.



6.7.2 MEDIDAS DE REDUCCIÓN NO ESTRUCTURAL:

- i. Realizar el desquinche y/o voladura controlada de fragmentos de roca identificados como críticos en la imagen 37.
- ii. Realizar el mantenimiento e inspección periódica de obras y elementos ingenieriles existentes y proyectados, para asegurar un funcionamiento eficiente.

CONCLUSIONES

1. Se realizó la evaluación de riesgos para el área de estudio que comprende el Cerro El Calvario con un área de 59.32 Hectáreas, considerando como elemento expuesto de estudio la Sub estación 138 Kv de la Central Hidroeléctrica de Machupicchu.
2. Se identificaron y cartografiaron los elementos condicionantes para de deslizamientos, y caída de rocas, identificando las pendientes, las unidades litológicas, Índice topográfico de humedad, y las unidades geomorfológicas.
3. El índice topográfico de humedad estimado muestra zonas con presencia y acumulación de humedad y agua, principalmente hacia la cabecera del área de estudio, la margen derecha y hacia zonas más bajas donde se ubica el nivel freático como nivel base el río Urubamba el cual se comprueba mediante la tomografía geoeléctrica.
4. Los resultados de 660 m de tomografía eléctrica resistiva han permitido interpretar a zonas de baja resistividad como roca con alto grado de fracturamiento que se hallan a más de 10 m de profundidad y con saturación de agua, zonas de mediana resistividad como roca poco fracturada y depósitos cuaternarios (coluvio aluviales, deluviales) ubicados entre la superficie y 3.5 m de espesor, y zonas de alta resistividad como el basamento rocoso poco alterado. Esta información permite evidenciar que los materiales potencialmente inestables son superficiales (1m a 3 m de la superficie).
5. Los resultados de prospección geofísica sísmica han permitido interpretar la presencia de tres estratos o tipos de suelo/roca, la zona superficial conformado por suelo y rocas no consolidadas hasta profundidades de 10 metros en sus espesores más potentes, el segundo nivel conformado por rocas fracturadas con espesores de hasta 20 metros, el tercer nivel conformado por un basamento rocoso fracturado, que son concordantes con los resultados de prospección Geoeléctrica, confirmando que la susceptibilidad de eventos geodinámicos externos son superficiales.
6. Según los ensayos de MASW se determinó la velocidad de propagación de ondas de corte en los 30 metros superficiales Vs (30) encontrándose en un rango de 427 m/s a 519 m/s, que estaría entre un S1 y S2 de suelos densos que corresponden a rocas fracturadas según la NTP y los datos que se resaltan la densidad oscilan en un rango de 2.5 ton/m³ a 2.6 ton/m³, que son indicativos que los suelos cuaternarios son compactos.
7. De los ensayos de micro trepidaciones se determinó las frecuencias pico y periodo fundamental de sitio que según la NTP el área está en un rango de 0.1 a 0.7 segundos que corresponde a un tipo de suelo S2 de rocas fracturadas.
8. Se identifica como factor desencadenante las precipitaciones pluviales, considerando datos meteorológicos históricos de la estación Machupicchu, con valores de precipitación mayores a 43.8 mm por día, lo que se representa 1314 mm de precipitación mensual, además se generó isoyetas de precipitación en función de las estaciones Huyro, Quillabamba, Ocobamba y Machupicchu.
9. Respecto a la geomecánica asociada a la neotectónica de la zona, se identifican fallas en cuña, este comportamiento se evidencia en varios sectores principalmente en zonas de cabecera, los cuales dan origen a deslizamientos según el análisis estructural, además a ello se integra el sistema de fallas con dirección NNW – SSE y las fallas inferidas con dirección E – W.
10. La susceptibilidad está condicionada por la litología, pendientes, unidades geomorfológicas y el índice topográfico de humedad, desencadenado por precipitaciones pluviales extraordinarias, los cuales determinan niveles Muy altos y Altos en el ámbito de intervención.
11. Se determinó el peligro por DESLIZAMIENTOS desencadenado por precipitaciones y grado de fracturamiento del macizo rocoso en el Cerro El Calvario, determinando 04 niveles dentro del área de estudio los cuales son Muy alto, Alto, Medio y Bajo.
12. Se realizó el análisis de peligro considerando las obras estructurales existentes, observándose una reducción en los niveles de peligro a lo largo de la ubicación de los mismos, concluyendo que la Sub Estación 138 Kv se encuentra en un nivel de Peligro **MEDIO**.

13. El análisis de la vulnerabilidad se analizó tomando como unidad base el polígono que comprende la Sub estación 138 Kv y sus componentes: sala de mandos, equipos electrógenos, patio de llaves Quillabamba y sumado a ellos áreas ubicadas dentro del ámbito de intervención como el almacén y tanques de combustible, concluyendo que el Nivel de Vulnerabilidad que presenta la Sub Estación 138 Kv presenta un Nivel de Vulnerabilidad **BAJO**.
14. El nivel de riesgo se identifican 02 niveles, Alto y Medio, concluyendo que la Subestación 138 Kv se encuentra en un Nivel de Riesgo **MEDIO** frente a eventos de deslizamiento caída de roca y flujos de suelo.
15. Respecto al control del riesgo se considera el Riesgo **TOLERABLE** según el análisis de la aceptabilidad y/o tolerancia, además con nivel de priorización **III**; considerando implementar obras en sectores sin intervención identificados en el presente documento técnico.
16. Las medidas de prevención y reducción de riesgos esta propuesta de acuerdo a los niveles de peligro Medio, Vulnerabilidad Baja y Riesgo Medio determinados en la Evaluación de riesgo del Cerro El Calvario y de la Sub Estación 138 Kv.
17. Se concluye realizar el tratamiento prioritario de afloramientos rocosos ubicados hacia la cabecera del área de intervención definida, debido a que son área donde se generan deslizamientos de roca y posteriormente los bloques deslizados sumados a la meteorización de la roca y agentes erosivos como son las precipitaciones y la gravedad, dan lugar a flujos de suelo y posteriores eventos de caída de rocas.

RECOMENDACIONES

A la Empresa de Generación Eléctrica Machupicchu S.A.- EGEMSA

1. Continuar con medidas de protección en sectores o puntos específicos identificados en el Mapa MP-16, con prioridad a intervención, con implementación de enmallados y colocación de pernos de anclaje y con reforzamiento de concreto.
2. Impermeabilizar afloramientos rocosos ubicados hacia la cabecera del ámbito de intervención mediante recubrimiento con concreto lanzado (shotcrete), lechadas de concreto y recubrimiento con geomallas.
3. Realizar el desquinche y/o voladura controlada de fragmentos de roca susceptibles a caída de roca identificados en el mapa MP-16, según la opinión técnica de un especialista en el tema.
4. Realizar el mantenimiento e inspección periódica de obras y elementos ingenieriles existentes y proyectados. (Drenes, Mallas, Gaviones, etc.) para garantizar su funcionalidad.
5. Implementar proyecto de creación de muro de contención (concreto armado u otro) con una altura superior a la de los componentes principales de la Sub estación 138 Kv.
6. Elaborar e implementar el plan de contingencias por Lluvias Intensas en el cerro El Calvario.
7. Elaborar e implementar el plan de contingencias por caída de rocas en las instalaciones del patio de llaves y asociados.
8. Elaborar e implementar el plan de contingencias ante incendios forestales, para lo cual será importante coordinaciones con otras entidades y población aledaña.
9. La construcción de infraestructura próximo al patio de llaves y zonas expuestas con el objetivo de disipar la energía y efectos directos sobre equipos y elementos de transmisión de energía eléctrica. Entre ellos se puede mencionar muros de concreto armado con una altura que supere los 8m con capacidad de resistencia a impactos de hasta 6E-6 Joules, mallas disipadoras de impactos, y paralelamente colocar zonas de atenuación de caída de bloques grandes que pueden llegar a llegar hacia el patio de llaves consistentes en apilamiento de llantas usadas a la altura de las mallas para que se disipe la energía de saltos y evitar que lleguen al patio de llaves.
10. Teniendo un periodo de recurrencia de catorce años de eventos geodinámicos que llegaron a afectar infraestructura de transmisión de energía eléctrica y otros, será recomendable: Prever la protección de los equipos y maquinaria con riesgo de sufrir impactos por caída de bloques y/o fragmentos de roca.
11. Realizar actividades de forestación y reforestación en el cerro El Calvario, con plantas nativas de la zona, con el objetivo de estabilizar el suelo y formar barreras vivas en la zona.

BIBLIOGRAFÍA

- CENEPRED (2020). Lineamientos para la elaboración del informe de evaluación del riesgo de desastres en proyectos de infraestructura educativa
- INGEMMET Mapa geológico a escala 1: 50 000, del cuadrángulo 28s
- Instituto Nacional de Estadística e Informática; Censo Poblacional. Año 2007.
- Imágenes satelitales disponibles en el Google Earth de diferentes años (hasta el 2017).
- <http://webinei.inei.gob.pe/nino/index.php/welcome/getInicio#>
- Centro Nacional De Estimación, Prevención Y Reducción Del Riesgo De Desastres (CENEPRED), 2014. Manual Para La Evaluación De Riesgos Originados Por Fenómenos Naturales, 2da Versión.
- Instituto Nacional De Estadística E Informática (INEI). (2015). Sistema De Información Estadístico De Apoyo A La Prevención A Los Efectos Del Fenómeno De El Niño Y Otros Fenómenos Naturales.
- Centro Nacional De Estimación, Prevención Y Reducción Del Riesgo De Desastres (CENEPRED) 2014, Ley 29664 Ley Que Crea El Sistema Nacional De Gestión De Riesgo De Desastres (SINAGERD).
- Centro Nacional De Estimación, Prevención Y Reducción Del Riesgo De Desastres (CENEPRED) 2014, Ley 29869 De Reasentamiento Poblacional.
- Geología del Cuadrángulo de Cusco, hoja 27-q, escala 1:50,000, (INGEMMET, 201).
- Datos históricos de precipitaciones pluviales máximas de 24 horas SENAMHI- Estación Machupicchu.
- Umbrales y precipitaciones absolutas, SENAMHI (2014).
- Deslizamientos de tierra y su control: manual para ingenieros y geólogos" de Víctor Miguel Ponce y Prabhata K. Swamee.
- García-Beltrán, J.A. (2008). Deslizamientos de tierra: causas, prevención y control. Servicio de Publicaciones de la Universidad de Murcia.
- Pita de la Paz, L.C., & Fernández Toraño, A. (2010). Deslizamientos de tierra: reconocimiento, evaluación y prevención. Instituto Geológico y Minero de España.
- Peláez, M.L. (2015). Deslizamientos de tierra en la ingeniería civil: evaluación y prevención. Ediciones Universidad de Salamanca.
- Fernández-Miranda, A., & García-Beltrán, J.L. (2016). Deslizamientos de tierra en áreas de montaña: causas, prevención y mitigación. Servicio de Publicaciones de la Universidad de Oviedo.