

ESTUDIO DE EVALUACIÓN DE RIESGO DE DESASTRES ANTE INUNDACIÓN FLUVIAL EN LAS INSTALACIONES DE LA EMPRESA DE GENERACIÓN ELÉCTRICA MACHUPICHU S.A. – EGEMSA (KM 122)

Elaborado para:



NOVIEMBRE - 2025

INDICE


1. CAPITULO I: ASPECTOS GENERALES	12
1.1. OBJETIVOS	12
1.1.1. OBJETIVO GENERAL	12
1.1.2. OBJETIVO ESPECIFICO	12
1.2. FINALIDAD	12
1.3. JUSTIFICACIÓN	13
1.4. ALCANCE DEL ESTUDIO	13
1.5. ANTECEDENTES	16
1.5.1. SUSCEPTIBILIDAD DEL AREA DE ESTUDIO ANTE PELIGROS POR FENÓMENOS HIDROMETEOROLÓGICOS SEGÚN SIGRID	19
1.6. MARCO NORMATIVO	20
1.6.1. EN GESTION DE RIESGOS DE DESASTRES	20
1.6.2. NORMATIVA SECTORIAL Y TECNICA COMPLEMENTARIA	21
1.6.3. NORMATIVA INSTITUCIONAL VIGENTE	21
1.7. TERMINOLOGÍAS BÁSICAS	23
1.8. LIMITACIONES DEL ESTUDIO	26
1.9. METODOLOGÍA UTILIZADA EN EL EVAR	28
1.9.1. METODOLOGÍA	28
1.9.2. FASES DE LA EVALUACIÓN DE RIESGOS	29
1.9.3. HERRAMIENTAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA UTILIZADAS	29
1.9.4. FUENTES DE INFORMACIÓN DE HIDROLOGÍA	29
2. CAPITULO II: SITUACIÓN GENERAL DEL ÁMBITO DE ESTUDIO	30
2.1. CARACTERÍSTICAS GENERALES	30
2.1.1. UBICACIÓN	30
2.1.2. VÍAS DE ACCESO	32
2.2. CARACTERÍSTICAS SOCIALES DEL ÁMBITO DE ESTUDIO	34
2.2.1. POBLACIÓN	34
2.2.2. ESTRUCTURAS PROVISIONALES DEL COMERCIO	34
2.2.3. MÓDULOS DE VIGILANCIA DE EGEMSA	34
2.3. CONDICIONES FÍSICAS DEL ÁREA DE ESTUDIO	34
2.3.1. UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS LOCALES	34
2.3.2. UNIDADES GEOLÓGICAS LOCALES	43
2.3.3. PENDIENTES COMO FACTOR CONDICIONANTE DEL PELIGRO	51
2.3.4. CONDICIONES CLIMÁTICAS	55
2.3.5. HIDROLOGÍA	56
2.4. LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO	83
2.4.1. METODOLOGÍA DEL LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO	83
2.4.2. RECONOCIMIENTO DE LA ZONA DE ESTUDIO	84
2.4.3. EQUIPOS UTILIZADOS	84
2.4.4. CONFIGURACIÓN DE PLAN DE VUELO	84
2.4.5. EJECUCION DEL VUELO FOTOGRAFICO CON DRONE – TRABAJO DE CAMPO	86
2.4.6. TRABAJO DE GABINETE	88
2.4.7. RESULTADOS	89
3. DETERMINACIÓN DEL NIVEL DE PELIGRO	91
3.1. CLASIFICACIÓN DE PELIGROS	91
3.2. METODOLOGÍA PARA LA DETERMINACIÓN DE PELIGRO	91

3.3.	RECOPIACIÓN Y ANÁLISIS DE INFORMACIÓN	93
3.4.	IDENTIFICACION DEL PROBABLE ÁREA DE INFLUENCIA.....	94
3.5.	IDENTIFICACION DEL TIPO DE PELIGRO A EVALUAR	97
3.6.	CARACTERIZACIÓN DEL PELIGRO.....	98
3.6.1.	VERIFICACIÓN DE LA OCURRENCIA DE PELIGROS EN EL ÁREA DE ESTUDIO	98
3.6.2.	PELIGRO POR INUNDACIÓN	98
3.7.	SIMULACIÓN DE INUNDACIÓN FLUVIAL.....	100
3.7.1.	SIMULACIÓN DE FLUJO.....	100
3.7.2.	CALIBRACIÓN DEL MODELO DE FLUJO.....	101
3.7.3.	SIMULACIÓN DE ELEVACIÓN DIGITAL	102
3.7.4.	MALLADO NUMÉRICO	103
3.7.5.	CONDICIONES INICIALES DE FRONTERA.....	105
3.7.6.	DETERMINACIÓN DEL NÚMERO DE CURVA.....	106
3.7.7.	DETERMINACIÓN DEL COEFICIENTE DE MANNING	106
3.7.8.	CONFIGURACIÓN DEL FLUJO	109
3.7.9.	DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DEL FLUJO.....	110
3.7.10.	PARAMETRIZACIÓN DEL TIPO DE FLUJO	110
3.7.11.	RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN	112
3.8.	TABLA METODOLÓGICA DE LA ASIGNACIÓN DE CATEGORÍAS DE LOS PARÁMETROS PARA EL ANÁLISIS DEL PELIGRO	136
3.9.	PONDERACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE EVALUACIÓN.....	137
3.10.	SUSCEPTIBILIDAD DEL ÁMBITO GEOGRÁFICO MATERIA DE ESTUDIO: FACTORES CONDICIONANTES Y DESENCADENANTE.....	138
3.10.1.	PONDERACIÓN DE FACTOR DESENCADENANTE.....	139
3.10.2.	PONDERACIÓN DE FACTORES CONDICIONANTES.....	140
3.11.	SÍNTESIS DEL ANÁLISIS DEL PELIGRO	143
3.12.	PROCEDIMIENTO PARA LA DEFINICIÓN DE ZONAS DE PELIGRO.....	143
3.13.	DEFINICIÓN DE ESCENARIO	145
3.14.	NIVEL DE PELIGRO.....	145
3.14.1.	ESTRATIFICACIÓN DEL PELIGRO.....	147
3.14.2.	ANÁLISIS DE ELEMENTOS EXPUESTOS	149
4.	ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD	167
4.1.	METODOLOGÍA DEL ANÁLISIS DE LA VULNERABILIDAD	167
4.2.	ANÁLISIS DE LAS DIMENSIONES DE LA VULNERABILIDAD.....	168
4.2.1.	FACTORES DE LA VULNERABILIDAD	168
4.2.2.	DIMENSIÓN SOCIAL.....	171
4.2.3.	DIMENSIÓN ECONÓMICA	173
4.2.4.	DIMENSIÓN AMBIENTAL.....	178
4.2.5.	CÁLCULO DE LA VULNERABILIDAD.....	183
4.2.6.	DETERMINACIÓN DEL NIVEL DE VULNERABILIDAD.....	183
4.2.7.	ESTRATIFICACIÓN DE LA VULNERABILIDAD	185
4.2.8.	MAPA DE ZONIFICACIÓN DEL NIVEL DE VULNERABILIDAD	187
5.	ANÁLISIS DE RIESGOS	188
5.1.	METODOLOGÍA PARA LA DETERMINACIÓN DEL RIESGO.....	188
5.2.	PROCESO DE INTEGRACIÓN PELIGRO * VULNERABILIDAD.....	189
5.2.1.	CRUCE DE VARIABLES Y ELABORACIÓN DE MATRICES.....	189
5.2.2.	NIVELES DE RIESGOS	190
5.3.	TABLA METODOLÓGICA DE LA ASIGNACIÓN DE CATEGORÍAS DE RIESGO	190
5.4.	ZONIFICACIÓN DEL RIESGO.....	191
5.5.	ESTRATIFICACIÓN DE RIESGOS	192
5.5.1.	LAS VARIABLES CLAVE INTEGRADAS INCLUYE LA ESTRATIFICACIÓN:.....	192

5.6.	MAPA ZONIFICACIÓN RIESGOS	195
5.7.	CÁLCULO DE LOS EFECTOS PROBABLES (CUALITATIVA Y CUANTITATIVA).....	200
5.7.1.	CUALITATIVA	200
5.7.2.	CUANTITATIVA.....	200
5.8.	RESUMEN DE ESCENARIOS DE DAÑO	202
5.9.	ANÁLISIS COSTO BENEFICIO	203
5.9.1.	BENEFICIOS DE LA APLICACIÓN DE MEDIDAS ESTRUCTURALES	206
6.	CONTROL DE RIESGO.....	208
6.1.	CONTROL DEL RIESGO	208
6.1.1.	VALORACIÓN DE CONSECUENCIAS	208
6.1.2.	VALORACIÓN DE FRECUENCIA DE OCURRENCIA	208
6.1.3.	MATRIZ DE CONSECUENCIA Y DAÑOS	208
6.1.4.	MEDIDAS CUALITATIVAS DE CONSECUENCIA Y DAÑOS	209
6.1.5.	ACEPTABILIDAD Y/O TOLERANCIA DEL RIESGO	209
6.1.6.	MATRIZ DE ACEPTABILIDAD Y/O TOLERANCIA DEL RIESGO	209
6.1.7.	PRIORIDAD DE INTERVENCIÓN	210
7.	MEDIDAS DE PREVENCIÓN Y REDUCCIÓN DEL RIESGO	211
7.1.	MEDIDAS DE PREVENCIÓN Y REDUCCIÓN DE RIESGOS DE DESASTRES	211
7.1.1.	MEDIDAS DE ORDEN ESTRUCTURAL DE REDUCCIÓN DE RIESGOS	211
7.1.2.	MEDIDAS DE ORDEN NO ESTRUCTURAL.....	250
8.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	254
8.1.	CONCLUSIONES	254
8.2.	RECOMENDACIONES	262
9.	BIBLIOGRAFÍA	266
10.	ANEXOS	268
10.1.	SECCIÓN 602 GAVIONES.....	268
10.2.	FICHA VULNERABILIDAD.....	273

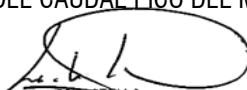
Mapas

MAPA N° 1: UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	31
MAPA N° 2: UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS LOCALES.....	42
MAPA N° 3: UNIDADES GEOLÓGICAS LOCALES	50
MAPA N° 4: PENDIENTES	54
MAPA N° 5A: ALTURA INUNDACIÓN (M) PARA TR 200 AÑOS.....	133
MAPA N°5B: VELOCIDAD INUNDACIÓN (M/S) PARA TR 200 AÑOS.	134
MAPA N° 6: CAUDAL MÁXIMO UNITARIO (M3/S) PARA TR 200 AÑOS.	135
MAPA N° 7: NIVELES DE PELIGRO.....	148
MAPA N° 8: MAPA DE ELEMENTOS EXPUESTOS	165
MAPA N° 9: MAPA DE ESTADO ACTUAL DE OBRAS	166
MAPA N° 10: VULNERABILIDAD	187
MAPA N° 11: NIVELES DE RIESGOS	195
MAPA N° 11 A: NIVELES DE RIESGOS	196
MAPA N° 11 B: NIVELES DE RIESGOS	197
MAPA N° 11 C: NIVELES DE RIESGOS	198
MAPA N° 12: MEDIDAS ESTRUCTURALES.....	253


 LESLIE STELLA
 DE LA CRUZ MARCELO
 INGENIERA CIVIL
 Reg. CIP N° 151547

Cuadros

CUADRO N°1: COORDENADAS DEL ÁMBITO DE ESTUDIO	14
CUADRO N°2: COORDENADAS DEL TRAMO DEL MODELO POR INUNDACIÓN FLUVIAL	14
CUADRO N°3: ESTRUCTURAS Y MÓDULOS	15
CUADRO N°4: ANTECEDENTES DE EMERGENCIAS EN EL DISTRITO DE MACHUPICCHU 2020 – 2023	17
CUADRO N°5: COORDENADAS DEL ÁMBITO DE ESTUDIO	30
CUADRO N°6: ACCESO DESDE PLAZA DE ARMAS DE CUSCO HACIA LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA	32
CUADRO N°7: UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS RECONOCIDAS EN LA ZONA DE ESTUDIO.	35
CUADRO N°8: CLASIFICACIÓN DE UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS SEGÚN SU IMPACTO EN LA DINÁMICA DEL CAUCE	41
CUADRO N°9: TABLA COMPARATIVA DE VULNERABILIDAD DE UNIDADES GEOLÓGICAS.	49
CUADRO N°10: CLASIFICACIÓN DE PENDIENTES, ÁREA DE ESTUDIO.	53
CUADRO N°11: PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS DE LAS CUENCAS INCIDENTES AL ÁREA DE ESTUDIO	56
CUADRO N°12: PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS DE FORMA DE LA CUENCA DEL RÍO VILCANOTA	57
CUADRO N°13: PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS DE RELIEVE DE LA CUENCA DEL RÍO VILCANOTA.....	57
CUADRO N°14: PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS LA RED DE DRENAJE DE LA CUENCA DEL RÍO VILCANOTA	58
CUADRO N°15: CARACTERÍSTICAS DE LAS ESTACIONES PLUVIOMÉTRICAS DISPONIBLES EN EL ÁREA DE ESTUDIO	63
CUADRO N°16: TEMPERATURA MÁXIMA Y MÍNIMA PROMEDIOS MULTIMENSUALES – ESTACIÓN MACHUPICHU	64
CUADRO N°17: PRECIPITACIÓN MÁXIMA DIARIA DE LA ESTACIÓN MACHUPICCHU (1964-2024).....	67
CUADRO N°18: CAUDAL MÁXIMO DIARIO DE LA ESTACIÓN EGEMSA KM 105 (1985-2024)	69
CUADRO N°19: UMBRALES DE PRECIPITACIÓN PARA LA ESTACIÓN MACHUPICCHU	71
CUADRO N°20: ESTADÍSTICAS DEL ANÁLISIS DE VALORES ATÍPICOS	73
CUADRO N°21: FUNCIONES DE PROBABILIDAD DE MEJOR AJUSTE Y Δ MÁX TEÓRICO	73
CUADRO N°22: PRECIPITACIONES MÁXIMAS DE DISEÑO PARA DIFERENTES PERIODOS DE RETORNO	74
CUADRO N°23: TEST ESTADÍSTICO DE TENDENCIAS DE CAUDALES MÁXIMOS DIARIOS A ESCALA ANUAL – ESTACIÓN EGEMSA KM 105	77
CUADRO N°24: TEST ESTADÍSTICO DE TENDENCIAS DE CAUDALES MÁXIMOS DIARIOS A ESCALA ANUAL – ESTACIÓN EGEMSA KM 105	77
CUADRO N°25: PERSISTENCIA DE CAUDALES MÁXIMOS DIARIOS MENSUALES PARA UN AÑO HIDROLÓGICO PROMEDIO – ESTACIÓN EGEMSA KM 105	78
CUADRO N°26: ESTADÍSTICAS DEL ANÁLISIS DE VALORES ATÍPICOS	79
CUADRO N°27: FUNCIONES DE PROBABILIDAD DE MEJOR AJUSTE Y Δ MÁX TEÓRICO	79
CUADRO N°28: CAUDALES MÁXIMOS DE DISEÑO PARA DIFERENTES PERIODOS DE RETORNO	79
CUADRO N°29: CURVA NÚMERO DETERMINADOS PARA LAS CUENCAS DE ESTUDIO	80
CUADRO N°30: PARÁMETROS DE CÁLCULO DEL CAUDAL PICO DEL MÉTODO DEL SCS	82


LESLY STELLA
DE LA CRUZ MARCELO
INGENIERA CIVIL
Reg. CIP N° 151547

CUADRO N°31: ESFUERZO CORTANTE Y VISCOSIDAD.....	111
CUADRO N°33: MATRIZ DE COMPARACIÓN DE PARES DEL PARÁMETRO DE EVALUACIÓN ALTURA DE AGUA. 137	
CUADRO N°34: MATRIZ DE NORMALIZACIÓN DEL PARÁMETRO DE EVALUACIÓN ALTURA DE AGUA.	137
CUADRO N°35: MATRIZ DE COMPARACIÓN DE PARES DEL PARÁMETRO DE EVALUACIÓN VELOCIDAD DE AGUA (M/S)	138
CUADRO N°36: MATRIZ DE NORMALIZACIÓN DEL PARÁMETRO DE EVALUACIÓN VELOCIDAD DE AGUA (M/S) 138	
CUADRO N°37: MATRIZ DE COMPARACIÓN DE PARES DEL PARÁMETRO CAUDAL MÁXIMO TR 200 AÑOS. 139	
CUADRO N°38: MATRIZ DE NORMALIZACIÓN DEL PARÁMETRO CAUDAL MÁXIMO TR 200 AÑOS.	139
CUADRO N°39: PONDERACIÓN DE LOS PARÁMETROS CONDICIONANTES	140
CUADRO N°40.: MATRIZ DE NORMALIZACIÓN DE PARES DE LOS PARÁMETROS CONDICIONANTES.....	140
CUADRO N°41: MATRIZ DE COMPARACIÓN DE PARES DEL PARÁMETRO UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS. 140	
CUADRO N°42: MATRIZ DE NORMALIZACIÓN DEL PARÁMETRO UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS.	141
CUADRO N°43: MATRIZ DE COMPARACIÓN DE PARES DEL PARÁMETRO UNIDADES GEOLÓGICAS	141
CUADRO N°44: MATRIZ DE NORMALIZACIÓN DE PARES DEL PARÁMETRO UNIDADES GEOLÓGICAS.....	142
CUADRO N°45: MATRIZ DE COMPARACIÓN DE PARES DEL PARÁMETRO PENDIENTES DEL TERRENO.	142
CUADRO N°46: MATRIZ DE NORMALIZACIÓN DEL PARÁMETRO PENDIENTES DEL TERRENO.....	142
CUADRO N°47: NIVELES DE PELIGRO	145
CUADRO48: ANÁLISIS JERÁRQUICO PARA LA OBTENCIÓN DE LOS VALORES DEL PELIGRO.....	146
CUADRO N°49: ESTRATIFICACIÓN DEL NIVEL DE PELIGROS	147
CUADRO N°50: OBRAS DE PROTECCIÓN EXISTENTE.....	156
CUADRO N°51: VÍAS LOCALES EN EL ÁREA DE ESTUDIO	157
CUADRO N°52: PONDERACIÓN DE LAS DIMENSIONES.....	170
CUADRO N°53.: MATRIZ DE NORMALIZACIÓN DE PARES DEL PARÁMETRO CANTIDAD DE PERSONAS.....	170
CUADRO N°54: PARÁMETRO DE LA DIMENSIÓN SOCIAL.	171
CUADRO N°55: MATRIZ DE COMPARACIÓN DE PARES DEL PARÁMETRO CANTIDAD DE PERSONAS	171
CUADRO N°56: MATRIZ DE NORMALIZACIÓN DE PARES DEL PARÁMETRO CANTIDAD DE PERSONAS.....	171
CUADRO N°57: MATRIZ DE COMPARACIÓN DE PARES DEL PARÁMETRO NIVEL DE ORGANIZACIÓN.....	172
CUADRO N°58: MATRIZ DE NORMALIZACIÓN DE PARES DEL PARÁMETRO NIVEL DE ORGANIZACIÓN.	172
CUADRO N°59: MATRIZ DE COMPARACIÓN DE PARES DEL PARÁMETRO CAPACITACIÓN EN RIESGOS DE DESASTRES.....	172
CUADRO N°60: MATRIZ DE NORMALIZACIÓN DE PARES DEL PARÁMETRO CAPACITACIÓN EN RIESGOS DE DESASTRES.....	173
CUADRO N° 61. PARÁMETRO DE LA DIMENSIÓN ECONÓMICA.....	173
CUADRO N°62: MATRIZ DE COMPARACIÓN DE PARES DEL PARÁMETRO DISTANCIA.	174

CUADRO N°63: MATRIZ DE NORMALIZACIÓN DE PARES DEL PARÁMETRO DISTANCIA.....	174
CUADRO N°64: MATRIZ DE COMPARACIÓN DE PARES DEL PARÁMETRO MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN.	175
CUADRO N°65: MATRIZ DE NORMALIZACIÓN DE PARES DEL PARÁMETRO MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN.	175
CUADRO N°66: MATRIZ DE COMPARACIÓN DE PARES DEL PARÁMETRO ESTADO DE CONSERVACIÓN	175
CUADRO N°67: MATRIZ DE NORMALIZACIÓN DE PARES DEL PARÁMETRO ESTADO DE CONSERVACIÓN ..	176
CUADRO N°68: MATRIZ DE COMPARACIÓN DE PARES DEL PARÁMETRO CUMPLIMIENTO DEL RNE.....	176
CUADRO N°69: MATRIZ DE NORMALIZACIÓN DE PARES DEL PARÁMETRO CUMPLIMIENTO DEL RNE.	176
CUADRO N°70: DESCRIPTORES PARA EL ANÁLISIS DEL PARÁMETRO PROTOCOLOS DE SEGURIDAD Y MANTENIMIENTO	177
CUADRO N°71: MATRIZ DE COMPARACIÓN DE PARES DEL PARÁMETRO OBRAS	177
CUADRO N°72: MATRIZ DE NORMALIZACIÓN DE PARES DEL PARÁMETRO OBRAS	177
CUADRO N°73: DESCRIPTORES PARA EL ANÁLISIS DEL PARÁMETRO PROTOCOLOS DE SEGURIDAD Y MANTENIMIENTO	177
CUADRO N°74: MATRIZ DE COMPARACIÓN DE PARES DEL PARÁMETRO OBRAS	178
CUADRO N°74.1: MATRIZ DE NORMALIZACIÓN DE PARES DEL PARÁMETRO OBRAS.....	178
CUADRO N°75: PARÁMETRO DE LA DIMENSIÓN AMBIENTAL.....	179
CUADRO N°76: MATRIZ DE COMPARACIÓN DE PARES DEL PARÁMETRO	180
CUADRO N°77: MATRIZ DE NORMALIZACIÓN DE PARES DEL PARÁMETRO.....	180
CUADRO N°78: MATRIZ DE COMPARACIÓN DE PARES DEL PARÁMETRO SERVICIO DE DISPOSICIÓN FINAL DE RESIDUOS SÓLIDOS.	181
CUADRO N°79: MATRIZ DE NORMALIZACIÓN DE PARES DEL PARÁMETRO SERVICIO DE DISPOSICIÓN FINAL DE RESIDUOS SÓLIDOS	181
CUADRO N°80: MATRIZ DE COMPARACIÓN DE PARES DEL PARÁMETRO CONOCIMIENTO DE CONSERVACIÓN AMBIENTAL	182
CUADRO N°81: MATRIZ DE NORMALIZACIÓN DE PARES DEL PARÁMETRO CONOCIMIENTO DE ACTIVIDADES DE CONSERVACIÓN AMBIENTAL.....	182
CUADRO N°82: NIVELES DE VULNERABILIDAD.....	183
CUADRO N°83: CALCULO DE LOS NIVELES DE VULNERABILIDAD	184
CUADRO N°84: ESTRATIFICACIÓN DE VULNERABILIDAD.....	185
CUADRO N°85: INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	186
CUADRO N°86: CUADROS DE NIVELES UTILIZADOS PARA LA DETERMINACIÓN DE NIVELES DE RIESGOS.	189
189	
CUADRO N°87: MATRIZ DE RIESGO.	189
CUADRO N°88: NIVELES DE RIESGO	190
CUADRO N°89: METODOLOGÍA PARA ASIGNACIÓN DE CATEGORÍAS DE LOS PARÁMETROS	190
CUADRO N°90: ZONIFICACIÓN DE RIESGO POR INUNDACIÓN.....	191
CUADRO N°91: ESTRATIFICACIÓN DE RIESGO	193

CUADRO N°92: RIESGOS A NIVEL DE INFRAESTRUCTURA	199
CUADRO N°93: COSTOS UNITARIOS DE INFRAESTRUCTURA DE EDIFICACIONES	200
CUADRO N°94: DAÑOS Y PERDIDAS PROBABLES	201
CUADRO N°95: PRESUPUESTO 01 - MEDIDAS ESTRUCTURALES CONSIDERANDO LA ALTERNATIVA 1 (CON MURO DE CONCRETO ARMADO).....	203
CUADRO N°96: PRESUPUESTO 02 - MEDIDAS ESTRUCTURALES CONSIDERANDO LA ALTERNATIVA 2 (MURO DE GAVIONES CON UÑA ANTISOCAVANTE Y ENROCADO)	204
CUADRO N°97: VALORACIÓN DE CONSECUENCIAS.....	208
CUADRO N°98: VALORACIÓN DE LA FRECUENCIA DE OCURRENCIA.....	208
CUADRO N°99: NIVEL DE CONSECUENCIA Y DAÑOS.	208
CUADRO N°100: MEDIDAS CUALITATIVAS DE CONSECUENCIA Y DAÑOS.....	209
CUADRO N°101: NIVEL DE ACEPTABILIDAD Y/O TOLERANCIA.....	209
CUADRO N°102: NIVEL DE ACEPTABILIDAD Y/O TOLERANCIA.....	209
CUADRO N°103: PRIORIDAD DE INTERVENCIÓN	210
CUADRO N°104: PRESUPUESTO 01, ESTIMADOS DE LOS SECTORES EVALUADOS CONSIDERANDO LA ALTERNATIVA 1 EN TRAMO 1A-1.....	247
CUADRO N°105: PRESUPUESTO 02, ESTIMADOS DE LOS SECTORES EVALUADOS – ALTERNATIVA 2 EN TRAMO 1A-1.....	248

Figuras

Figura N° 1: Ubicación Del Área De Estudio, Áreas De Influencia E Infraestructura Critica.....	13
Figura N° 2: Susceptibilidad A Inundación Por Lluvias Intensas	19
Figura N° 3: Susceptibilidad A Inundación Fluvial	19
Figura N° 4: Accesibilidad Al Área De Estudio Por Carretera	32
Figura N° 5: Accesibilidad Al Área De Estudio Por Carretera Y Riel	32
Figura N° 6: Vista De Montaña En Roca Intrusiva Granítica.	35
Figura N° 7: Vista De Ladera De Pendiente Moderada En Roca Intrusiva.	36
Figura N° 8: Vista De Canal De Flujo De Detritos.	37
Figura N° 9: Vista Del Cauce Fluvial Del Rio Vilcanota.	37
Figura N° 10: Vista Panorámica De Terraza Fluvial.	38
Figura N° 11: Vista Panorámica De Abanico De Piedemonte.....	39
Figura N° 12: Izquierda; Vista De Afloramiento Con Presencia De Fracturas Paralelas. Derecha; Vista De Acercamiento De Granito. (764429/ 8541869).....	43
Figura N° 13: Vista De Acercamiento En Plano De Falla Con Presencia De Estrías. (763513/ 8542195).	44

Figura N° 14: Vista Panorámica De Depósito De Terraza Fluvial. (763490/ 8542267).....	44
Figura N° 15: Vista Panorámica De Depósitos Proluviales Antiguos. (763348/ 8542528).....	45
Figura N° 16: Vista Transversal De Depósitos Fluviales. (764066/ 8542335).....	46
Figura N° 17: Vista De Variación Granulométrica Desde Arenas Y Gravas (Izquierda) Pasando Por Cantos Y Bloques Redondeados Hasta Grandes Bloques Métricos. (764066/ 8542335).....	47
Figura N° 18: Vista Panorámica Y De Acercamiento De Depósitos Coluvio-Aluviales. (764430/ 8541865).	47
Figura N° 19: Comparativa De Mapa Geomorfológico Local Y Pendientes.	53
Figura N° 20: Clasificación Climática Según Warren Thornthwaite.....	55
Figura N° 21: Cuencas Delimitadas Con Incidencia Lateral	57
Figura N° 22: Cuenca Del Río Vilcanota.....	58
Figura N° 23: Perfil Longitudinal Del Tramo Funcional Del Río	59
Figura N° 24: Secciones Transversales Trazadas En El Perfil	61
Figura N° 25 Ubicación Espacial De Las Estaciones Pluviométricas Seleccionadas	63
Figura N° 26: Curva Número Del Área De Estudio	81
Figura N° 27: Configuración Del Plan De Vuelo	85
Figura N° 28: Dron Dji Phantom 4 Rtk.	87
Figura N° 29: Dron Dji Phantom 4 Rtk.	87
Figura N° 30: Ortofoto Del Área De Estudio	89
Figura N° 31: Dem Del Área De Estudio.....	90
Figura N° 32: Flujograma General Del Proceso De Análisis De Información.....	93
Figura N° 33: Ubicación Del Área De Estudio, Áreas De Influencia E Infraestructura Critica.....	96
Figura N° 34: Sección Típica Simplificada De Un Río En La Que Se Observa El Canal Principal, Así Como Las Llanuras De Inundación.....	98
Figura N° 35: Sector De Estudio Y Zona De Inundación Inminente Ante Eventos Máximos Históricos	
101	
Figura N° 36: Esquema De Relieve Del Área De Estudio En Ras Mapper.....	102
Figura N° 37: Asignación Esquema De Generación De Un Flujo En Ras Mapper.....	103
Figura N° 38: Refinamiento De Mallado En Zonas En Límites De Edificios Y Estructuras Incidentes .	104
Figura N° 39: Imposición De Condición De Contorno De Entrada Y De Salida Para La Malla	105
Figura N° 40: Valores Del Coeficiente De Rugosidad De Manning	107
Figura N° 41: Coeficiente De Rugosidad De Manning Asignado En Ras Mapper.....	108
Figura N° 42: Definición De Condición De Entrada Y Salida En Datos De Flujo Hec Ras	109
Figura N° 43: Definición De Parámetros De Flujo No Newtoniano Para La Geometría Creada Del Área De Estudio	112

Figura N° 44: Secciones Transversales Trazadas En El Área De Análisis	113
Figura N° 45: Tirantes Máximos De Inundación En El Área De Estudio.....	114
Figura N° 46: Velocidades Máximas En El Área De Estudio	115
Figura N° 47: Esfuerzos Cortantes Máximos En El Área De Estudio	116
Figura N° 48: Sector Crítico 1 – Progresivas 1129 A 1071	117
Figura N° 49: Vista 3d Del Sector Crítico 1 – Progresivas 1129 A 1071	118
Figura N° 50: Sector Crítico 2 – Progresivas 353 A 245	119
Figura N° 51: Vista 3d Sector Crítico 2 – Progresivas 353 A 245	120
Figura N° 52: Secciones Transversales De Nivel De Flujo – Progresiva 2108 A 1332	121
Figura N° 53: Secciones Transversales De Nivel De Flujo En El Sector De Análisis Tramo 1a-1 - Progresiva 1181 A 1084.....	122
Figura N° 54: Secciones Transversales De Nivel De Flujo En El Sector De Análisis Tramo 1a-2 - Progresiva 1084 A 1071.....	122
Figura N° 55: Secciones Transversales De Nivel De Flujo En El Sector De Análisis Tramo 2a-1 - Progresiva 1071 A 782.....	123
Figura N° 56: Secciones Transversales De Nivel De Flujo En El Sector De Análisis Tramo 2a-2 - Progresiva 782 A 199.....	124
Figura N° 57: Tirantes Máximos – T 50 Años.....	126
Figura N° 58: Tirantes Máximos – T 100 Años.....	127
Figura N° 59: Tirantes Máximos – T 200 Años.....	127
Figura N° 60: Tirantes Máximos – T 200 Años – Con Propuesta Simulada En Tramo Crítico Sector 1a-1	128
Figura N° 61: Vista En Planta De La Propuesta Artificial En El Modelo De Flujos En Tramo Crítico Sector 1a-1.....	129
Figura N° 62: Perfil Longitudinal De La Propuesta Artificial En El Modelo De Flujos En Tramo Crítico Sector 1a-1.....	130
Figura N° 63: Secciones Transversales De Nivel De Flujo En El Sector Crítico Con Propuesta Tramo 1a-1 - Progresiva 1181 A 1084.....	130
Cuadro N° 32: Metodología Para Asignación De Categorías De Los Parámetros	136
Figura N° 64: Determinación De La Susceptibilidad.....	139
Figura N° 65: Análisis De Trabajo Seguro (Ats).....	158
Figura N° 66: Patio De Llaves Y Sala De Mandos	159
Figura N° 67: Muro De Concreto Con Cerco De Enmallado Metálico.....	160
Figura N° 68: Gaviones.....	161
Figura N° 69: Gaviones.....	162
Figura N° 70: Distribución De La Población En Términos De Vulnerabilidad.....	168

Gráficos

Gráfico N° 1: Temperatura máxima y mínima promedios multimensuales – Estación Machupichu ...	64
Gráfico N° 2: Precipitaciones anuales – Estación Machupichu	65
Gráfico N° 3: Precipitaciones totales promedios multimensuales – Estación Machupichu	66
Gráfico N° 4: Hietograma de caudal máximo diario – Estación EGEMSA Km 105	70
Gráfico N° 5: Curvas IDF para la estación Machupicchu.....	74
Gráfico N° 6: Hietograma de diseño – TR 150 años para la estación Machupicchu	75
Gráfico N° 7: Caudales máximos diarios por mes en la estación EGEMSA Km 105.....	76
Gráfico N° 8: Curva de duración de caudales máximos diarios por año - Estación EGEMSA Km 105 77	
Gráfico N° 9: Persistencia de caudales máximos diarios mensuales- Estación EGEMSA Km 105.....	78
Gráfico N° 10: Clasificación de peligros	91
Gráfico N° 11: Metodología general para determinar la peligrosidad	92
Gráfico N° 12: Clasificación de peligros	97
Gráfico N° 13: Identificación de peligros en el área de estudio	97
Gráfico N° 14: Metodología general para determinar la Vulnerabilidad	167
Gráfico N° 15: Metodología para determinar el nivel del riesgo.....	188

INTRODUCCIÓN


En el presente informe de evaluación de riesgos se ha analizado la susceptibilidad de las instalaciones de la empresa de generación eléctrica Machupicchu S.A. – EGEMSA (KM122), ante el peligro de origen natural como son los fenómenos hidrometeorológicos, fenómenos por geodinámica externa, fenómenos de geodinámica interna y peligros provocados por el hombre, siguiendo la metodología del Manual para la evaluación de riesgos originados por fenómenos naturales. Versión 02 – CENEPRED, se ha desarrollado la “**Evaluación de riesgos de desastres por inundación fluvial**” y el impacto potencial las instalaciones de la empresa de generación eléctrica Machupicchu S.A. – EGEMSA (KM122).

Las instalaciones de la empresa de generación eléctrica Machupicchu S.A. – EGEMSA (KM122) se ubica sobre una morfología de pendientes ligeramente inclinadas, donde el suelo de estas está conformado por material consolidado muy susceptibles a inundación.

Luego del análisis de los peligros a los que está expuesto las instalaciones de la empresa de generación eléctrica Machupicchu S.A. – EGEMSA (KM122), se ha priorizado el desarrollo del estudio por el peligro más recurrente o potencialmente más dañino a fin de aplicar la metodología de Evaluación de Riesgo de Desastre establecido por el CENEPRED, por lo cual, el presente documento desarrolla la Evaluación del Riesgo, ante inundación fluvial; el cual comprende la determinación del peligro y el área de influencia en función a sus factores condicionantes para la definición de sus niveles, representados en el mapa de peligro. Además, comprende el análisis de la vulnerabilidad de los elementos expuestos (viviendas, colegio y estructuras de la central hidroeléctrica) en sus dimensiones social, económica y ambiental. Cada dimensión de la vulnerabilidad se evalúa con sus respectivos factores: exposición, fragilidad y resiliencia, para definir los niveles de vulnerabilidad y mapa respectivo.

Luego, se contempla el procedimiento para cálculo del riesgo, que permite identificar el nivel del riesgo originado por inundación fluvial en las inmediaciones del área de estudio, así como también el mapa de riesgo como resultado de la evaluación del peligro y la vulnerabilidad. Finalmente, se evalúa el control del riesgo, para identificar la aceptabilidad o tolerancia del riesgo.

Los resultados, del presente informe servirán para la identificación e implementación de medidas de prevención y reducción de riesgos, orientados a disminuir la vulnerabilidad.



LESLY STELLA
DE LA CRUZ MARCELO
INGENIERA CIVIL
Reg. CIP N° 151557

1. CAPITULO I: ASPECTOS GENERALES

1.1. OBJETIVOS

1.1.1.OBJETIVO GENERAL

Realizar la Evaluación de riesgos y vulnerabilidad ante el peligro por inundación fluvial en las instalaciones de la empresa de generación eléctrica Machupicchu S.A. – EGEMSA (KM122), ubicada en el C.P Intihuatana (INEI, 2017), en el Distrito de Machupicchu, Provincia de Urubamba.

1.1.2.OBJETIVO ESPECIFICO

- ✓ Realizar la caracterización física, social y económica.
- ✓ Analizar las características hidrológicas del río Vilcanota para realizar el modelo de inundación fluvial con HEC-RAS.
- ✓ Identificar la susceptibilidad del área de estudio ante fenómenos Hidrometeorológicos.
- ✓ Determinar la velocidad y altura de la inundación fluvial mediante modelado de flujo con HEC-RAS.
- ✓ Identificar, caracterizar y determinar los niveles del peligro ante inundación fluvial.
- ✓ Elaborar el mapa de del peligro ante inundación fluvial.
- ✓ Identificar los elementos expuestos ante inundación fluvial.
- ✓ Analizar y determinar los niveles de vulnerabilidad del área de estudio ante inundación fluvial.
- ✓ Elaborar el mapa de vulnerabilidad del ámbito de estudio.
- ✓ Elaborar el mapa de riesgos evaluando la aceptabilidad o tolerabilidad del riesgo ante inundación fluvial.
- ✓ Proponer medidas estructurales y no estructurales para prevenir y disminuir los riesgos existentes ante inundación fluvial.

1.2. FINALIDAD

Contribuir con un documento técnico, bajo la necesidad de contar con un instrumento técnico, que permita identificar y determinar los peligros en las instalaciones de la empresa de generación eléctrica Machupicchu S.A. – EGEMSA (KM122), y así adoptar medidas de prevención y reducción del riesgo identificado.



LESLY STELLA
DE LA CRUZ MARCELO
INGENIERA CIVIL
Reg. CIP N° 154547

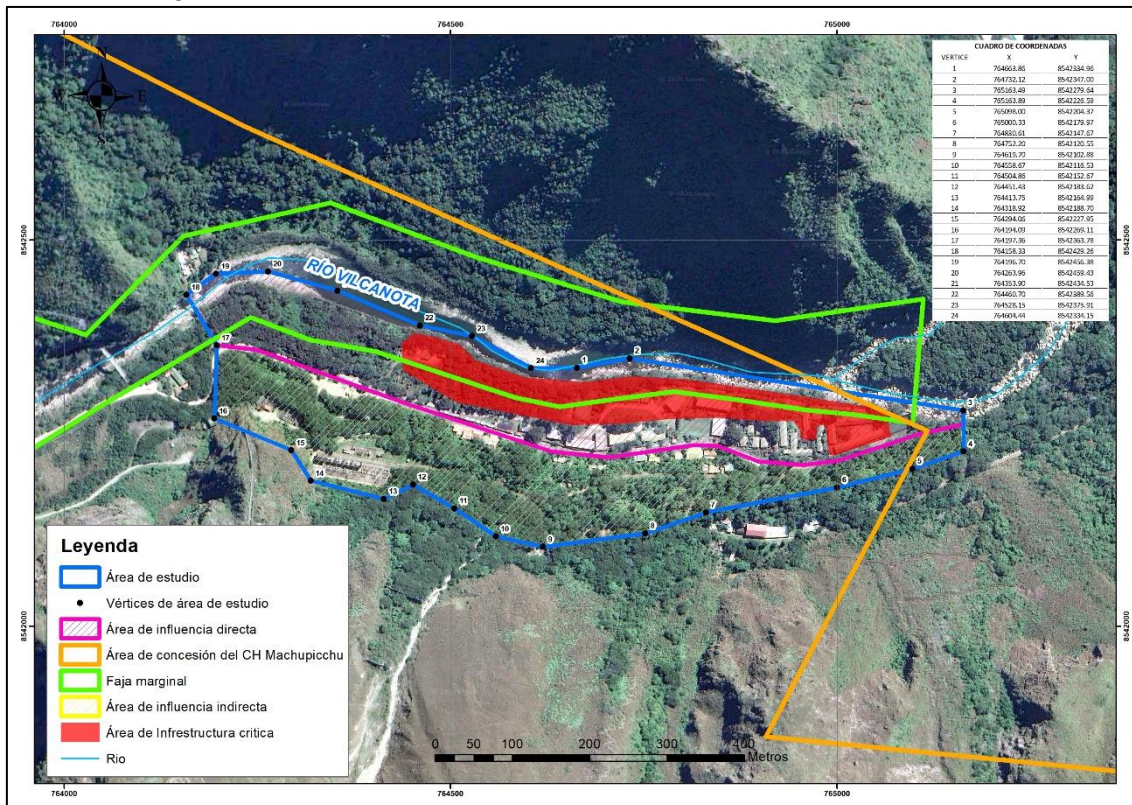
1.3. JUSTIFICACIÓN

La presente evaluación de riesgos tiene como propósito determinar los niveles de riesgo por inundación fluvial en las instalaciones de la Empresa de Generación Eléctrica Machupicchu S.A. (EGEMSA). El estudio busca fundamentar el diseño e implementación de medidas estructurales y no estructurales que mitiguen el impacto de avenidas extraordinarias, garantizando la continuidad operativa de la central hidroeléctrica. Dada su condición de infraestructura crítica, la mitigación de riesgos es imperativa para prevenir interrupciones en el suministro eléctrico que afectarían socioeconómicamente a la población, el sector industrial y las instituciones del área de influencia.

1.4. ALCANCE DEL ESTUDIO

El alcance del EVAR por inundación fluvial en las instalaciones de la empresa de generación eléctrica Machupicchu S.A. – EGEMSA (KM122), como instrumento técnico para la gestión de riesgos de desastres, su alcance es la identificación de peligros, la evaluación de vulnerabilidades y la determinación de los niveles de riesgo para diseñar medidas de prevención y reducción., para lo cual se ha delimitado el ámbito de estudio tal como se muestra en la siguiente figura. (ver fig.1).

Figura N° 1: Ubicación del área de estudio, áreas de influencia e infraestructura crítica.



Fuente: Equipo evaluador.

Además, se ha determinado los límites de área de influencia directa y área de influencia indirecta, como se observa en la figura 1.


LESLY STELLA
 DE LA CRUZ MARCELO
 INGENIERA CIVIL
 Reg. CIP N° 151547

Cuadro N°1: Coordenadas del ámbito de estudio

CUADRO DE COORDENADAS		
VERTICE	X	Y
1	764663.86	8542334.96
2	764732.12	8542347.00
3	765163.49	8542279.64
4	765163.89	8542226.59
5	765098.00	8542204.37
6	765000.33	8542179.97
7	764830.61	8542147.67
8	764752.20	8542120.55
9	764619.70	8542102.88
10	764558.67	8542116.53
11	764504.86	8542152.67
12	764451.43	8542183.62
13	764413.75	8542164.99
14	764318.92	8542188.70
15	764294.06	8542227.95
16	764194.09	8542269.11
17	764197.36	8542363.78
18	764158.33	8542429.26
19	764196.70	8542456.38
20	764263.96	8542459.43
21	764353.90	8542434.53
22	764460.70	8542389.56
23	764528.15	8542375.91
24	764604.44	8542334.15

Fuente: Equipo evaluador.


✓ **Tramo del río Vilcanota que se ha analizado en el modelo hidráulico por inundación fluvial**

Para el análisis hidráulico y modelado por inundación fluvial de las instalaciones de la empresa de generación eléctrica Machupicchu S.A. – EGEMSA (KM122), ubicado a la margen izquierda del río Vilcanota se ha evaluado el tramo entre las coordenadas UTM WGS84 – Zona 18S.

Cuadro N°2: Coordenadas del tramo del modelo por inundación fluvial

CUADRO DE COORDENADAS		
VERTICE	X	Y
Aguas arriba	765485.223604	8543189.01574
Aguas abajo	764074.925638	8542352.85024

Fuente: Equipo evaluador.



LESLY STELLA
DE LA CRUZ MARCELO
INGENIERA CIVIL
Reg. CIP N° 154547

✓ **Elementos estructurales analizados**

Se ha considerado los siguientes elementos estructurales en el análisis de las instalaciones de la empresa de generación eléctrica Machupicchu S.A. – EGEMSA (KM122).

Cuadro N°3: Estructuras y módulos

Estructuras
Almacén
Almacén C.H.M.
Auditorio -oficina
Patio de llaves 138Kv
Patio de llaves (Quillabamba)
Sala de mandos
Taller de mantenimiento
Modulo C.H.M.
Grifo
Gimnasio
Cocina - comedor
Colegio
26 construcciones - módulos
Habitaciones
4 viviendas
3 caseta de seguridad
Campo deportivo
Grass sintético
Losa deportiva
Losa polideportiva
Pozo compostaje

Fuente: Equipo evaluador.


1.5. ANTECEDENTES

A partir de información brindada por EGEMSA y la información existente en SINPAD v 2.0 (INDECI), respecto de los antecedentes históricos de emergencias ocurridas en el ámbito de estudio, se tiene los siguientes eventos:

- ✓ En 1998, un deslizamiento en la quebrada de Ahobamba sepultó parcialmente la Central Hidroeléctrica de Machupicchu bajo lodo y agua, afectando su operatividad.
- ✓ En enero de 2010, el río Vilcanota se desbordó debido a intensas lluvias, dañando la vía férrea entre las estaciones de Hidroeléctrica (km 122) y Machu Picchu Pueblo (km 110). Este evento interrumpió el acceso ferroviario a la zona.
- ✓ Con fecha 11 de noviembre del 2022, la Administración Local de Agua La Convención, envía la Carta N°0529-2022-ANA-AAA.UV-ALA.CV, adjuntando el Informe Técnico N°0065-2022-ANA-AAA.UV-ALA.CV/IFI sobre la verificación técnica de campo sobre el fenómeno erosivo regresivo por la crecida del río Vilcanota, ubicado en el sector Represa de la C.H. Machupicchu Km 107, distrito Machupicchu, provincia de Urubamba, región Cusco.
- ✓ Con fecha 31 de octubre del 2024, la Autoridad Administrativa del Agua – Urubamba Vilcanota, emite la Resolución Directoral N°0852-2024-ANA - AAA.UV, con la modificación parcial de la faja marginal en la C.H. Machupicchu Km 122.

En esta resolución se aprueba la modificación parcial de la faja marginal, correspondiente a los hitos H-1 al H-09 de la margen izquierda del río Vilcanota solicitado por la Empresa de Generación Eléctrica Machupicchu Sociedad Anónima, con RUC N° 20218339167, cuyo cuadro de coordenadas se detallan en lo siguiente:

Relación de Hitos de Faja Marginal Modificados						
En coordenadas UTM, zona 18 - Proyección WGS - 84						
Margen Izquierda						
Progresiva del río	Código del Hito	Este (m)	Norte (m)	Ancho de Faja (m)	Ancho del cauce (m)	Observaciones
0+000	H-01	763654	8542307	15	76	Carretera Santa Teresa - Hidroeléctrica
0+150	H-02	763689	8542278	15	72	
0+200	H-03	763720	8542234	15	80	
0+225	H-04	763752	8542194	15	89	
0+250	H-05	763791	8542173	15	75	
0+260	H-06	763822	8542163	15	78	
0+300	H-07	763880	8542181	15	81	
0+490	H-08	764050	8542287	15	58	

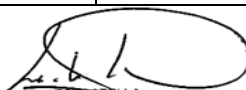

 LESLIE STELLA
 DE LA CRUZ MARCELO
 INGENIERA CIVIL
 Reg. CIP N° 154547

0+570	H-09	764132	8542335	15	60	Áreas vulnerables a inundaciones y sin protección de defensa ribereña
0+700	H-10	764241	8542400	15	71	
0+875	H-11	764318	8542371	15	119	
0+950	H-12	764403	8542356	15	90	
1+150	H-13	764584	8542296	15	80	
1+190	H-14	764641	8542284	15	77	
1+250	H-15	764705	8542293	15	74	Presencia de defensa ribereña con gavión enmallado.
1+325	H-16	764789	8542304	10	61	
1+410	H-17	764866	8542294	10	55	
1+500	H-18	764961	8542280	10	60	
1+570	H-19	765024	8542274	10	73	
1+850	H-20	765098	8542263	10	102	Presencia de Defensa ribereña con muro gavión.

- ✓ Con fecha 25 de febrero del 2025, FONAFE emite la Aprobación de la modificación del Lineamiento Corporativo: “Lineamiento de Gestión Integral de Riesgos” y el Manual Corporativo: “Guía para la Gestión Integral de Riesgos”.

Cuadro N°4: Antecedentes de emergencias en el distrito de Machupicchu 2020 – 2023

Peligro principal	Fecha
LLUVIAS INTENSAS	16/12/2023 05:12
DERRUMBE CERROS	04/12/2023 11:12
LLUVIAS INTENSAS	28/11/2023 00:11
INCENDIOS FORESTALES	19/10/2023 13:10
INCENDIOS FORESTALES	22/08/2023 15:08
INCENDIOS FORESTALES	12/07/2023 18:07
INCENDIOS FORESTALES	15/05/2023 15:05
INCENDIOS FORESTALES	21/09/2022 15:09
GRANIZADAS	29/08/2022 17:08
INCENDIOS URBANOS	27/08/2022 12:08
INCENDIOS URBANOS	17/07/2022 10:07
INCENDIOS FORESTALES	28/06/2022 13:06
INUNDACIÓN POR DESBORDE DE RIO	16/03/2022 09:03
DERRUMBE CERROS	15/03/2022 05:03


 LESLIE STELLA
 DE LA CRUZ MARCELO
 INGENIERA CIVIL
 Reg. CIP N° 154547

EROSION FLUVIAL	14/02/2022 05:02
DERRUMBE CERROS	04/02/2022 05:02
HUAICO	21/01/2022 06:01
HUAICO	24/11/2021 08:11
INCENDIOS FORESTALES	26/07/2021 14:07
DERRUMBE CERROS	11/04/2021 05:04
INCENDIOS FORESTALES	26/10/2020 08:10
INCENDIOS FORESTALES	08/10/2020 11:10
INCENDIOS FORESTALES	08/10/2020 11:10
INCENDIOS FORESTALES	01/10/2020 15:10
INCENDIOS FORESTALES	05/08/2020 22:08
INCENDIOS FORESTALES	04/08/2020 19:08
INCENDIOS FORESTALES	02/08/2020 23:08
INCENDIOS FORESTALES	30/07/2020 15:07
EPIDEMIA COVID-19	15/03/2020 19:03
HUAICO	23/02/2020 14:02
DESLIZAMIENTO	09/02/2020 01:02
DESLIZAMIENTO	23/01/2020 14:01
DESLIZAMIENTO	22/01/2020 04:01
INCENDIOS FORESTALES	07/08/2019 11:08

Fuente: SINPAD v2.0.


LESLY STELLA
DE LA CRUZ MARCELO
INGENIERA CIVIL
Reg. CIP N° 151557

1.5.1. SUSCEPTIBILIDAD DEL AREA DE ESTUDIO ANTE PELIGROS POR FENÓMENOS HIDROMETEOROLÓGICOS SEGÚN SIGRID.

✓ Inundaciones por lluvias intensas

De la siguiente imagen se puede observar que el ámbito de estudio tiene una susceptibilidad **BAJO** ante inundaciones relacionadas a lluvias fuertes.

Figura N° 2: Susceptibilidad a inundación por lluvias intensas



Fuente: SIGRID.

✓ Inundaciones fluviales

De la siguiente imagen se puede observar que el ámbito de estudio tiene una susceptibilidad **BAJO Y MUY ALTO** ante inundaciones fluviales, muy alto principalmente en las zonas cercanas al cauce del río.

Figura N° 3: Susceptibilidad a inundación fluvial



Fuente: SIGRID.


LESLY STELLA
DE LA CRUZ MARCELO
INGENIERA CIVIL
Reg. CIP N° 151547

1.6. MARCO NORMATIVO

1.6.1. EN GESTIÓN DE RIESGOS DE DESASTRES

- ✓ Acuerdo Nacional – Política 32: Gestión del Riesgo de Desastres (2011).
- ✓ Ley N.º 29664 – Crea el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres (SINAGERD).
- ✓ Ley N.º 30779, Medidas para el fortalecimiento del sistema nacional de gestión del riesgo de desastres” (05 de junio 2018).
- ✓ Decreto Supremo N.º 048-2011-PCM. Reglamento de la Ley 29664, Ley que crea el Sistema Nacional de Gestión de Riesgo de Desastres - SINAGERD.
- ✓ Decreto Supremo N.º 060-2024-PCM, que modifica el Reglamento de la Ley N.º 29664 del SINAGERD, y establece que los gobiernos regionales revisan y validan las evaluaciones de riesgo realizadas por los gobiernos locales de su jurisdicción.
- ✓ Decreto Supremo N.º 111-2012-PCM, que aprueba la Política Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres.
- ✓ Decreto Supremo N.º 115-2022-PCM – Aprueba el Plan Nacional de Gestión de Riesgo de Desastres - PLANAGERD 2022-2030
- ✓ Decreto Supremo N.º 038-2021-PCM – Aprueba la Política Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres al 2050 (Actualización).
- ✓ Resolución Ministerial N.º 290-2025-PCM – Lineamientos Técnicos del Proceso de Estimación del Riesgo de Desastres (Actualización).
- ✓ Resolución Ministerial N.º 222-2013-PCM – Lineamientos Técnicos del Proceso de Prevención del Riesgo de Desastres.
- ✓ Resolución Ministerial N.º 220-2013-PCM – Lineamientos Técnicos del Proceso de Reducción del Riesgo de Desastres.
- ✓ Resolución Ministerial N.º 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.
- ✓ Resolución Jefatural N.º 112-2014-CENEPRED/J – “Manual para la Evaluación de Riesgos originados por Fenómenos Naturales” (2.ª versión).
- ✓ Resolución de Secretaría de Gestión del Riesgo de Desastres N.º 009-2025-PCM/SGRD, aprobada el 5 de noviembre de 2025.

1.6.2. NORMATIVA SECTORIAL Y TÉCNICA COMPLEMENTARIA

Recursos Hídricos

- ✓ Ley de Recursos Hídricos - Ley N° 29338 y su Reglamento aprobado mediante D.S, N° 01-2010-AG; y sus modificatorias.
- ✓ Resolución Jefatural N°332-2016-ANA, Reglamento para la Delimitación y Mantenimiento de Fajas Marginales aprobado mediante.
- ✓ Normas OSINERGMIN – Regulación sobre seguridad de presas e infraestructura energética crítica.
- ✓ Resolución Directoral N.° 0852-2024-ANA-AAA.UV.
- ✓ Resolución Directoral N° 0553-2023-ANA-AAA.UV, con la que aprueba la delimitación de la faja marginal en la C.H. Machupicchu Km 122.
- ✓ Resolución Directoral N°0852-2024-ANA - AAA.UV, con la modificación parcial de la faja marginal en la C.H. Machupicchu Km 122.

Energía y Electricidad.

- ✓ Decreto Ley N.° 25844 – Ley de Concesiones Eléctricas.
- ✓ Normas técnicas OSINERGMIN aplicables a la infraestructura hidroeléctrica.
- ✓ Ley N° 27435: Ley de Promoción de Concesiones de Centrales Hidroeléctricas.
- ✓ D. Ley. N° 25844. Ley de Concesiones Eléctricas.
- ✓ Decreto Supremo N° 009-93-EM. Reglamento de la Ley de Concesiones Eléctricas.

Infraestructura y Construcción

- ✓ Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE), en especial: Norma Técnica E.030 – Diseño Sismorresistente, Norma Técnica E.050 – Suelos y Cimentaciones y Norma Técnica G.050 – Seguridad en Presas (referida por OSINERGMIN).

Gestión Ambiental y Territorial.

- ✓ Ley N° 28611, Ley General del Ambiente, año 2005.
- ✓ Política Nacional del Ambiente (DS N.° 012-2009-MINAM).
- ✓ Ley Orgánica de Municipalidades (Ley N.° 27972) y Ley Orgánica de Gobiernos Regionales (Ley N.° 27867), que establecen competencias en GRD y ordenamiento territorial.

1.6.3. NORMATIVA INSTITUCIONAL VIGENTE

- ✓ Decreto Legislativo N° 1693 Decreto Legislativo que ordena, sistematiza y optimiza la eficiencia de la actividad empresarial del Estado y fortalece la estructura y gestión del FONAFE.
- ✓ Decreto Supremo N° 292-2024-EF, Decreto Supremo que aprueba el reglamento del Decreto Legislativo N° 1693, Decreto Legislativo que ordena, sistematiza y optimiza la eficiencia de la actividad empresarial del Estado y fortalece la estructura y gestión.


LESLY STELLA
DE LA CRUZ MARCELO
INGENIERA CIVIL
Reg. CIP N° 151547

- ✓ Decreto Legislativo N° 1440, Decreto Legislativo del Sistema Nacional de Presupuesto Público, aplicable a FONAFE y las Empresas bajo su ámbito solo y exclusivamente cuando así se señale expresamente.
- ✓ Nueva Directiva Corporativa de Gestión Empresarial, Aprobada mediante Acuerdo de Directorio N° 002-2025/007-FONAFE de fecha 26/11/2025. Vigencia: A partir del 26/03/2026.
- ✓ Decreto Legislativo N° 295, Promulgan el Código Civil aprobado por la Comisión Revisora creada por la Ley N° 23403.
- ✓ Decreto Legislativo N° 1031, Ley que promueve la eficiencia de la actividad empresarial del Estado, su Reglamento y modificatorias.
- ✓ Decreto Supremo N° 242-2018-EF, Aprueban Texto Único Ordenado del Decreto Legislativo N° 1252, Decreto Legislativo que crea el Sistema Nacional de Programación Multianual y Gestión de Inversiones, su Reglamento y Directivas.

Obligaciones de EGEMSA en la Reducción de Riesgos frente a la Ley 29664 y sus responsabilidades administrativas.

EGEMSA implementa un Sistema de Gestión Integrado (SGI) basado en normas internacionales (ISO 9001, ISO 14001, ISO 45001) y su propia política interna para gestionar y reducir riesgos:

- ✓ **Gestión Integral de Riesgos:** EGEMSA debe adoptar las mejores prácticas en el manejo y gestión de riesgos a nivel empresarial, de procesos y proyectos. Esto incluye la identificación, análisis, evaluación, valoración, tratamiento, seguimiento y comunicación de riesgos.
- ✓ **Seguridad y Salud en el Trabajo:** Tiene la obligación de identificar peligros, evaluar y controlar permanentemente los riesgos, garantizando la participación activa de los colaboradores en la seguridad y salud en el trabajo, conforme a la Ley N° 29783 y normas complementarias.
- ✓ **Protección Ambiental:** La empresa se compromete a prevenir daños al medio ambiente, lo cual implica la gestión de riesgos ambientales asociados a sus operaciones (centrales hidroeléctricas, etc.).
- ✓ **Planificación de Emergencias y Desastres:** Como parte de la gestión de riesgos, debe contar con planes de respuesta y atención a emergencias y desastres (sismos, inundaciones, etc.), con el objetivo de disminuir la vulnerabilidad de la población y la infraestructura.
- ✓ **Estudios de Riesgos:** La normativa peruana exige la elaboración de estudios de riesgos que identifiquen, describan, analicen y evalúen los riesgos existentes en equipos, instalaciones, operaciones y posibles daños a terceros.

Obligaciones frente a OSINERGMIN

OSINERGMIN (Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería) es el ente regulador y fiscalizador que supervisa a las empresas eléctricas para asegurar el cumplimiento de las obligaciones técnicas, legales y de seguridad. Las obligaciones de EGEMSA frente a OSINERGMIN incluyen:

- ✓ **Cumplimiento Normativo:** Acatar y respetar la legislación y reglamentación establecida en el sector eléctrico, incluyendo las normas de seguridad eléctrica y medioambientales.
- ✓ **Supervisión y Fiscalización:** Someterse a la supervisión y fiscalización periódica de OSINERGMIN, que verifica la calidad, consistencia y seguridad del servicio.
- ✓ **Informes y Reportes Periódicos:** Reportar periódicamente el monitoreo de la gestión de riesgos y otra información requerida por el regulador sobre sus operaciones, confiabilidad, seguridad y protección ambiental.
- ✓ **Implementación de Reglamentos de Seguridad:** Cumplir con el "Reglamento de Seguridad y Salud en el Trabajo con Electricidad" (R.M. N° 111-2013-MEM/DM) y otras directivas emitidas por OSINERGMIN o el Ministerio de Energía y Minas.
- ✓ **Garantizar la Calidad y Seguridad del Suministro:** Asegurar que sus operaciones no pongan en riesgo la seguridad de las comunidades, trabajadores, el medio ambiente ni la confiabilidad del sistema eléctrico nacional.
- ✓ **Responsabilidad Administrativa:** OSINERGMIN puede determinar la responsabilidad administrativa de la empresa de forma objetiva en caso de incumplimientos de las normativas vigentes, aplicando sanciones si corresponde.

1.7. TERMINOLOGÍAS BÁSICAS

- ✓ **PELIGRO:** Probabilidad de que un fenómeno, potencialmente dañino, de origen natural o inducido por la acción humana, se presente en un lugar específico, con una cierta intensidad y en un período de tiempo y frecuencia definidos.
- ✓ **ANÁLISIS DE LA VULNERABILIDAD:** Etapa de la evaluación de riesgos, en la que se analiza los factores de exposición, fragilidad y la resiliencia en función al nivel de peligrosidad determinada, se evalúa el nivel de vulnerabilidad y se elabora el mapa del nivel de vulnerabilidad de la unidad física, social o ambiental evaluada.
- ✓ **VULNERABILIDAD:** Es la susceptibilidad de la población, la estructura física o las actividades socioeconómicas, de sufrir daños por acción de un peligro. La vulnerabilidad puede ser explicada por tres factores: Exposición, Fragilidad y Resiliencia. Se expresa en términos de 0 a 1.

- ✓ **CÁLCULO DE RIESGOS:** Etapa de la evaluación de riesgos, en la que se determina los niveles de riesgos, se estima (cualitativa y cuantitativa) los daños o afectaciones, se elabora el mapa de zonificación del nivel de riesgos y se recomiendan medidas de control preventivo y de reducción de orden estructural y no estructural.
- ✓ **RIESGO DE DESASTRE:** Es la probabilidad de que la población y sus medios de vida sufran daños y pérdidas a consecuencia de su condición de vulnerabilidad y el impacto de un peligro.
- ✓ **CUENCA HIDROGRÁFICA:** También denominado cuenca de drenaje, es el territorio drenado por un único sistema de drenaje natural, es decir, que drena sus aguas al mar a través de un único río, o que vierte sus aguas a un único lago endorreico. Una cuenca hidrográfica es delimitada por la línea de las cumbres, también llamada divisoria de aguas. El uso de los recursos naturales se regula administrativamente separando el territorio por cuencas hidrográficas.
- ✓ **CONTROL DE RIESGOS:** Etapa de la evaluación de riesgos, en la que se evalúan las medidas de prevención y/o reducción del riesgo de desastres, se determina la aceptabilidad o tolerabilidad del riesgo y finalmente se dan las recomendaciones de las medidas de control más idóneas.
- ✓ **DESASTRES:** Conjunto de daños y pérdidas, en la salud, fuentes de sustento, hábitat físico, infraestructura, actividad económica y ambiente, que ocurre a consecuencia del impacto de un peligro o amenaza cuya intensidad genera graves alteraciones en el funcionamiento de las unidades sociales, sobrepasando la capacidad de respuesta local para atender eficazmente sus consecuencias, pudiendo ser de origen natural o inducido por la acción humana.
- ✓ **DETERMINACIÓN DE PELIGROS:** Etapa de la evaluación de riesgos, en la que se identifica y caracteriza los peligros, se evalúa la susceptibilidad de los peligros, se define los escenarios, se determina el nivel de peligrosidad y se elabora el mapa del nivel de peligrosidad
- ✓ **ELEMENTOS EN RIESGO O EXPUESTOS:** Es el contexto social, económico y ambiental presentado por las personas
- ✓ **EVALUACIÓN DE RIESGOS:** Componente del procedimiento técnico del análisis de riesgos, el cual permite calcular y controlar los riesgos, previa identificación de los peligros y análisis de las vulnerabilidades, recomendando medidas de prevención y/o reducción del riesgo de desastres y valoración de riesgos.
- ✓ **FENÓMENO DE ORIGEN NATURAL:** Es toda manifestación de la naturaleza que puede ser percibido por los sentidos o por instrumentos científicos de detección. Se refiere a cualquier evento natural como resultado de su funcionamiento interno.
- ✓ **GESTIÓN DEL RIESGO DE DESASTRES:** Es un proceso social cuyo fin último es la prevención, la reducción y el control permanente de los factores de riesgo de desastre en la sociedad, así como la adecuada preparación y respuesta ante situaciones de desastre, considerando las

- políticas nacionales con especial énfasis en aquellas relativas a materia económica, ambiental, de seguridad, defensa nacional y territorial de manera sostenible.
- ✓ INFORME DE EVALUACIÓN DE RIESGOS: Documento que sustenta y consigna de manera fehaciente el resultado de la ejecución de una evaluación de riesgos, mediante el cual se determina, calcula y se controla el nivel de riesgos de las áreas geográficas expuesta a determinados fenómenos de origen natural o inducidos por la acción humana, en un período de tiempo.
 - ✓ MEDIDAS ESTRUCTURALES: Cualquier construcción física para reducir o evitar los riesgos o la aplicación de técnicas de ingeniería para lograr la resistencia y la resiliencia de las estructuras o de los sistemas frente a los peligros.
 - ✓ MEDIDAS NO ESTRUCTURALES: Cualquier medida que no suponga una construcción física y que utiliza el conocimiento, las prácticas o los acuerdos existentes para prevenir o reducir el riesgo y sus impactos, especialmente a través de políticas y leyes, una mayor concientización pública, la capacitación y la educación.
 - ✓ PREVENCIÓN: Proceso de la gestión del riesgo de desastres, que comprende las acciones que se orientan a evitar la generación de nuevos riesgos en la sociedad en el contexto de la gestión del desarrollo sostenible.
 - ✓ REDUCCIÓN: Proceso de la gestión del riesgo de desastres, que comprende las acciones que se realizan para reducir las vulnerabilidades y riesgos existentes en el contexto de la gestión del desarrollo sostenible.
 - ✓ LA EXPOSICIÓN: está referida a las decisiones y prácticas que ubican al ser humano y sus medios de vida en la zona de impacto de un peligro. La exposición se genera por una relación no apropiada con el ambiente, que se puede deber a procesos no planificados de crecimiento demográfico, a un proceso migratorio desordenado, al proceso de urbanización sin un adecuado manejo del territorio y/o a políticas de desarrollo económico no sostenibles. A mayor exposición, mayor vulnerabilidad.
 - ✓ LA FRAGILIDAD: está referida a las condiciones de desventaja o debilidad relativa del ser humano y sus medios de vida frente a un peligro. En general, está centrada en las condiciones físicas de una comunidad o sociedad y es de origen interno, por ejemplo: formas de construcción, no seguimiento de normativa vigente sobre construcción y/o materiales, entre otros. A mayor fragilidad, mayor vulnerabilidad.
 - ✓ RESILIENCIA: Capacidad de las personas, familias y comunidades, entidades públicas y privadas, las actividades económicas y las estructuras físicas, para asimilar, absorber, adaptarse, cambiar, resistir y recuperarse, del impacto de un peligro o amenaza, así como de incrementar su capacidad de aprendizaje y recuperación de los desastres pasados para protegerse mejor en el futuro

- ✓ SISTEMA NACIONAL DE GESTIÓN DEL RIESGO DE DESASTRES: Sistema interinstitucional, sinérgico, descentralizado, transversal y participativo, con la finalidad de identificar y reducir los riesgos asociados a peligros o minimizar sus efectos, así como evitar la generación de nuevos riesgos, y preparación y atención ante situaciones de desastre mediante el establecimiento de principios, lineamientos de política, componentes, procesos e instrumentos de la Gestión del Riesgo de Desastres.

1.8. LIMITACIONES DEL ESTUDIO

- ✓ En el capítulo de unidades geológicas del presente informe se ha desarrollado de acuerdo a los alcances del estudio y se basa en reconocimiento de unidades geológicas y procesos superficiales. Por tal, propiedades geotécnicas específicas como cohesión, saturación, y granulometría detallada no fueron incluidas en el alcance del estudio, ya que forman parte de ensayos de mecánica de suelos que requieren muestreo mediante calicatas y un análisis en laboratorio.
- ✓ A nivel de los datos socioeconómicos que se han empleado para el análisis de la vulnerabilidad se ha priorizado la información de las personas que habitan y/o trabajan dentro de las instalaciones de EGEMSA principalmente, que realizan actividades orientadas a la operación y mantenimiento. No se ha tomado en consideración la población que realiza actividades temporales tales como transporte de personas, venta de alimentos y turismo.
- ✓ La ausencia de información batimétrica detallada constituye una limitación del presente estudio; sin embargo, esta no forma parte de su alcance. El levantamiento topográfico fue realizado en época de estiaje, minimizando la interferencia del flujo, y se adoptaron criterios conservadores en la representación del fondo del cauce. Asimismo, esta limitación se ve mitigada en el diseño mediante la consideración de la profundidad de socavación, la definición de la altura del muro de protección y la imposición de un borde libre adecuado. En ese sentido, dada la magnitud de los caudales analizados y el ancho del cauce, la ausencia de batimetría detallada no resulta significativa ni compromete los resultados del estudio.
- ✓ La limitada disponibilidad de registros de aforo para una calibración más rigurosa representa una limitación del estudio; no obstante, esta no forma parte de su alcance. La calibración se realizó mediante evidencias indirectas, como huellas de inundación y referencias de campo, y factores hidráulicos como el coeficiente de rugosidad. Si bien la incorporación de datos hidrométricos en distintas condiciones mejoraría el ajuste del modelo, ello implicaría campañas de medición adicionales en un año (épocas húmedas y secas) que exceden los objetivos y alcance del presente estudio.

- ✓ El análisis ambiental se ha realizado de manera general o superficial, ya que para poder determinar la sensibilidad ambiental se debería realizar un estudio más detallado, con estadísticas, estudio de impacto ambiental, monitoreo ambiental y eso no está dentro del alcance del estudio y esto no está dentro de los requerimientos del EVAR ya que implicaría más tiempo de trabajo y mayor presupuesto.

En relación al estudio de ecosistemas y medio ambiente se realizó de manera superficial, no es a detalle, debido que para saber los impactos potenciales se tendría que realizar estudios de la flora y fauna más precisa, y con relación a las consecuencias ambientales se ha agregado un párrafo mencionando de manera general el impacto de la inundación en situaciones similares.

- ✓ Con respecto a la selección de estaciones para el análisis de frecuencia de precipitación máxima se ha tomado en cuenta solo la estación Machupichu, de acuerdo con la OMM (2011), para estudios hidrológicos se recomienda emplear estaciones con al menos 30 años de información, altitudes comparables y ubicadas a menos de 50 km de la zona de estudio. En el presente análisis se identificaron limitaciones en la disponibilidad de estaciones que cumplan estos criterios, ya que, aunque en la región existen varias estaciones convencionales y automáticas, solo Machupicchu (2153 m s.n.m.) dispone de una serie histórica continua y representativa desde 1964 hasta 2024, lo que la convierte en la estación más adecuada para caracterizar el régimen climático local. Las estaciones convencionales Anta Ancachuro, Urubamba y Quillabamba, si bien cuentan con registros extensos, se ubican a más de 50 km del área de estudio, afectando su representatividad espacial, además de no poseer similar altitud. Por otro lado, las estaciones automáticas Intihuatana, Pacaymayo y Huayllabamba se encuentran dentro del radio recomendado, pero poseen menos de 10 años de información debido a su reciente instalación, incumpliendo la representatividad temporal mínima recomendada. Por ello, la estación Machupicchu fue seleccionada como la principal y única fuente de información para el análisis hidrológico.


LESLY STELLA
DE LA CRUZ MARCELO
INGENIERA CIVIL
Reg. CIP N° 151547

1.9. METODOLOGÍA UTILIZADA EN EL EVAR

1.9.1. METODOLOGÍA

La metodología de la Evaluación de Riesgos y Amenazas (EVAR) implica un análisis exhaustivo para identificar peligros y vulnerabilidades en un área de estudio específica, caracterizando los riesgos en dimensiones social, económica y ambiental. El proceso incluye la recopilación de datos detallados, la interacción entre peligro (susceptibilidad y parámetro de evaluación) y vulnerabilidad, resultando en la estimación del riesgo para proponer medidas de prevención y reducción.

Etapas principales de la metodología EVAR

- ✓ **Identificación del peligro:** Se identifican y caracterizan los peligros de origen natural o inducidos por el hombre, como inundaciones, erupciones volcánicas, remoción en masa o incendios forestales.
- ✓ **Análisis de la vulnerabilidad:** Se evalúa la vulnerabilidad de la población y la infraestructura en sus dimensiones social, económica y ambiental.
- ✓ **Cálculo del riesgo:** Se combina el análisis de peligro y vulnerabilidad para estimar el nivel de riesgo de desastres, determinando la probabilidad y gravedad de las consecuencias.
- ✓ **Propuesta de medidas:** Se desarrollan recomendaciones de medidas de prevención y reducción del riesgo, tanto estructurales como no estructurales, para minimizar los riesgos existentes y evitar la generación de nuevos riesgos.

Componentes clave de la metodología

- ✓ **Investigación detallada:** Se realiza una investigación exhaustiva en el área de influencia geográfica, recopilando información sobre parámetros, factores y descriptores del peligro.
- ✓ **Enfoque interdisciplinario:** Involucra a profesionales de diversas disciplinas, como geología, hidrología, ingeniería civil y gestión ambiental.
- ✓ **Evaluación por etapas:** Se ajusta el nivel de análisis según la etapa del proyecto y la información disponible.
- ✓ **Participación comunitaria:** Se considera importante la integración de las comunidades locales en el proceso para fortalecer la adopción de medidas preventivas.

1.9.2.FASES DE LA EVALUACIÓN DE RIESGOS

La metodología de evaluación de riesgos de desastres del CENEPRED se ejecuta en tres etapas:

- ✓ **Planeamiento y organización:** Se establece el marco para la evaluación de riesgos. Los Gobiernos Locales, en coordinación con los Gobiernos Regionales, elaboran el Programa Anual de Evaluación de Riesgos.
- ✓ **Trabajo de campo:** Se realiza la recolección de datos y la identificación de los elementos del peligro y la vulnerabilidad en el área de estudio.
- ✓ **Gabinete:** Se procesa la información obtenida en el trabajo de campo para generar el informe de evaluación de riesgos.

1.9.3.HERRAMIENTAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA UTILIZADAS

- ✓ ARCMAP
- ✓ SAS PLANET
- ✓ QGIS
- ✓ HEC-RAS
- ✓ GLOBAL MAPPER
- ✓ GOOGLE EARTH PRO

1.9.4.FUENTES DE INFORMACIÓN DE HIDROLOGÍA

- ✓ MED ALOS PALSAR 12.5 m – JAXA/NASA ASF **Vertex:** <https://search.asf.alaska.edu>
- ✓ Red hídrica, unidades hidrográficas, geomorfología, curva número, zonas climáticas – **SNIRH/ANA:** <https://snirh.ana.gob.pe/ConsultaIDE/>
- ✓ Datos hidrometeorológicos - **ANA:** <https://snirh.ana.gob.pe/VisorPorCuenca/>
- ✓ Datos meteorológicos - **SENAMHI:** <https://www.senamhi.gob.pe/site/descarga-datos/>

2. CAPITULO II: SITUACIÓN GENERAL DEL ÁMBITO DE ESTUDIO

2.1. CARACTERÍSTICAS GENERALES

El área de estudio corresponde a las instalaciones de la Empresa de Generación Eléctrica Machupicchu S.A. – EGEMSA (KM122) ubicado en el distrito de Machupicchu, provincia de Urubamba, Región Cusco.

2.1.1. UBICACIÓN

2.1.1.1. Ubicación Geográfica (UTM)

- Este : 764666.52 m.
- Norte : 8542254.80 m.
- Altitud : 1820 m.s.n.m.
- Zona : 18S
- Datum : WGS84


2.1.1.2. Ubicación Geopolítica

- Región : Cusco.
- Provincia : Urubamba
- Distrito : Machupicchu
- Zona : Empresa de Generación Eléctrica Machupicchu S.A. – EGEMSA (KM122).

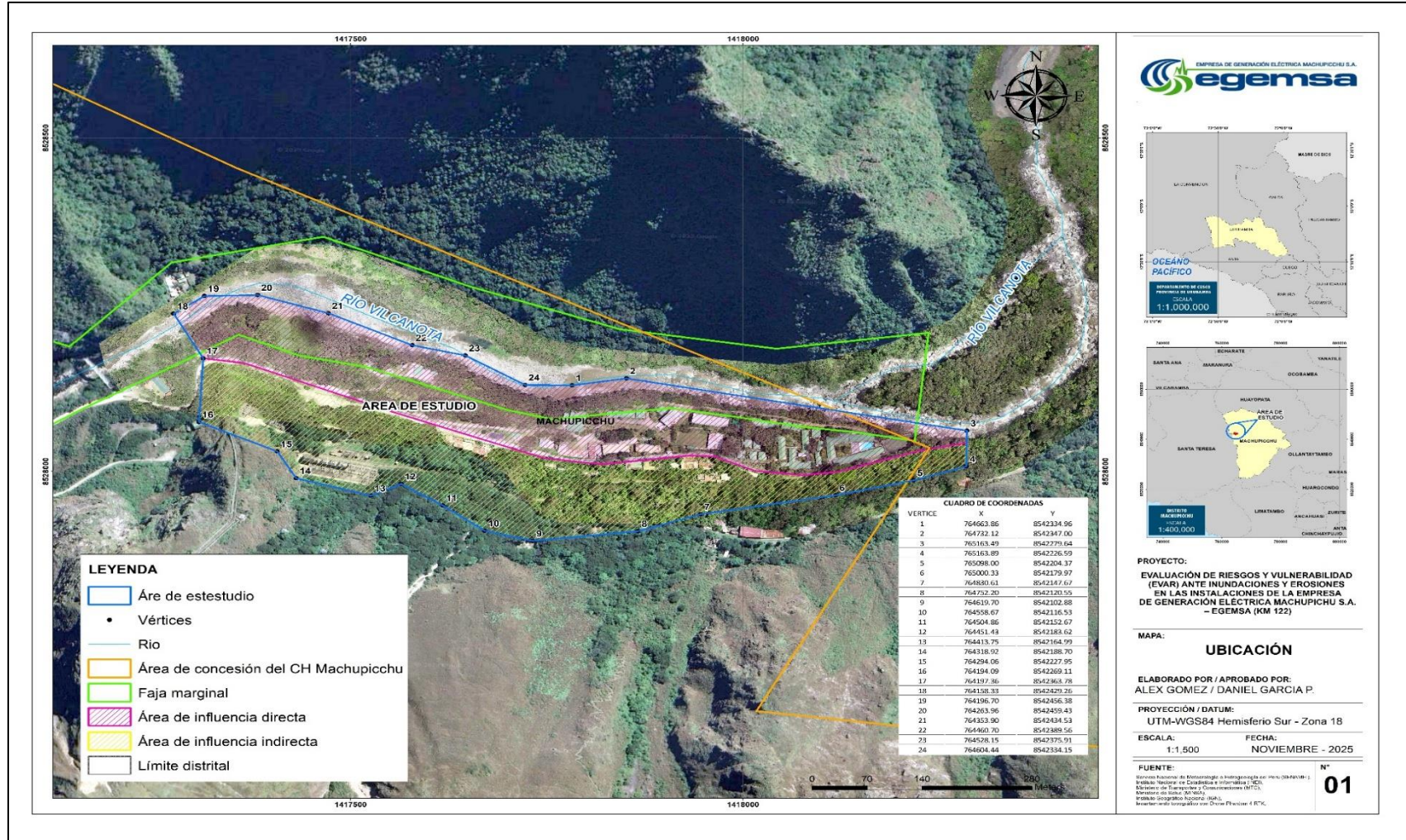
Cuadro N°5: Coordenadas del ámbito de estudio

CUADRO DE COORDENADAS		
VERTICE	X	Y
1	764663.86	8542334.96
2	764732.12	8542347.00
3	765163.49	8542279.64
4	765163.89	8542226.59
5	765098.00	8542204.37
6	765000.33	8542179.97
7	764830.61	8542147.67
8	764752.20	8542120.55
9	764619.70	8542102.88
10	764558.67	8542116.53
11	764504.86	8542152.67
12	764451.43	8542183.62
13	764413.75	8542164.99
14	764318.92	8542188.70
15	764294.06	8542227.95
16	764194.09	8542269.11
17	764197.36	8542363.78
18	764158.33	8542429.26
19	764196.70	8542456.38
20	764263.96	8542459.43
21	764353.90	8542434.53
22	764460.70	8542389.56
23	764528.15	8542375.91
24	764604.44	8542334.15

Fuente: Equipo evaluador.


LESLY STELLA
DE LA CRUZ MARCELO
INGENIERA CIVIL
Reg. CIP N° 151547

Mapa N° 1: Ubicación del área de estudio



Fuente: Equipo evaluado

UGO PIÑELLA
DE LA CRUZ MARCELO
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 151457

2.1.2. VÍAS DE ACCESO

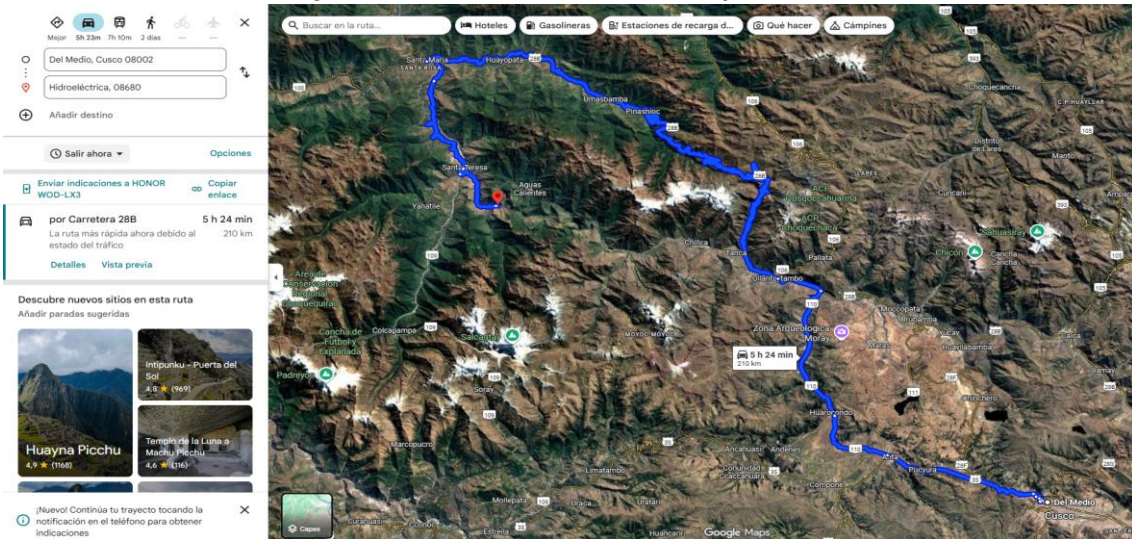
El acceso hacia la Empresa de Generación Eléctrica Machupicchu S.A. – EGEMSA (KM122), tomando como punto de partida la ciudad de cusco es a través de métodos, donde el tiempo aproximado según cada ruta de acceso se detalla en el siguiente cuadro.

Cuadro N°6: Acceso desde plaza de Armas de cusco hacia la Central Hidroeléctrica

Tramo	Distancia	Tiempo (horas)	Tipo de Vía	Estado
Plaza de Armas Cusco – Santa María - Santa Teresa – Hidroeléctrica	211 km	5 h 30 min	Asfaltado y Trocha carrozable	Bueno
Plaza de Armas Cusco - Ollantaytambo – aguas Calientes –Hidroeléctrica	210 km	7 h 51 min	Asfaltado y riel	Bueno

Fuente: Google maps, 2025.

Figura N° 4: Accesibilidad al área de estudio por carretera



Fuente: Google maps.

Figura N° 5: Accesibilidad al área de estudio por carretera y riel



Fuente: Google maps

A finales de noviembre de 2025, la principal vía de acceso a la zona de la Central Hidroeléctrica Machupicchu (CHM) desde Cusco, que combina carretera y tren, se encuentra operativa pero sujeta a posibles interrupciones debido a conflictos locales y riesgos naturales.


LESLY STELLA
 DE LA CRUZ MARCELO
 INGENIERA CIVIL
 Reg. CIP N° 151547

✓ **Condiciones Generales de Acceso**

El acceso a la central hidroeléctrica, que está ubicada cerca de la estación de tren conocida como "Hidroeléctrica" (km 122 de la vía férrea), se realiza principalmente a través de dos rutas logísticas desde Cusco:

a) Ruta Combinada (Carretera + Tren/Caminata) - La más común para la zona

Cusco a Santa María (Carretera): Esta ruta por carretera es generalmente estable. El Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC) continúa trabajando en el mejoramiento de la carretera Santa María–Santa Teresa–Puente Hidroeléctrica, con avances reportados a finales de 2024 para mejorar la conectividad y reducir el tiempo de viaje.

Santa María a Santa Teresa / Hidroeléctrica (Carretera/Trocha): Este tramo es más susceptible a las condiciones climáticas y puede tener interrupciones.

Hidroeléctrica a la Central (Vía Férrea): El tramo final es a lo largo de la vía férrea. Esta área es conocida por ser propensa a deslizamientos de tierra, especialmente durante la temporada de lluvias. En abril de 2024, un deslizamiento dañó un puente en esta ruta, lo que generó interrupciones temporales.

b) Ruta Directa en Tren (Cusco/Ollantaytambo a Aguas Calientes, luego a la Central)

Cusco/Ollantaytambo a Aguas Calientes: Los servicios de tren de empresas como PeruRail e Inca Rail están operativos, pero a lo largo de 2025 han enfrentado huelgas temporales y bloqueos de la vía férrea por conflictos sociales relacionados con la licitación del servicio de buses locales, lo que ha llevado a la suspensión de operaciones en septiembre de 2025.

Aguas Calientes a la Central: El acceso final a la CHM desde Aguas Calientes (Machupicchu Pueblo) es por la vía férrea, que requiere coordinación logística especial con EGEMSA o el concesionario de la vía.

✓ **Resumen de Condiciones (partir del trabajo realizado el 21 y 22 de octubre 2025)**

- **Operatividad:** Las rutas están diseñadas para estar operativas y no hay cierres planificados a largo plazo.
- **Vulnerabilidad:** Ambas rutas principales son vulnerables: la ruta terrestre/férrea a la Hidroeléctrica por deslizamientos durante la temporada de lluvias (octubre a abril) y la ruta férrea turística por conflictos sociales y huelgas esporádicas.
- **Recomendación:** Para el acceso logístico o de personal a la central, es fundamental coordinar previamente con EGEMSA y consultar los comunicados oficiales de los operadores de trenes (PeruRail) para verificar el estado de las vías en tiempo real, especialmente si se viaja por motivos operativos.



LESLY STELLA
DE LA CRUZ MARCELO
INGENIERA CIVIL
Reg. CIP N° 151547

2.2. CARACTERÍSTICAS SOCIALES DEL ÁMBITO DE ESTUDIO

2.2.1. POBLACIÓN

Se ha identificado de una población aproximada de 70 pobladores en el ámbito de estudio, donde 20 personas se dedican al comercio y 50 de ellas son personal de EGEMSA.

2.2.2. ESTRUCTURAS PROVISIONALES DEL 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 aproximadamente con material estructural de ladrillo mampostería y prefabricados.

2.2.3. MÓDULOS 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. CONDICIONES FÍSICAS DEL ÁREA DE ESTUDIO

En este capítulo se describirá las características físicas que el equipo evaluador ha identificado en el área de estudio, esta descripción corresponde a las unidades geológicas, geomorfológicas y pendientes del área de estudio y el área de influencia a una escala local que permita conocer a detalle la composición física.

2.3.1. UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS LOCALES

La geomorfología estudia las formas del relieve terrestre y los procesos que las modelan, tales como la tectónica, la erosión, el transporte y la sedimentación (Tricart, 1981). **En el presente estudio, la delimitación de unidades geomorfológicas se realizó a partir de la cartografía regional de INGEMMET, en la cual se reconocen las unidades montaña en roca intrusiva, vertiente o piedemonte y cauce de río.**

Sin embargo, debido a la mayor escala de trabajo y al análisis detallado de campo y gabinete, dichas unidades fueron refinadas y subdivididas en unidades geomorfológicas locales, tales como montaña en roca intrusiva, laderas de pendiente moderada, abanicos de piedemonte, terrazas fluviales, cauces fluviales y canales de flujo de detritos. Esta diferenciación permitió una mejor representación de los procesos geomorfológicos activos y heredados, así como una caracterización más precisa de la dinámica del relieve en la zona de estudio.

El análisis geomorfológico considera la relación entre litología, topografía y procesos superficiales, lo cual contribuye a comprender la evolución del paisaje y proporciona información clave para la evaluación de peligros geológicos y la adecuada gestión del territorio.



LESLY STELLA
DE LA CRUZ MARCELO
INGENIERA CIVIL
Reg. CIP N° 151547

Cuadro N°7: Unidades Geomorfológicas reconocidas en la Zona de estudio.

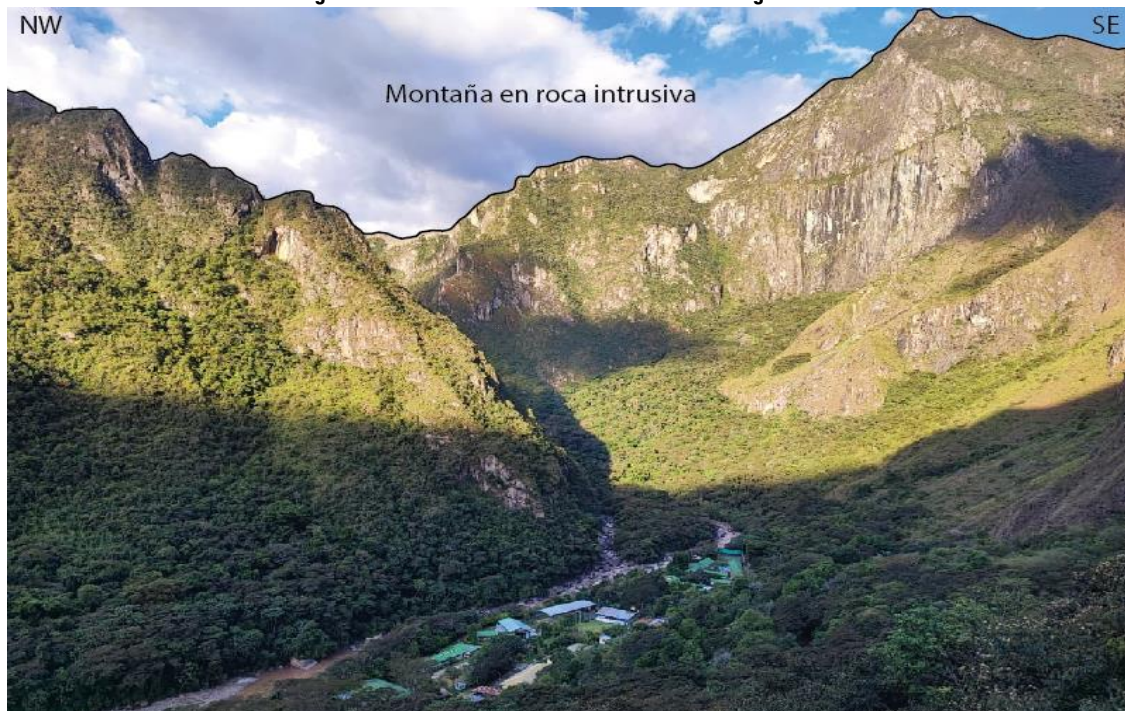
GEOFORMAS DE ORIGEN DENUDACIONAL	
UNIDAD	SUBUNIDAD
Montaña	Montaña en roca intrusiva
Ladera	Laderas de pendiente moderada en roca intrusiva
UNIDAD	SUBUNIDAD
Cauce o canal	Canal de flujo de detritos
	Cauce fluvial
Terraza	Terraza fluvial
UNIDAD	SUBUNIDAD
Abanico	Abanico de piedemonte

Fuente: Equipo evaluador.

✓ **Montaña en roca intrusiva (M-ri)**

Esta unidad geomorfológica está conformada por elevaciones de fuerte pendiente y topografía irregular, modeladas sobre rocas intrusivas graníticas. Su morfología se debe principalmente a procesos denudacionales como la meteorización, así como a la acción de la gravedad, que favorece la formación de laderas escarpadas y crestas angulosas. Estas montañas constituyen el relieve estructural más antiguo y estable del área, actuando como zonas fuente de sedimentos y de origen de los procesos erosivos y de remoción en masa.

Figura N° 6: Vista de montaña en roca intrusiva granítica.



Fuente: Equipo evaluador.

✓ **Ladera de pendiente moderada en roca intrusiva (L-ri)**

Esta unidad corresponde a las **porciones bajas y medias de una gran montaña** desarrollada sobre el basamento granítico de Machupicchu. Se trata de superficies inclinadas con pendientes moderadas que conectan los sectores montañosos altos con los valles fluviales. Estas laderas presentan una cobertura discontinua de suelos y vegetación, y representan zonas de transición entre el relieve rocoso estructural y las geoformas acumulativas de piedemonte y valle.

Figura N° 7: Vista de ladera de pendiente moderada en roca intrusiva.



Fuente: Equipo evaluador.

✓ **Canal de flujo de detritos (C-fd)**

Se trata de una geoforma de origen erosional, conformada por cauces estrechos y de fuerte pendiente, por donde se canalizan flujos torrenciales de alta energía (flujos de detritos o huaicos). Estos canales presentan huellas de erosión intensa, depósitos caóticos de bloques y una morfología irregular. Su dinámica está controlada por eventos esporádicos como fuertes luvias, que movilizan materiales desde las laderas hacia zonas bajas.

Figura N° 8: Vista de canal de flujo de detritos.



Fuente: Equipo evaluador.

✓ **Cauce fluvial (C-f)**

Unidad geomorfológica de origen erosional fluvial, formada por la acción continua de corrientes de agua. Presentan lechos bien definidos, con márgenes y terrazas asociadas. El cauce fluvial presenta una morfología encajada de montaña, con tramos sinuosos a trezados, controlados por la estructura del macizo granítico Machupicchu y la alta energía del flujo.

Figura N° 9: Vista del cauce fluvial del rio Vilcanota.



Fuente: Equipo evaluador.

✓ **Terraza fluvial (T-f)**

Las terrazas fluviales son superficies planas o suavemente inclinadas que representan antiguos niveles de cauce, generadas por la alternancia entre procesos de erosión y sedimentación. Se originan cuando el río incide nuevamente sobre su propio lecho, dejando expuestos depósitos aluviales elevados respecto al cauce actual.

Figura N° 10: Vista panorámica de terraza fluvial.



Fuente: Equipo evaluador.

✓ **Abanico de piedemonte (Ab)**

El abanico de piedemonte es una geoforma acumulativa que se forma en la transición entre un valle o quebrada y laderas adyacentes, cuando la pendiente disminuye y los flujos pierden energía, provocando la deposición de sedimentos previamente transportados desde las zonas altas. Morfológicamente se manifiesta como una superficie en forma de abanico o cuña, compuesta por depósitos gradacionales que van desde gravas y bloques cerca de la boca del valle hasta arenas y limos hacia la periferia. Estas unidades pueden presentar riesgo por reactivación de canales durante eventos torrenciales.

Figura N° 11: Vista panorámica de abanico de piedemonte.



Fuente: Equipo evaluador.

2.3.1.1. *Procesos geomorfológicos activos*

En la zona de estudio se identifican diversos procesos geomorfológicos activos que condicionan la estabilidad del terreno y la dinámica del río Vilcanota. Estos procesos están estrechamente vinculados a la alta pendiente del relieve, la naturaleza fracturada del macizo granítico y la presencia de depósitos cuaternarios no consolidados. Su reconocimiento es fundamental para evaluar los peligros de **erosión lateral, socavación, deslizamientos, caída de rocas y flujos de detritos**. A continuación, se detallan los principales procesos activos y su impacto:

a) **Erosión de márgenes del río**

La erosión lateral constituye uno de los procesos dominantes en el tramo evaluado. Se manifiesta mediante:

- Corte vertical de taludes fluviales

El río socava la base de depósitos sueltos (terrazas fluviales, depósitos aluviales y coluvio-aluviales), produciendo taludes casi verticales, exposición de raíces y pérdida progresiva del borde.

- Migración lateral del cauce

La combinación de alta energía del flujo y bajo confinamiento en algunos sectores favorece el desplazamiento del cauce hacia márgenes débiles.

- Remoción del material en terrazas antiguas

Las terrazas fluviales, al encontrarse elevadas pero compuestas por material no consolidado, sufren erosión basal durante crecidas, lo que genera colapsos súbitos.

b) Socavación basal

La socavación actúa principalmente en unidades sueltas y se produce cuando el río erosiona la base de un talud, generando pérdida de soporte; ocasionando colapso del talud por sobrecarga, generación de deslizamientos pequeños y medianos, retroceso acelerado de taludes y avance del cauce hacia zonas más inestables

Este proceso es especialmente intenso durante avenidas y crecidas estacionales.

c) Retroceso de taludes en roca y suelo

El retroceso implica la pérdida progresiva de material desde la parte alta de taludes o laderas.

- Retroceso en roca (granito fracturado)

La meteorización química y física debilita bloques en superficie. Además, La presencia de fallas y fracturas facilita la caída de rocas de diversos tamaños. Este retroceso aporta clastos al cauce, aumentando la rugosidad del lecho.

- Retroceso en depósitos sueltos

En terrazas y abanicos, la infiltración debilita el contacto suelo-roca. formándose microdeslizamientos y desprendimientos superficiales. El retroceso es más evidente tras periodos de lluvia prolongada.

d) Caída de rocas (rockfall)

Proceso frecuente en laderas escarpadas sobre el Granito Machupicchu. Ocasionado principalmente por planos de fractura subverticales, expansión térmica y meteorización, vibraciones - sismos o lluvias intensas

e) Flujos de detritos (debris flows)

Los canales de flujo de detritos (C-fd) son conductos naturales que transportan material en eventos de lluvia intensa, sobrecarga de materiales en la parte alta de las quebradas, saturación rápida del suelo

f) Saturación estacional en laderas

Durante la época de lluvias:

- Aumenta la presión intersticial en depósitos sueltos, esto reduce la resistencia al corte y puede generar pequeños deslizamientos o reptación.
- Se forman cárcavas y surcos de erosión, particularmente en laderas moderadas con coberturas delgadas de suelo.

Cuadro N°8: Clasificación de unidades geomorfológicas según su impacto en la dinámica del cauce.

Unidad geomorfológica	Estabilidad	Vulnerabilidad frente a la erosión / socavación	Impacto sobre el cauce
Montaña y ladera en roca intrusiva	Alta	Baja a moderada	Aporte de bloques, confinamiento del cauce
Canal de flujo de detritos	Baja	Alta	Descarga de material y desvíos temporales
Cauce fluvial	Variable	Alta	Zonas de erosión activa
Terraza fluvial	Baja	Alta	Facilmente socavable durante crecidas
Abanico de piedemonte	Media	Alta	Substrato suelto susceptible a remoción

Fuente: Equipo evaluador

2.3.2. UNIDADES GEOLÓGICAS LOCALES

El área de estudio presenta abundante cobertura vegetal y una geología dominada por el Granito Machupicchu, unidad intrusiva de edad paleozoica que constituye el basamento rocoso principal y controla la morfología abrupta del relieve. A escala regional, según la cartografía de INGEMMET, se reconocen las unidades Granito Machupicchu y depósitos aluviales. Sin embargo, en el presente estudio, y en función del mayor nivel de detalle a escala local, estos últimos han sido diferenciados en depósitos de terraza fluvial, depósitos fluviales, depósitos proluviales y depósitos coluvio–aluviales.

Sobre este substrato se disponen depósitos cuaternarios recientes, producto de la dinámica erosiva y acumulativa de los sistemas de montaña. Destacan las terrazas fluviales como remanentes de antiguos niveles del cauce, los depósitos fluviales actuales asociados al drenaje activo, los abanicos proluviales en zonas de piedemonte y los depósitos coluvio–aluviales vinculados a la remoción en masa en laderas. En conjunto, estas unidades reflejan un paisaje intensamente modelado por la interacción entre la litología granítica, la tectónica local y los procesos erosivos y deposicionales recientes.

✓ Granito Machupicchu (PET-mach-gr)

El Granito Machupicchu de edad Permico-Triásico, corresponde a una roca ígnea intrusiva de composición granítica a granodiorítica, de textura fanerítica media a gruesa, en la que se reconocen cristales de cuarzo anhedral, plagioclasa y biotita. Presenta color gris claro con moteado oscuro, y una estructura maciza, aunque localmente exhibe fracturación y diaclasamiento que favorecen su meteorización. Esta litología constituye el basamento principal del área, controlando la morfología abrupta y escarpada del relieve. Su resistencia mecánica es elevada, pero la presencia de fallas y fracturas propicia la formación de bloques y la generación de procesos de deslizamiento o caída en zonas de ladera.

Figura N° 12: Izquierda; Vista de afloramiento con presencia de fracturas paralelas. Derecha; vista de acercamiento de granito. (764429/ 8541869).



Fuente: Equipo evaluador.

Figura N° 13: Vista de acercamiento en plano de falla con presencia de estrías. (763513/ 8542195).



Fuente: Equipo evaluador

✓ **Depósito de terraza fluvial (Q-tfl)**

Esta unidad está constituida por bloques y gravas en matriz arenosa depositados durante antiguas fases de actividad fluvial, cuando el cauce principal se encontraba a un nivel superior al actual. Representa antiguos lechos de río que fueron abandonados por incisión posterior del cauce. Los depósitos muestran, débil compactación y una morfología plana a ligeramente inclinada, elevada respecto al cauce moderno. Su presencia indica fluctuaciones en el régimen hidrológico.

Figura N° 14: Vista panorámica de depósito de terraza fluvial. (763490/ 8542267).



Fuente: Equipo evaluador.

✓ **Deposito proluvial (Q-pro)**

Corresponde a acumulaciones antiguas de origen torrencial formadas en las zonas de piedemonte, donde los flujos provenientes de quebradas de montaña pierden energía y depositan su carga sedimentaria. Están compuestos por gravas y bloques angulosos en matriz areno-limosa, pobremente seleccionados y con escasa estratificación. Representan fases de sedimentación episódica vinculadas a eventos de lluvias intensas y alta escorrentía. Su morfología característica es la de abanicos aluviales.

Figura N° 15: Vista panorámica de depósitos proluviales antiguos. (763348/ 8542528)



Fuente: Equipo evaluador.

✓ **Deposito fluviales (Q-fl)**

Esta unidad está conformada por materiales no consolidados de origen fluvial, dispuestos a lo largo del cauce activo y sus márgenes. Los depósitos observados presentan una composición heterogénea, con predominio de fragmentos de granito y rocas metamórficas, en una matriz arenosa y limo–arenosa. Se identifican variaciones granulométricas que van desde arenas y gravas finas en sectores de baja energía, hasta bloques subredondeados y angulosos de hasta 2 metros en tramos más encajados. Estos materiales se disponen de forma caótica.

Figura N° 16: Vista transversal de depósitos fluviales. (764066/ 8542335)



Fuente: Equipo evaluador.

Figura N° 17: Vista de variación granulométrica desde arenas y gravas (izquierda) pasando por cantos y bloques redondeados hasta grandes bloques métricos. (764066/ 8542335)

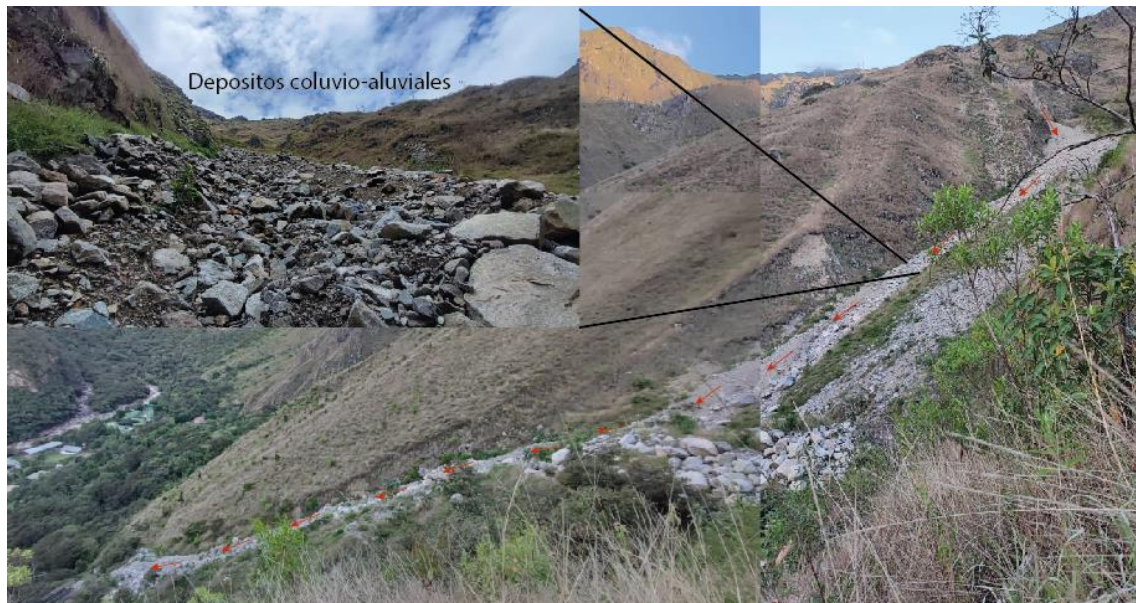


Fuente: Equipo evaluador.

✓ **Depósitos coluvio-aluvial (Q-coal)**

Esta unidad está conformada por materiales heterométricos mal seleccionados, con bloques, gravas, arenas y limo, depositados por flujos de detritos de alta densidad generados en laderas inestables. Se dispone generalmente en las salidas de quebradas o sobre pendientes medias, mostrando una estructura caótica y ausencia de estratificación. Estos depósitos representan eventos de corta duración, pero gran energía, asociados a procesos de remoción en masa o huacos recientes. Su presencia indica una dinámica erosiva activa y zonas potencialmente inestables.

Figura N° 18: Vista panorámica y de acercamiento de depósitos coluvio-aluviales. (764430/ 8541865).



Fuente: Equipo evaluador.

2.3.2.1. Aplicación de la geología en el análisis dl peligro

La geología del área controla de manera directa la estabilidad de taludes, la dinámica del cauce y la susceptibilidad a procesos erosivos y de remoción en masa. El contraste entre el Granito Machupicchu, de alta resistencia, pero altamente fracturado, y los depósitos cuaternarios sueltos, confiere al terreno una heterogeneidad geomecánica que intensifica los peligros geológicos. A continuación, se desarrolla el análisis de cómo cada unidad geológica influye en el peligro identificado.

- Granito Machupicchu

Constituye el basamento estructural de la zona, caracterizado por una alta resistencia mecánica en estado masivo. Su composición granítica y su estructura maciza lo hacen poco susceptible a la erosión profunda, lo que brinda una base geológicamente estable. Sin embargo, este macizo presenta redes de fracturas y fallas identificadas en campo bien desarrolladas que actúan como planos de debilidad, favoreciendo la meteorización, infiltración y desprendimiento de bloques, especialmente en laderas de fuerte pendiente. La interacción entre estas fracturas y la gravedad genera caída de rocas, proceso frecuente durante periodos de saturación o tras eventos de lluvia intensa. Asimismo, el granito controla el encajonamiento del valle, incrementando la velocidad del río y potenciando la socavación en sectores donde el flujo impacta directamente contra paredes rocosas. Por tanto, aun siendo una unidad competente, su fractura miento la convierte en un factor relevante para la generación de peligros locales.

– Depósitos de terraza fluvial (Q-tfl)

Los depósitos de terraza fluvial representan antiguos niveles del río, compuestos por bloques, cantos, gravas y arenas débilmente compactadas. Su naturaleza suelta y su baja cohesión los hacen extremadamente vulnerables a la erosión lateral y, sobre todo, a la socavación basal. Durante eventos de crecida, el río erosiona la base de estas terrazas, provocando pérdida de soporte del talud y colapsos súbitos. Este retroceso progresivo aporta sedimentos al cauce, modifica la morfología lateral y genera cambios en la dirección del flujo. Debido a estas características, las terrazas fluviales combinan una estabilidad intrínseca baja con una alta exposición al ataque fluvial, por lo que representan una de las unidades con mayor vulnerabilidad dentro del área de estudio.

– Depósitos proluviales (Q-pro)

Los depósitos proluviales corresponden a abanicos antiguos formados por material angular grueso inmerso en una matriz arenosa o limo-arenosa. Esta combinación heterogénea, poco seleccionada y con escasa cohesión hace que los taludes proluviales pierdan resistencia con facilidad tras episodios de saturación. La presencia de material grueso “flotando” en matriz fina favorece la erosión superficial, el desarrollo de cárcavas y la ocurrencia de remociones pequeñas o medianas. Además, cuando el río

alcanza los límites de estos abanicos, erosiona rápidamente su borde, generando inestabilidad y aporte de sedimentos. Por estas razones, los depósitos proluviales presentan una estabilidad moderada a baja y una vulnerabilidad elevada frente a la erosión y la saturación.

– Depósitos fluviales recientes (Q-fl)

Los depósitos fluviales recientes conforman el lecho activo del río y sus márgenes inmediatas. Se componen de una mezcla heterométrica de bloques, gravas, arenas y limos dispuestos sin consolidación alguna. Estos materiales se encuentran saturados con frecuencia y son altamente móviles, deformándose y reconfigurándose constantemente. Taludes formados sobre estos depósitos suelen ser efímeros y colapsan fácilmente por socavación lateral. Asimismo, su movilidad y sensibilidad a las variaciones del caudal hacen que sean las unidades más susceptibles a erosión activa y a cambios bruscos en la forma del cauce. En términos de peligro, los depósitos fluviales recientes exhiben el nivel de vulnerabilidad más alto.

– Depósitos coluvio–aluviales (Q-coal)

Los depósitos coluvio-aluviales consisten en material caótico y mal seleccionado acumulado por flujos de detritos. Presentan bloques de gran tamaño incluidos en una matriz de gravas, arenas, lo que produce un comportamiento geomecánica sumamente inestable. Su cohesión es muy baja y la disposición heterométrica permite que, al saturarse, colapsen con facilidad, generando deslizamientos superficiales, desprendimientos o nuevos flujos de detritos. Su aporte súbito al río puede provocar represamientos temporales, incremento rápido de la carga sólida y mayor erosión aguas abajo. En conjunto, los depósitos coluvio-aluviales representan la unidad geológica más frágil y de mayor vulnerabilidad en el área de estudio.

Cuadro N°9: Tabla comparativa de vulnerabilidad de unidades geológicas.

Unidad geológica	Estabilidad intrínseca	Vulnerabilidad a erosión fluvial	Vulnerabilidad a remisión en masa	Procesos predominantes	Nivel de peligro
Gratito Machupicchu	Alta en roca sana; moderada en zonas de fracturamiento	Baja – moderada	Moderada en laderas fracturadas	Caída de rocas, retroceso de taludes	moderado
Depósitos de terraza fluvial	Baja	Alta	Moderada – Alta	Socavación basal, colapso de talud	Alto
Depósitos proluviales	Moderada – Alta	Alta	Alta (si saturado)	Erosión superficial, remisión en masa	Alto
Depósitos fluviales recientes	Baja	Muy alta	Alta	Erosión lateral. Deformación del borde	Muy alto
Depósitos coluvio – aluviales	Muy baja	Muy alta	Muy alta	Flujo de detritos, colapso, erosión rápida	Muy alto

Fuente: equipo evaluador.

2.3.3. PENDIENTES COMO FACTOR CONDICIONANTE DEL PELIGRO

Las pendientes se han identificado y clasificado en base a la información de la topografía generada con DRON, obteniendo un DEM de resolución de 0.49m, el cual es uno de los múltiples recursos cartográficos de mayor resolución para una mejor precisión de los resultados obtenidos en el EVAR, las pendientes generadas están en grados agrupado en 05 descriptores, nuestra zona de estudio predomina pendientes medias a bajas entre 0° a 25° y en el área de influencia mayores a 25.

Las pendientes del terreno constituyen uno de los factores más importantes en la configuración y evolución de los procesos geomorfológicos que afectan directamente la estabilidad del cauce del río Vilcanota y sus márgenes. En la zona de estudio, las pendientes varían desde sectores abruptos (>35°) en montañas y laderas rocosas, hasta pendientes suaves (<5°) en terrazas y cauce fluviales. Esta variabilidad controla la energía potencial, la dinámica de escorrentía, la movilización de sedimentos y la susceptibilidad a erosión o remoción en masa. A continuación, se desarrolla el rol de las pendientes como condicionantes del peligro:

a) Pendientes fuertes en montaña en roca intrusiva

Las montañas y laderas sobre el Granito Machupicchu presentan pendientes elevadas, que favorecen:

- Alta energía de escorrentía superficial

La precipitación se transforma rápidamente en escorrentía con poca infiltración e incrementa la capacidad erosiva de los flujos sobre suelos delgados o fracturas del macizo rocoso.

- Generación de desprendimientos y caída de rocas

Las fallas y fracturas del granito actúan como planos de debilidad, que sumado a intensas lluvias o sismos, podría generar caída de bloques que pueden llegar al cauce y alterar su dinámica.

- Aporte constante de sedimentos al cauce

La combinación de pendientes altas, sumado a ello la meteorización produce un flujo continuo de material hacia quebradas y canales de detritos. Esto incrementa la carga sólida del río, aumentando su capacidad de socavación.

- Confinamiento del valle y aumento de energía fluvial

Las paredes rocosas empinadas obligan al río a concentrar su flujo en una sección estrecha. Esto produce tramos de alta velocidad, turbulencia y zonas propensas a socavación local.

b) Pendientes moderadas en laderas medias y abanico de piedemonte



LESLY STELLA
DE LA CRUZ MARCELO
INGENIERA CIVIL
Reg. CIP N° 154547

En las laderas intermedias se encuentran pendientes que permiten un desarrollo más claro de suelos y vegetación, pero siguen siendo condicionantes importantes:

- **Retroceso progresivo de taludes:** La meteorización del granito y la saturación estacional debilitan el contacto suelo-roca. Pudiendo producir pequeños deslizamientos superficiales y reptación del suelo.
- **Propagación de sedimentos hacia el sistema fluvial:** Los materiales transportados desde laderas medias alimentan los abanicos y terrazas bajas. Este aporte modifica la capacidad del río para erosionar márgenes durante crecidas.
- **Transición hacia zonas acumulativas inestables:** Muchas laderas moderadas terminan en terrazas o depósitos coluvio–aluviales. Estas transiciones son zonas típicas de inestabilidad por socavación cuando el río ataca su base.

c) Pendientes fuertes en canales de flujo de detritos

Los Canales de flujo de detritos cumplen una función geomorfológica crítica:

- **Concentración de flujos de alta energía:** Al incidir sobre pendientes fuertes, los flujos transportan bloques, cantos y gravas con gran capacidad destructiva. Estos eventos pueden depositar material directamente sobre el cauce principal.
- **Respuesta inmediata a lluvias intensas:** Pequeñas lluvias pueden activar flujos superficiales y lluvias extraordinarias generan flujos de detritos que llegan súbitamente al río.
- **Modificación geomorfológica del cauce:** Descarga y acumulación localizada de materiales pueden generar desviación temporal del flujo, elevación del lecho y erosión compensatoria aguas abajo; esto aumenta el riesgo de socavación en la ribera atacada por el nuevo patrón de flujo.

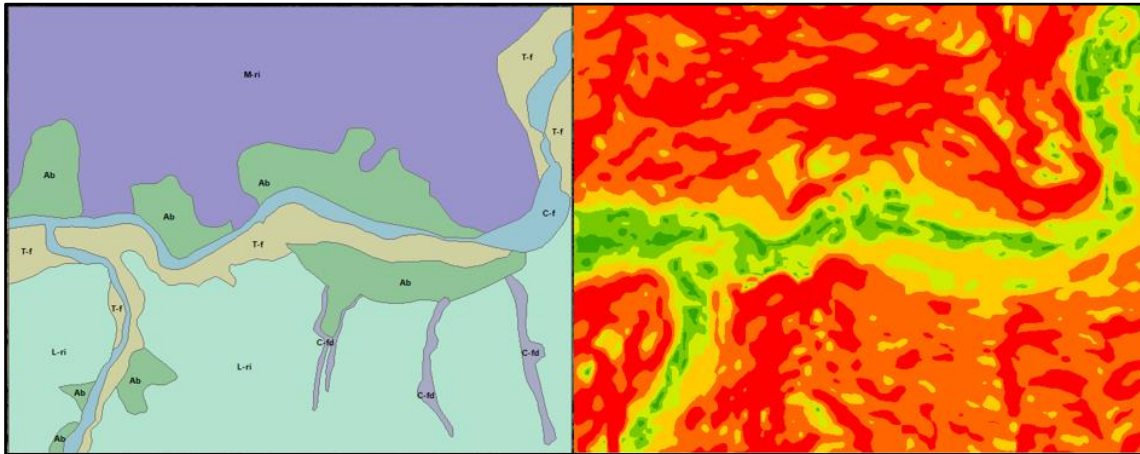
d) Pendientes suaves a planas en terrazas fluviales y canal fluvial

Aunque representan superficies más estables en apariencia, son las más vulnerables ante la acción directa del río:

- **Baja resistencia al corte:** Debido a su composición suelta (arenas, limos, gravas), los taludes verticalizados por erosión lateral colapsan con facilidad.
- **Facilitan la migración lateral del cauce:** Pequeñas variaciones en caudal o carga sedimentaria pueden activar procesos de socavación.
- **Relación directa entre pendientes bajas y procesos de erosión lateral:** Pendientes suaves permiten que el río se desplace o ensanche su cauce, afectando infraestructura o suelos útiles.

- **Mayor susceptibilidad a inundación:** Las pendientes bajas propician la retención de agua en eventos de crecida.

Figura N° 19: Comparativa de mapa geomorfológico local y pendientes.



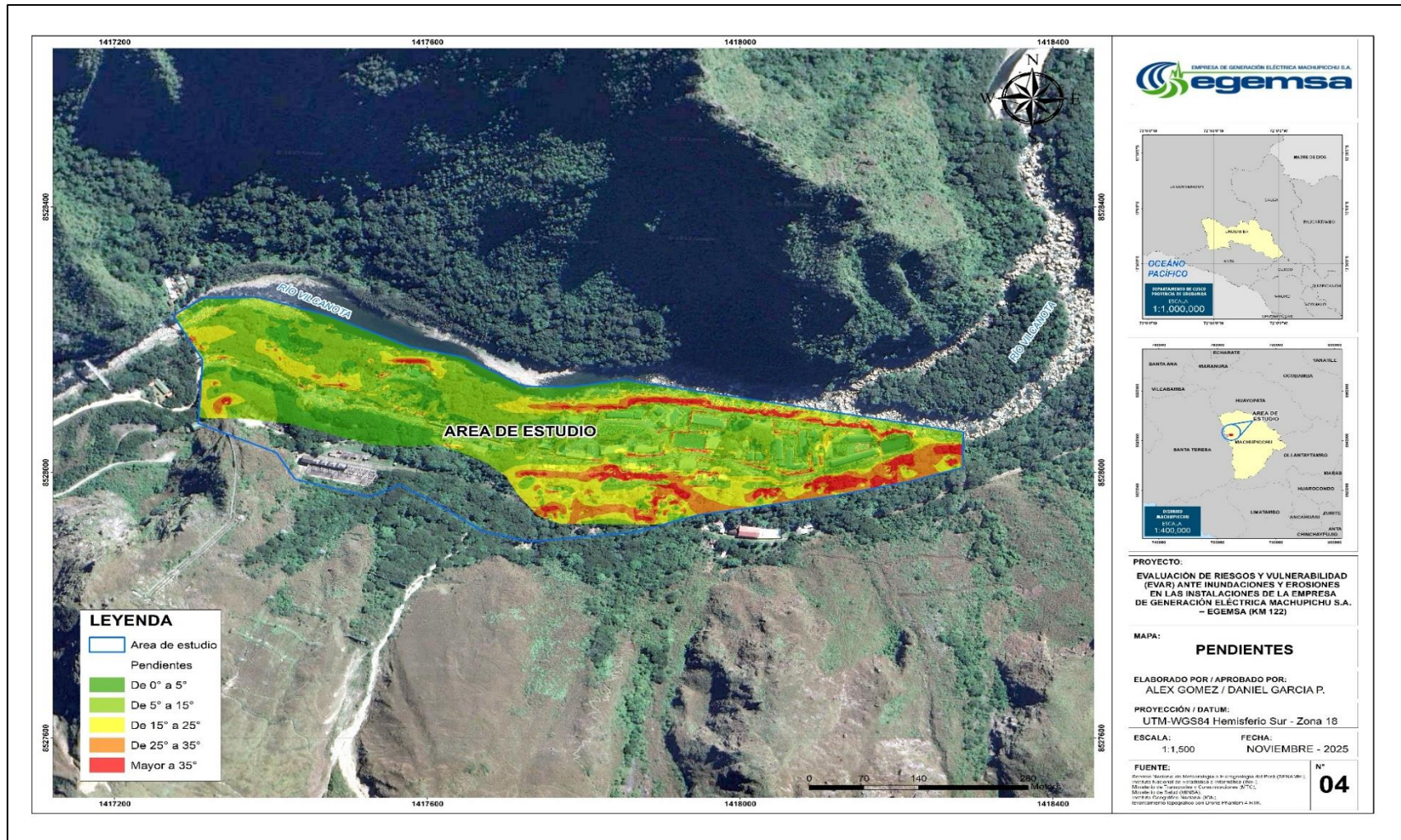
Fuente: Equipo evaluador

Cuadro N°10: Clasificación de pendientes, área de estudio.

GRADOS	DESCRIPCION
Mayor a 35°	Pendientes fuertes en montaña en roca intrusiva
De 25° a 35°	Pendientes moderadas en laderas medias y abanico de piedemonte
De 15° a 25°	Pendientes fuertes en canales de flujo de detritos
De 5° a 15°	Pendientes suaves en terrazas fluviales y canal fluvial
De 0° a 5°	Pendientes planas en terrazas fluviales y canal fluvial

Fuente: Equipo evaluador.

Mapa N° 4: Pendientes



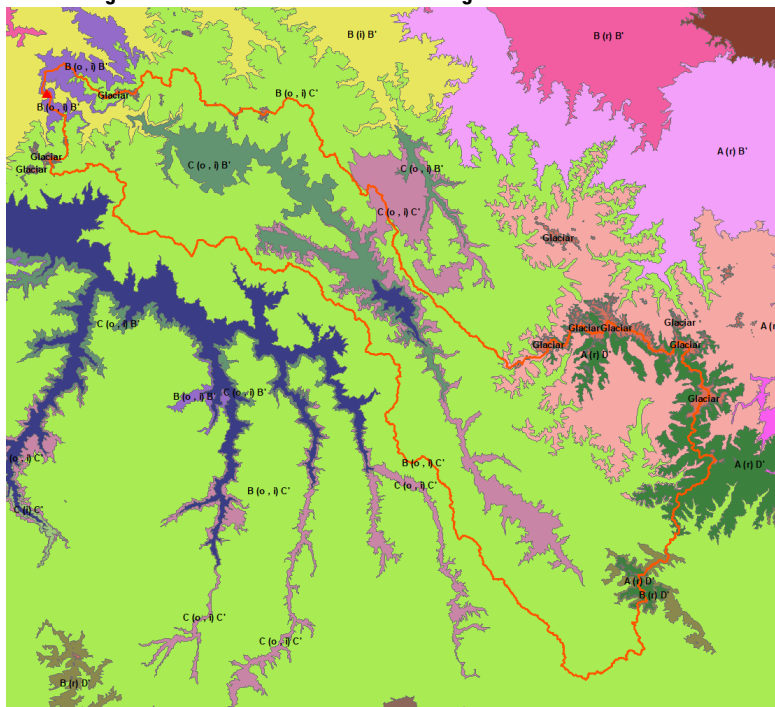
Fuente: Equipo evaluador.

[Firma]
 DE LA CRUZ MARCELO
 INGENIERO CIVIL
 Reg. CIP N° 154517

2.3.4.CONDICIONES CLIMÁTICAS

Según la Clasificación Climática de Warren Thornthwaite - SENAMHI (2020) área de estudio ubicado a la margen izquierda de la cuenca del río Vilcanota presenta una marcada heterogeneidad climática, pero predomina ampliamente el clima B(o,i)C': Lluvioso con otoño e invierno secos. Frío, caracterizado por veranos muy húmedos y estaciones secas bien definidas. Este tipo climático presenta temperaturas máximas entre 9°C y 19°C y mínimas entre 3°C y 3°C, condiciones propias de zonas altoandinas donde las heladas nocturnas y la fuerte variabilidad térmica influyen en la capacidad de infiltración y en la estabilidad superficial de los suelos. La precipitación anual, que oscila aproximadamente entre 500 y 1200 mm, se concentra en más del 75 % entre diciembre y marzo, periodo dominado por lluvias convectivas de alta intensidad asociadas a la advección de humedad amazónica. Esta combinación de estaciones secas prolongadas y lluvias torrenciales estivales genera rápida saturación de suelos, elevados coeficientes de escorrentía y picos de caudal abruptos, especialmente en cuencas empinadas como el Vilcanota, donde la pendiente acelera la propagación de ondas de crecida hacia el tramo final en Machupicchu. Además, en la parte baja convergen subtipos húmedos superiores como B(r)B' y B(r)A', que incrementan la disponibilidad de humedad y favorecen acumulados diarios que superan con frecuencia el percentil 95, detonando eventos de inundación como los observados en 2017 y 2023. Por tanto, la caracterización del clima B(o,i)C' y su transición hacia climas más húmedos en la zona baja explican el comportamiento hidrometeorológico torrencial del Vilcanota y sustentan el peligro de inundación en Machupicchu, justificando el uso de la estación Machupicchu (1964–2024) como referencia climática principal.

Figura N° 20: Clasificación climática según Warren Thornthwaite




LESLY STELLA
DE LA CRUZ MARCELO
INGENIERA CIVIL
Reg. CIP N° 151547

Fuente: SENAMHI.

2.3.5. HIDROLOGÍA

2.3.5.1. Caracterización del área de estudio

Para caracterizar el área de estudio se emplearon las fuentes hidrológicas e información espacial:

- Los parámetros morfométricos de la cuenca fueron derivados del Modelo Digital de Superficie (MDS) ALOS PALSAR de 12.5 m de resolución, producto global proporcionado por la Agencia Japonesa de Exploración Aeroespacial (JAXA) y descargado mediante el portal Vertex de la NASA.
- Información temática de uso y cobertura del suelo a través del mapa de Curva Número del ANA (2015).
- Se integró información vectorial de red hídrica, unidades hidrográficas y demás elementos geomorfológicos provenientes del portal IDE del SNIRH.

El área del proyecto está localizada en la zona sur del Perú, en específico en el departamento de Cusco, provincia de Urubamba en el distrito de Machupicchu.

✓ Delimitación de la cuenca de aporte.


Las áreas de las cuencas incidentes al área de estudio se han obtenido mediante geoprocesamiento en GIS, para lo cual se ha utilizado el Modelo Digital de Superficie (MDS) del producto global ALOS PALSAR de 12.5 metros de resolución, de la Agencia Japonesa de Exploración Aeroespacial (JAXA), y descargado del portal Vertex de la NASA (<https://search.asf.alaska.edu/#/>).

Se han identificado 9 cuencas que inciden al área de estudio cuyo aporte de flujo es de forma lateral, de las cuales se han determinado sus parámetros morfométricos.

Cuadro N°11: Parámetros morfométricos de las cuencas incidentes al área de estudio

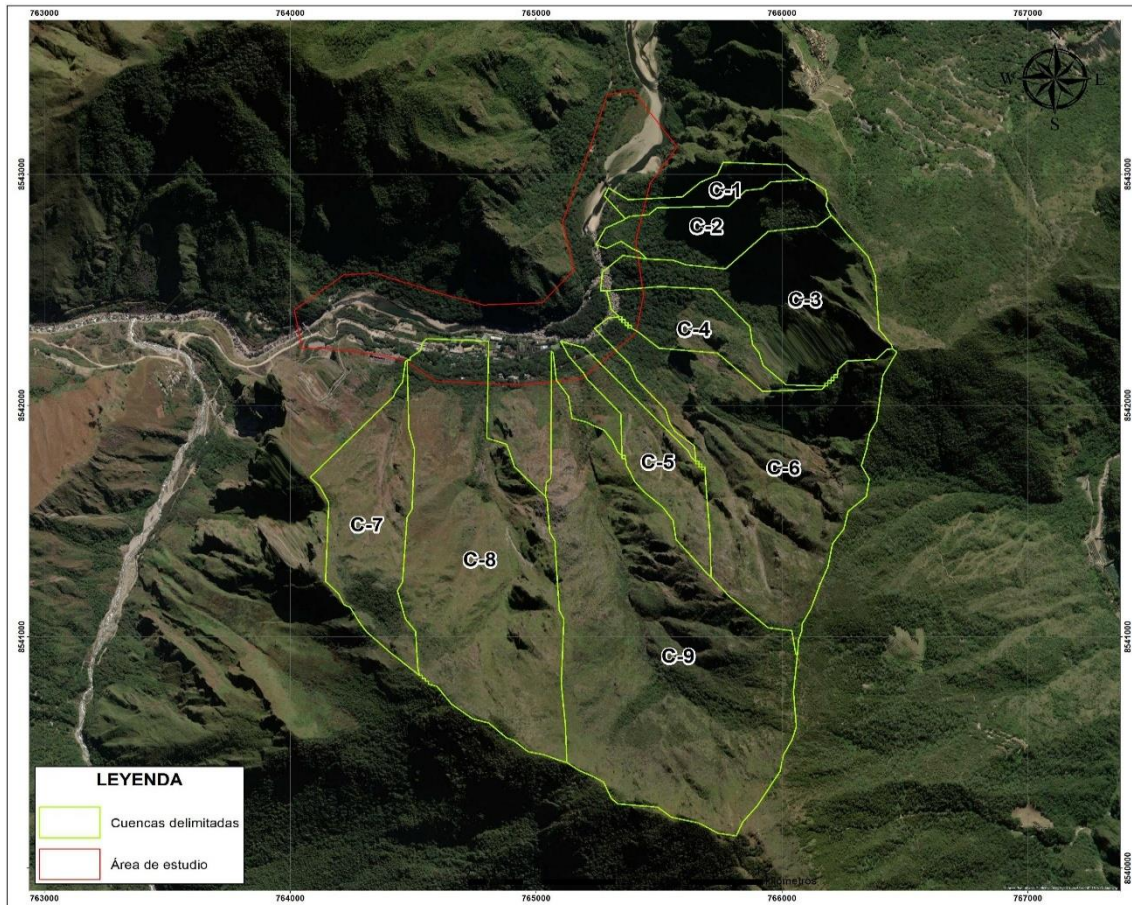
Cuenca	Forma		Relieve		Red de drenaje		
					Cauce de agua más largo		Tiempo de concentración
	Área (A) km ²	Perímetro (P) km	Pendiente media (S) m/m	Elevación media msnm	Longitud km	Pendiente media m/m	
C-1	0.069	1.33	1.026	2235	0.96	0.774	23
C-2	0.189	0.84	0.885	2211	1.13	0.688	25
C-3	0.394	0.79	1.306	2455	1.38	0.798	27
C-4	0.149	1.26	0.759	2091	1.05	0.850	22
C-5	0.162	1.06	0.898	2303	1.28	0.774	27
C-6	0.725	19.38	0.951	2621	1.79	0.727	34
C-7	0.307	1.79	0.747	2379	1.54	0.630	31
C-8	0.838	4.21	0.821	2459	1.98	0.674	35
C-9	1.153	1.06	0.836	2867	2.42	0.675	42

Fuente: Equipo técnico evaluador


 LESLIE STELLA
 DE LA CRUZ MARCELO
 INGENIERA CIVIL
 Reg. CIP N° 151547

Las cuencas delimitadas que inciden de forma lateral se muestran en la siguiente figura.

Figura N° 21: Cuencas delimitadas con incidencia lateral



Fuente: Equipo técnico evaluador

Asimismo, como incidencia directa de flujo hacia el área de estudio, se delimitó la cuenca del río Vilcanota, obteniéndose un área de 9673.4 km², sobre la cual se determinaron sus parámetros morfométricos principales incluyendo pendiente media, densidad de drenaje, coeficiente de compacidad y el orden jerárquico de drenaje según Strahler, a partir de modelos digitales de elevación y la red hidrográfica oficial.

Cuadro N°12: Parámetros morfométricos de forma de la cuenca del río Vilcanota

Cuenca	Forma		
	Área (A)	Perímetro (P)	Índice de compacidad (Kc)
	km ²	km	-
Río Vilcanota	9673.400	835.85	2.38

Fuente: Equipo técnico evaluador

Cuadro N°13: Parámetros morfométricos de relieve de la cuenca del río Vilcanota

Cuenca	Relieve		
	Pendiente media (S)	Elevación media	Coficiente de masividad (Km)
	m/m	msnm	-
Río Vilcanota	0.341	4185	0.4

(Firma manuscrita)
 LESLY STELLA
 DE LA CRUZ MARCELO
 INGENIERA CIVIL
 Reg. CIP N° 151547

Fuente: Equipo técnico evaluador

Cuadro N°14: Parámetros morfométricos la red de drenaje de la cuenca del río Vilcanota

Cuenca	Red de drenaje				
	Cauce de agua más largo		Densidad de drenaje	Orden (Strahler)	Tiempo de concentración
	Longitud	Pendiente media			
	km	m/m	km/km2	-	min
Río Vilcanota	350.65	0.011	0.027	4	1610

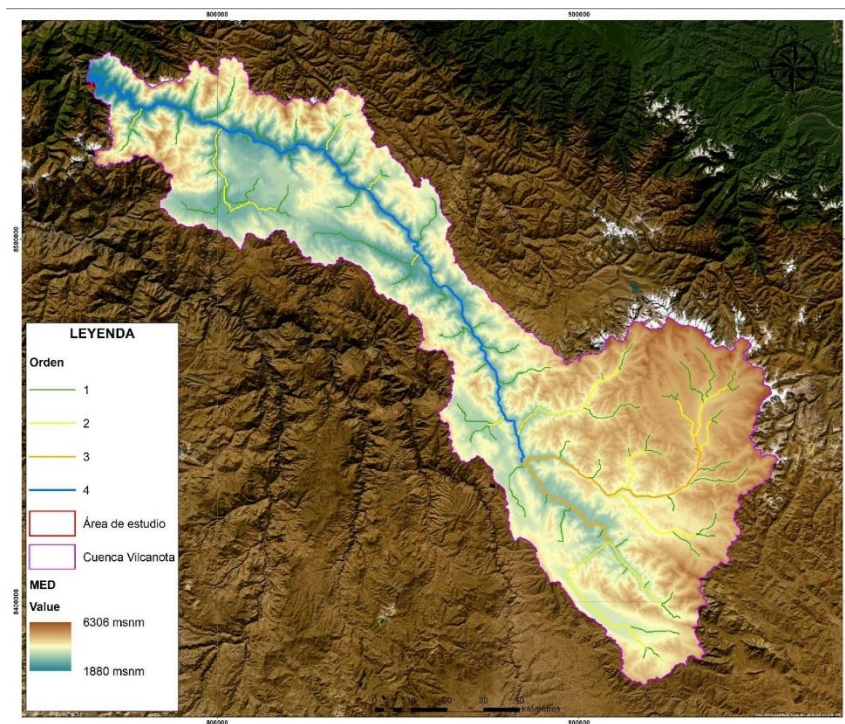
Fuente: Equipo técnico evaluador

La cuenca del Vilcanota se caracteriza por presentar un relieve abrupto, marcada variabilidad altitudinal y un régimen hidrológico influenciado por precipitaciones estacionales asociadas a la dinámica andina. Según interpretación de sus parámetros morfométricos se puede inferir lo siguiente de la cuenca del río Vilcanota:

- _ Cuenca de oval oblonga a rectangular oblonga. Tendencia baja a crecientes o concentración de volúmenes bajos de agua de escorrentía.
- _ Superficie moderadamente montañosa, terreno fuertemente accidentado.
- _ Cuenca pobremente drenada.

Las características morfométricas e hidrológicas de la cuenca Vilcanota determinadas serán útiles para caracterizar la forma, volumen, tiempos de retardo, entre otros, de un hidrograma producido a la salida con influencia directa a la zona de estudio.

Figura N° 22: Cuenca del río Vilcanota



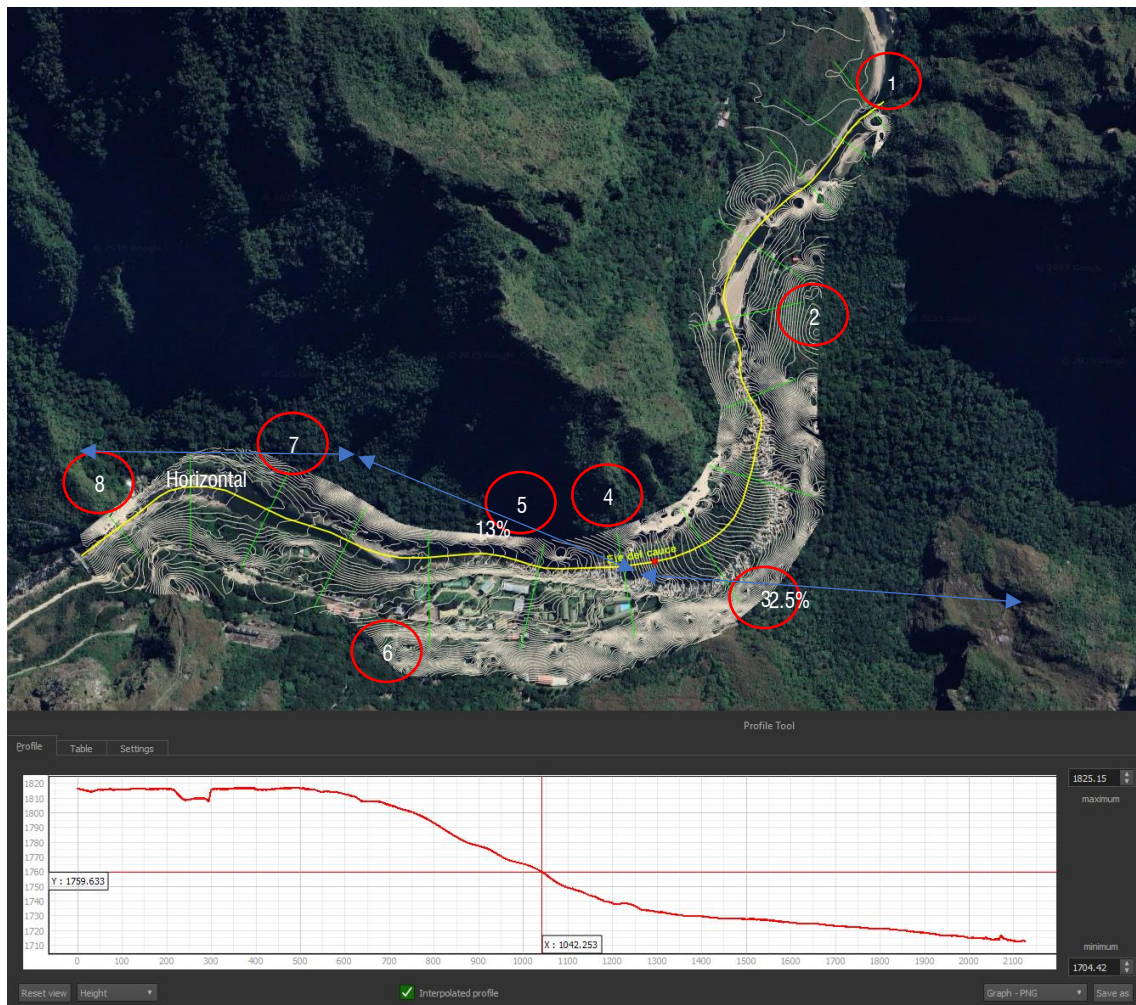

LESLY STELLA
 DE LA CRUZ MARCELO
 INGENIERA CIVIL
 Reg. CIP N° 151547

Fuente: Equipo técnico evaluador

✓ Caracterización Geomorfológica e Hidráulica del Tramo de Estudio


En el entorno SIG se realizó la delimitación detallada del tramo funcional del río, empleando el Modelo Digital de Terreno y cartografía satelital reciente. Se digitalizó el eje del cauce y se identificó la sección activa mediante la elaboración de perfiles transversales equidistantes, lo que permitió determinar el ancho activo, así como reconocer zonas de estrechamiento, expansiones y cambios geomorfológicos a lo largo del cauce.

Figura N° 23: Perfil Longitudinal del tramo funcional del río



Fuente: Equipo técnico evaluador

El tramo comprendido entre las secciones 1 y 8 presenta una marcada variabilidad geomorfológica condicionada por la topografía abrupta de la zona tropical montañosa donde se desarrolla el curso fluvial. El análisis del perfil longitudinal evidencia tres segmentos hidrológicamente contrastantes: un primer tramo entre las secciones 1 y 2 con pendiente prácticamente horizontal, un segundo tramo entre las secciones 2 y 5 donde la pendiente aumenta abruptamente hasta valores cercanos al 13%, y un tercer sector a partir de la sección 5 donde la pendiente se reduce a aproximadamente 2.5%. Esta


LESLY STELLA
DE LA CRUZ MARCELO
INGENIERA CIVIL
Reg. CIP N° 151547

variación genera cambios significativos en el comportamiento hidráulico, la capacidad transportadora y la distribución espacial de los procesos erosivos y sedimentarios.

En el tramo inicial (secciones 1–2), la pendiente horizontal favorece la desaceleración del flujo y la deposición de sedimentos finos y medianos. La geometría transversal indica un valle relativamente más amplio, con formas suaves y mayor estabilidad en las márgenes. Sin embargo, este equilibrio se altera rápidamente aguas abajo, cuando el cauce ingresa al sector de alta pendiente entre las secciones 2 y 5. Aquí, el canal se estrecha y se encajona entre laderas empinadas, dando lugar a un flujo altamente energético, **con incremento notable de los esfuerzos cortantes y predominio de procesos de erosión del lecho y socavación lateral**, especialmente en los márgenes externos de las curvas.

Dentro de este tramo de fuerte pendiente, el área de estudio situada entre las secciones 3 y 5 muestra una transición geomorfológica particularmente relevante. La sección 3 presenta un canal estrecho, profundo y fuertemente condicionado por la pendiente del 13%, con máxima concentración de energía y erosión activa. Hacia la sección 4, aunque la pendiente sigue siendo elevada, se observa un ensanchamiento progresivo y la formación de pequeñas superficies aluviales laterales, indicativas de una ligera pérdida de energía y de una redistribución temporal de sedimentos. Los sedimentos depositados entre las secciones 1 y 2, ante eventos de crecidas son arrastrados y transportados con gran velocidad entre las secciones 2 y 5, con fuerte pendiente. Más allá de la sección 5 la pendiente sigue siendo elevada, pero con menor proporción, manteniendo aún el transporte masivo de sedimentos.

A lo largo del tramo evaluado, las secciones transversales muestran una transición progresiva desde un cauce estrecho y profundamente encajonado aguas arriba (Sección 1 de ancho aprox. 10 m) hacia un cauce más amplio, con meandros marcados y taludes más suaves hacia la parte media del valle (Secciones 4 a 6 de ancho cauce aprox. 60 m). Finalmente, hacia las últimas secciones (7 y 8), el cauce vuelve a confinarse de manera suave.

- **Secciones 1 a 2 – Cauce encajonado de baja pendiente inicial**

En este primer tramo, el cauce presenta un ancho reducido, típicamente entre 8 a 12 metros, con una sección caracterizada por un perfil en “V” marcada debido al encajonamiento entre laderas empinadas. Los taludes laterales son abruptos ($\approx 60\text{--}80^\circ$) y conformados por roca o suelos altamente compactados. Debido a la pendiente prácticamente horizontal, el transporte de sedimentos es limitado, predominando depósitos locales detrás de obstaculizadores naturales. La erosión vertical es baja, pero existe erosión puntual en pies de talud por concentración de flujo en crecidas.

- **Secciones 3 a 5 – Tramo de alta pendiente ($\approx 13\%$), mayor energía y marcado proceso erosivo**

Este tramo registra el mayor cambio geomorfológico: el cauce se ensancha hasta 30–60 metros y adopta una sección más abierta, con taludes de 35–55°, lo que indica una mayor capacidad del río para erosionar lateralmente. Aquí se concentran los procesos de erosión de márgenes, formación de islas temporales y barras laterales, así como discontinuidades en el talud generadas por socavación basal durante crecidas.

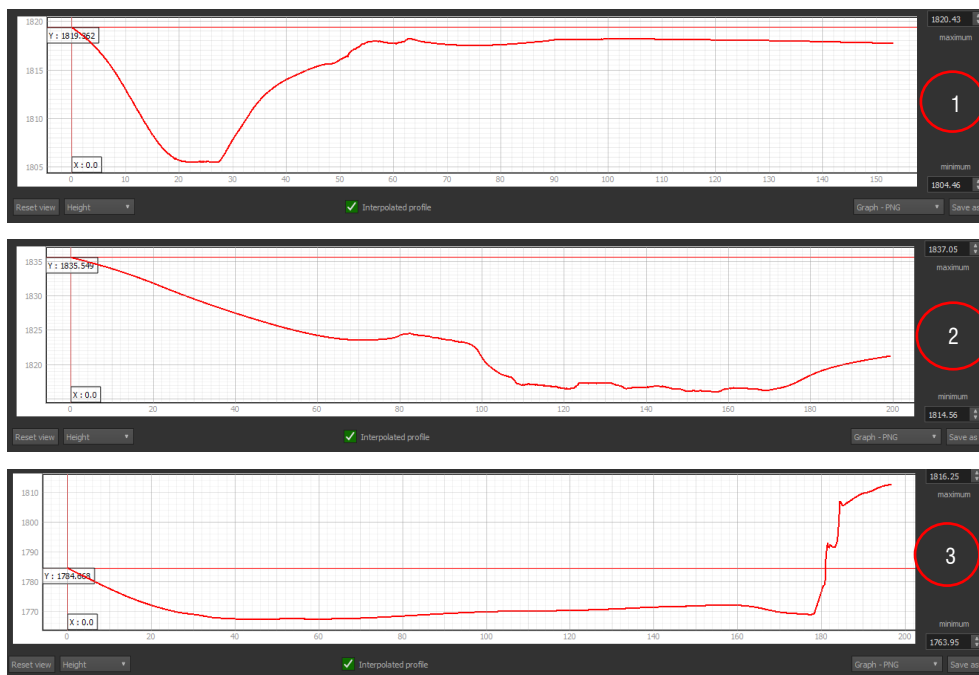
El aumento de la pendiente favorece la remoción de sedimentos acumulados aguas arriba, por lo que este tramo actúa como un sector netamente erosivo, donde la dinámica hidráulica puede generar cambios rápidos en la geometría del canal.

- **Secciones 6 a 8 – Transición hacia menor pendiente, cauce más estable**

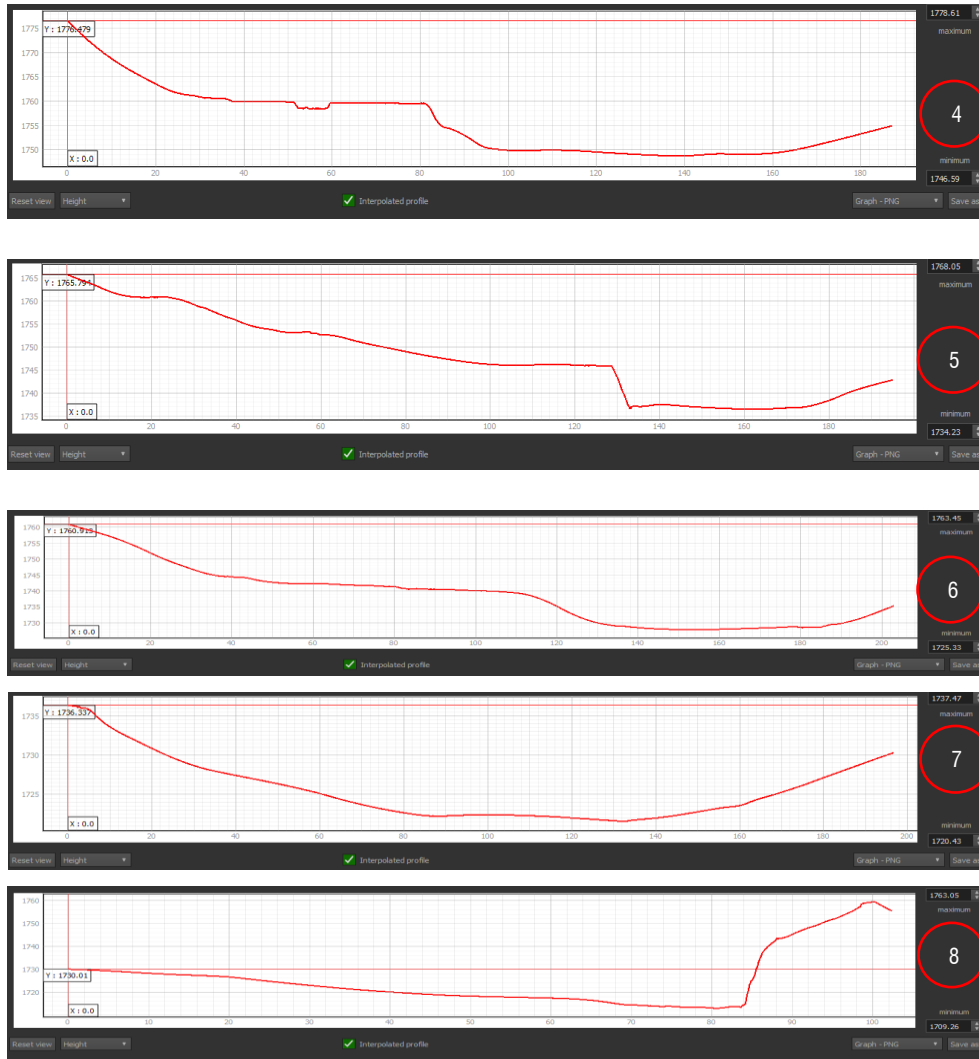
A partir de la Sección 5, al disminuir la pendiente hasta valores cercanos al 2.5 %, el cauce reduce su capacidad de transporte y comienza a regularizar su geometría. El ancho característico oscila entre 20 y 40 metros, y los taludes presentan ángulos entre 30 y 45°, mostrando signos de relativa estabilización por vegetación ribereña.

En este tramo predominan los procesos de sedimentación moderada, especialmente en zonas internas de curvas y pequeñas planicies aluviales, aunque aún persisten pequeños focos de erosión en márgenes externas de meandros.

Figura N° 24: Secciones transversales trazadas en el perfil




LESLY STELLA
DE LA CRUZ MARCELO
INGENIERA CIVIL
Reg. CIP N° 151547



Fuente: Equipo técnico evaluador

2.3.5.2. Recopilación de información hidrometeorológica

Para la recopilación de información hidrometeorológica se emplearon los registros disponibles en el Visor de Estaciones del ANA y en la plataforma de descarga de datos del SENAMHI, a partir de los cuales se obtuvieron series de precipitación, caudales y demás variables relevantes, señalando además las limitaciones asociadas a la disponibilidad y continuidad de dichos datos.

✓ Estaciones hidrometeorológicas utilizadas

Los criterios para la selección de las estaciones pluviométricas e hidrométricas utilizadas fueron la proximidad al área de estudio, que contengan datos extensos en el tiempo y poseer similar altitud con el área de estudio o las cuencas delimitadas incidentes. Tomando en cuenta los criterios mencionados se seleccionaron 2 estaciones para el análisis, operadas por el SENAMHI (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú), la cual tiene las características de ubicación y extensión de registro mostradas en la siguiente Cuadro.


LESLY STELLA
DE LA CRUZ MARCELO
INGENIERA CIVIL
Reg. CIP N° 151547

Cabe resaltar que la información meteorológica de la estación Machupichu fue seleccionada como representativa, debido a su mayor proximidad y similitud altitudinal con el área de estudio y las cuencas delimitadas (2091 a 2867 msnm).

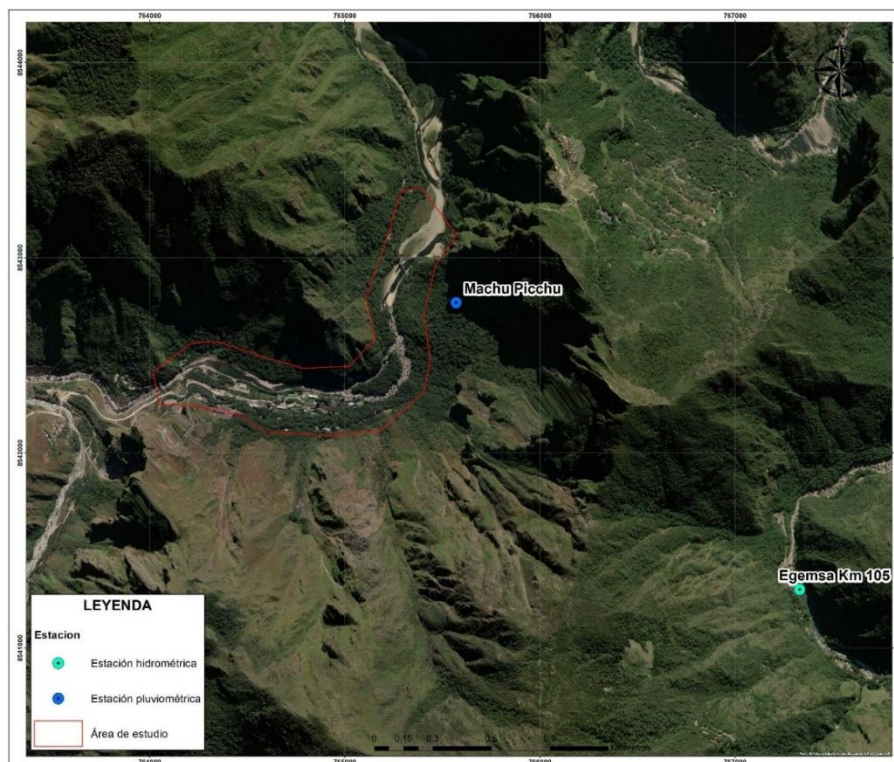
Cuadro N°15: Características de las estaciones pluviométricas disponibles en el área de estudio

Estación	Ubicación geográfica		Ubicación política			Altitud (m.s.n.m.)	Período de registro	Variable
	Longitud	Latitud	Departamento	Provincia	Distrito			
Egemma Km 105	-72.53	-13.18	Cusco	Urubamba	Machupicchu	2153	1985-2024	Q
Machu Picchu	-72.55	-13.17	Cusco	Urubamba	Machupicchu	2563	1964-2024	P


Fuente: Equipo técnico evaluador

Por otra parte, la estación hidrométrica Egemma Km 105 no se ubica exactamente al inicio del área de estudio; sin embargo, su información de caudales es técnicamente válida para representar el comportamiento hidrológico en dicho tramo. Esto se debe a que el aporte potencial de escorrentía generado en la pequeña franja aguas arriba del límite del área de estudio (entre la estación y el inicio del sector analizado) es hidrológicamente insignificante en comparación con la cuenca incidente (Vilcanota), cuyo orden de magnitud es aproximadamente 9673.4 km². En términos de respuesta hidrológica, la contribución adicional de esa subárea mínima no modifica de manera apreciable los volúmenes ni los caudales de interés, por lo que los registros de Egemma Km 105 constituyen una aproximación robusta y representativa para las condiciones de flujo utilizadas en el análisis. Más adelante se comprobarán la consistencia de los datos de caudales diarios de esta estación.

Figura N° 25 Ubicación espacial de las estaciones pluviométricas seleccionadas



Fuente: Equipo técnico evaluador

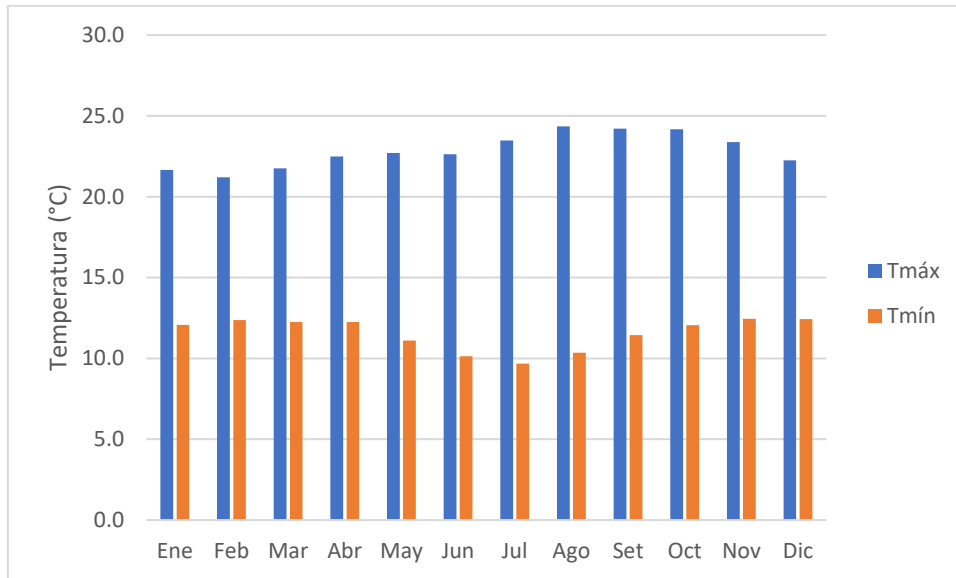

 LESLY STELLA
 DE LA CRUZ MARCELO
 INGENIERA CIVIL
 Reg. CIP N° 151547

✓ **Temperatura promedio multimensual**

La información de temperatura diaria de la estación Machupicchu se extiende desde el período de 2017 a 2024.

El registro de temperatura máxima y mínima diaria de la estación seleccionada se obtuvo de forma mensual a partir de la información diaria, tal como se muestra en el siguiente cuadro y de manera gráfica en la siguiente figura.

Gráfico N° 1: Temperatura máxima y mínima promedios multimensuales – Estación Machupicchu



Fuente: Equipo técnico evaluador

Cuadro N°16: Temperatura máxima y mínima promedios multimensuales – Estación Machupicchu

Mes	Tmáx	Tmín
Ene	21.7	12.1
Feb	21.2	12.4
Mar	21.8	12.3
Abr	22.5	12.2
May	22.7	11.1
Jun	22.6	10.1
Jul	23.5	9.7
Ago	24.4	10.4
Set	24.2	11.4
Oct	24.2	12.1
Nov	23.4	12.5
Dic	22.3	12.4

Fuente: Equipo técnico evaluador

La serie multimensual de temperaturas de la estación Machupicchu muestra un comportamiento térmico caracterizado por baja variabilidad anual en las temperaturas máximas y mayor amplitud en las

temperaturas mínimas. Las temperaturas máximas presentan valores que oscilan entre 21.2 °C y 24.4 °C, con un incremento progresivo desde el periodo húmedo hacia los meses más secos. El valor más bajo se registra en febrero (21.2 °C), mientras que el máximo ocurre en agosto (24.4 °C), evidenciando un ligero calentamiento durante la estación seca.

En contraste, las temperaturas mínimas reflejan una variabilidad más marcada, fluctuando entre 9.7 °C y 12.5 °C. Los valores más fríos se presentan durante los meses de invierno austral (junio–agosto), alcanzando su mínimo en julio (9.7 °C), lo cual es consistente con la mayor pérdida radiativa nocturna de esta temporada. Durante los meses húmedos (diciembre–marzo), las mínimas se estabilizan alrededor de 12 °C.

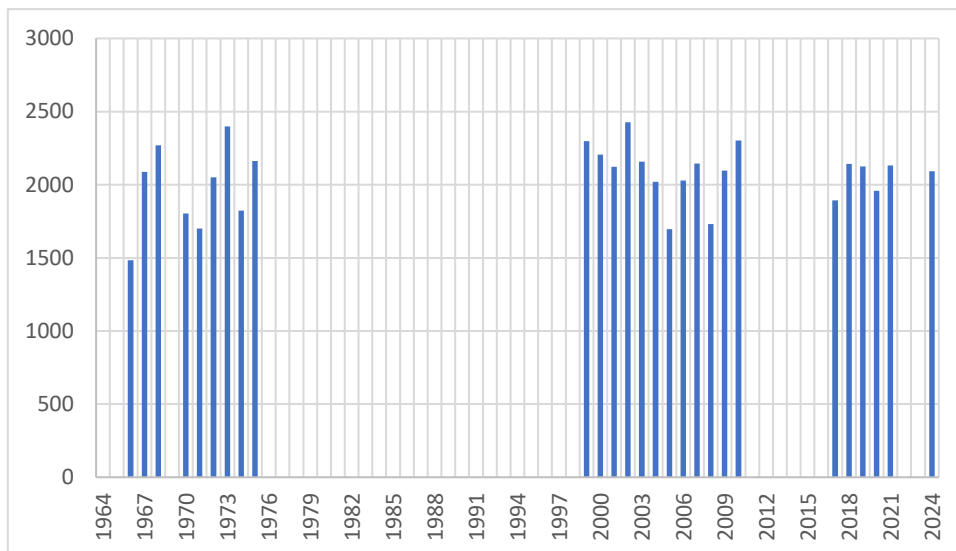
En conjunto, el régimen térmico indica que Machupicchu mantiene condiciones cálidas moderadas durante el día y temperaturas más frías durante la noche, con un patrón típico de zonas andinas húmedas donde la amplitud térmica diaria supera a la variabilidad estacional.

✓ Precipitación promedio multimensual

La información de precipitación diaria de la estación Machupicchu se extiende desde el período de 1964 a 2024.

El registro de precipitación diaria de la estación seleccionada se obtuvo de forma mensual y anual a partir de la información diaria, tal como se muestra en el siguiente cuadro y de manera gráfica en la siguiente figura.

Gráfico N° 2: Precipitaciones anuales – Estación Machupicchu



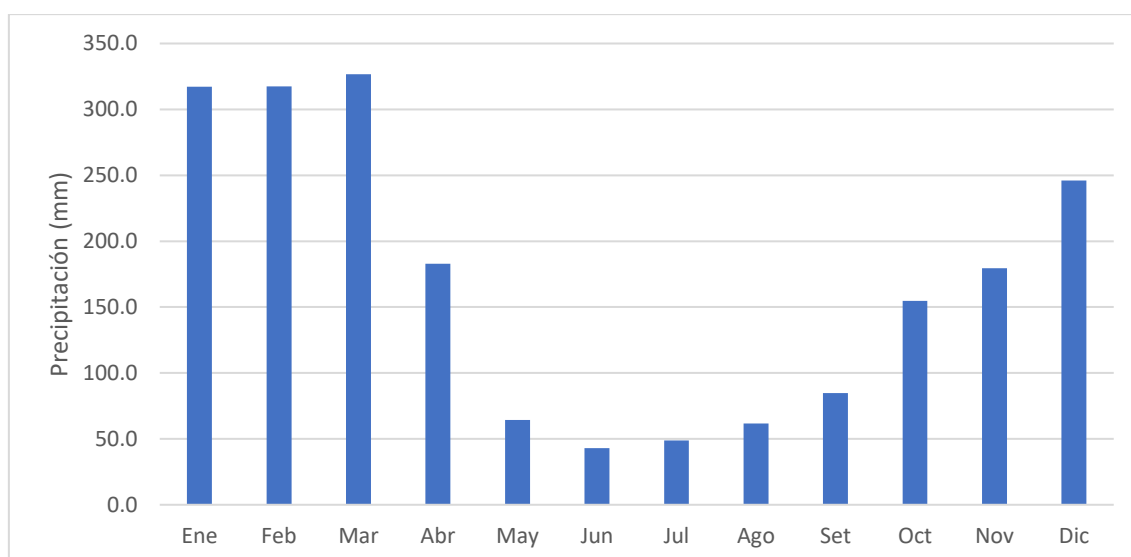
Fuente: Equipo técnico evaluador

La serie anual de precipitación presenta registros disponibles desde 1966 hasta 2024, con períodos intercalados sin datos. Los valores observados muestran una alta variabilidad interanual, característica

de cuencas influenciadas por condiciones sinópticas regionales y eventos climáticos de gran escala. Las precipitaciones anuales oscilan entre aproximadamente 1 484.7 mm (1966) y 2 427.5 mm (2002), con un promedio multianual de 2050 mm, con varios años que superan los 2 200 mm, evidenciando años hidrológicamente húmedos como 1968, 1973, 1999, 2002, 2010 y 2018. Por el contrario, años como 1970, 1971, 2005 y 2008 muestran valores relativamente menores, situándose alrededor de 1 700–1 800 mm, lo cual indica años secos en la serie.

La continuidad del registro presenta intervalos extensos sin información (principalmente entre 1976–1998 y 2011–2016), lo cual debe ser considerado en cualquier análisis de tendencia o homogeneidad. En general, los valores disponibles permiten inferir que la zona mantiene un régimen pluviométrico alto, con predominancia de años húmedos y fluctuaciones marcadas que reflejan la sensibilidad del clima local a variaciones atmosféricas regionales.

Gráfico N° 3: Precipitaciones totales promedios multimensuales – Estación Machupichu



Fuente: Equipo técnico evaluador

Los promedios multimensuales describen un patrón estacional bien definido, característico de las regiones andino-amazónicas influenciadas por la circulación monzónica sudamericana. La distribución muestra que el periodo lluvioso se concentra entre diciembre y marzo, con precipitaciones promedio superiores a 300 mm/mes, alcanzando un máximo en marzo (326.7 mm). Este periodo constituye el núcleo de la temporada húmeda, responsable de la mayor parte del aporte anual de precipitación.

A partir de abril, la precipitación disminuye de manera sostenida, marcando la transición hacia la estación seca. Entre mayo y agosto, los promedios se reducen significativamente (42.9–64.4 mm), representando el periodo de mínima precipitación anual. La precipitación vuelve a incrementarse gradualmente desde septiembre, alcanzando valores moderados en octubre (154.7 mm) y noviembre (179.6 mm), antes de ingresar nuevamente al periodo lluvioso.

Este comportamiento multimensual evidencia un régimen climático unimodal, con una concentración marcada de lluvias en verano austral y una estación seca bien definida.

✓ **Precipitación máxima diaria**

La información de precipitación diaria de la estación Machupicchu se extiende desde el período de 1964 a 2024.

El registro de precipitación máxima diaria de la estación seleccionada se obtuvo a escala anual a partir de la información diaria, tal como se muestra en la siguiente Cuadro y de manera gráfica en la siguiente figura.

Cuadro N°17: Precipitación máxima diaria de la estación Machupicchu (1964-2024)

N°	Año	Machu Picchu
1	1964	
2	1965	
3	1966	42.5
4	1967	49.2
5	1968	55.0
6	1969	58.2
7	1970	66.0
8	1971	42.5
9	1972	59.4
10	1973	63.0
11	1974	55.0
12	1975	52.0
13	1976	41.0
14	1977	
15	1978	
16	1979	
17	1980	
18	1981	
19	1982	
20	1983	
21	1984	
22	1985	
23	1986	
24	1987	
25	1988	
26	1989	
27	1990	
28	1991	
29	1992	


LESLY STELLA
DE LA CRUZ MARCELO
INGENIERA CIVIL
Reg. CIP N° 154547

N°	Año	Machu Picchu
30	1993	
31	1994	
32	1995	
33	1996	
34	1997	
35	1998	
36	1999	57.6
37	2000	48.0
38	2001	57.4
39	2002	72.9
40	2003	68.5
41	2004	43.9
42	2005	64.2
43	2006	48.1
44	2007	69.2
45	2008	51.5
46	2009	57.5
47	2010	47.1
48	2011	43.2
49	2012	
50	2013	
51	2014	
52	2015	
53	2016	
54	2017	62.8
55	2018	43.6
56	2019	62.0
57	2020	48.3
58	2021	59.8
59	2022	41.8
60	2023	49.9
61	2024	61.4

Fuente: Equipo técnico evaluador

La serie de precipitación máxima diaria registrada en la estación Machupicchu entre 1964 y 2024 evidencia un comportamiento caracterizado por alta variabilidad interanual, con valores que oscilan entre 41.0 mm y 72.9 mm para los años con información disponible.


LESLY STELLA
DE LA CRUZ MARCELO
INGENIERA CIVIL
Reg. CIP N° 151547

En general, la serie muestra que la estación Machupicchu registra eventos máximos diarios entre 45–70 mm, lo cual es representativo de un régimen de lluvia con episodios intensos, pero de baja duración, característicos de ambientes montanos húmedos.


✓ **Caudal máximo diario**

La información de caudal diario de la estación EGEMSA Km 105 se extiende desde el período de 1985 a 2024.

El registro de caudal máximo diario de la estación seleccionada se obtuvo a escala anual a partir de la información diaria, tal como se muestra en la siguiente Cuadro y de manera gráfica en la siguiente figura.

Cuadro N°18: Caudal máximo diario de la estación EGEMSA Km 105 (1985-2024)

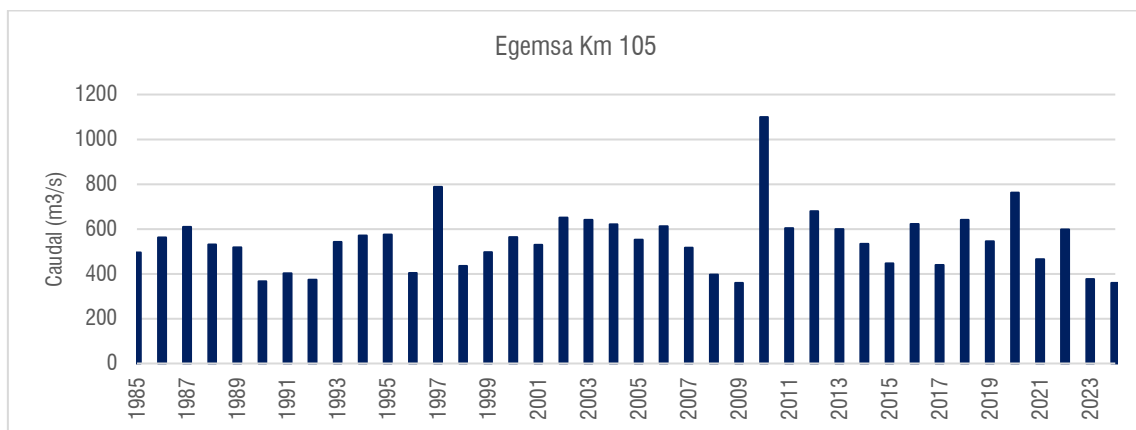
N°	Año	Egemma Km 105
1	1985	495.5
2	1986	561.8
3	1987	609.3
4	1988	530.5
5	1989	518.0
6	1990	366.8
7	1991	401.8
8	1992	374.3
9	1993	542.8
10	1994	571.3
11	1995	575.0
12	1996	403.8
13	1997	787.5
14	1998	435.5
15	1999	496.3
16	2000	563.6
17	2001	529.3
18	2002	650.3
19	2003	641.5
20	2004	621.0
21	2005	551.8
22	2006	613.0
23	2007	516.5
24	2008	396.8
25	2009	358.9
26	2010	1100.0


LESLY STELLA
DE LA CRUZ MARCELO
INGENIERA CIVIL
Reg. CIP N° 151547

N°	Año	Egemma Km 105
27	2011	603.7
28	2012	678.8
29	2013	599.4
30	2014	534.2
31	2015	446.1
32	2016	621.8
33	2017	440.2
34	2018	641.1
35	2019	544.9
36	2020	762.9
37	2021	465.6
38	2022	597.6
39	2023	377.1
40	2024	359.6

Fuente: Equipo técnico evaluador

Gráfico N° 4: Hietograma de caudal máximo diario – Estación EGEMSA Km 105



Fuente: Equipo técnico evaluador

La serie muestra que la cuenca Vilcanota presenta una alta frecuencia de eventos máximos relevantes, con picos significativos en años específicos que deben ser considerados en el análisis de frecuencia, modelamiento de crecidas y diseño hidráulico. La magnitud alcanzada en 2010 y la recurrencia de valores superiores a 600 m³/s se tomarán en cuenta como valores de referencia para el cálculo de caudales de diseño.

2.3.5.3. Análisis hidrometeorológico

✓ Umbrales de precipitación

Los umbrales de precipitación proporcionan una caracterización de lluvias extremas mediante la definición de rangos de umbrales de precipitación por día asociados a rangos de percentiles definidos. El informe oficial del SENAMHI (2014) titulado "Umbrales y precipitaciones absolutas" proporciona umbrales de precipitación y caracterización de lluvias extremas en diversas estaciones meteorológicas del Perú, basándose en datos diarios de precipitación del periodo 1964–2014.

Los umbrales de precipitación para la estación Machupicchu (estación referente) no se proporcionan en SENAMHI (2014) por lo que se calcularon umbrales de precipitación según Nota Técnica 001-SENAMHI-DGM-2014 utilizando datos diarios de precipitación del periodo 1964–2024. En la siguiente tabla se presentan valores umbrales de precipitación asociados a rango de percentiles definidos para los datos diarios en el periodo 1964-2024.

Cuadro N°19: Umbrales de precipitación para la estación Machupicchu

Umbrales de precipitación	Caracterización de lluvias extremas	Umbrales calculados para la estación Antioquía (mm)
RR/día > 99p	Extremadamente lluvioso	RR > 43.8
95 < RR/día ≤ 99p	Muy lluvioso	28 < RR ≤ 43.8
90 < RR/día ≤ 95p	Lluvioso	21.2 < RR ≤ 28
75 < RR/día ≤ 90p	Moderadamente lluvioso	12.4 < RR ≤ 21.2
RR/día ≤ 75p	Poco lluvioso	RR < 12.4

Fuente: SENAMHI.

El análisis de la precipitación máxima de diseño en el apartado de Hidrología ha involucrado los eventos del Fenómeno de El Niño del año 2017 y el ciclón Yaku del año 2023, en los cuales se registraron valores de 62.8 y 49.9 mm de precipitación diaria máxima, respectivamente, los cuales clasifican como eventos de lluvia "Extremadamente lluvioso". Además, la precipitación máxima de diseño para la estación Machupicchu (en el apartado de Hidrología) asociada a un periodo de retorno de 200 años es de 81.5 mm la cual clasifica como un evento de lluvia "Extremadamente lluvioso".

Por lo tanto, según el análisis realizado para el escenario del presente estudio se considerará como factor desencadenante a la precipitación caracterizada como "Extremadamente lluvioso" (RR/día > 99p).

2.3.5.4. Análisis meteorológico

✓ Análisis de frecuencias de la precipitación máxima

Análisis de consistencia de datos

De los registros de precipitación máxima diaria se realizó una inspección visual mediante un análisis visual de gráficos ordinarios (AVGO) con la finalidad de verificar la consistencia de la información y poder trabajar estadísticamente con dichos datos.

Del AVGO se concluye que los datos de las estaciones no presentan inconsistencia en el registro histórico ni por salto ni por tendencia.

Prueba de datos dudosos

La información de precipitación máxima diaria seleccionada debe ser examinada para detectar posibles errores o valores atípicos, con la finalidad de mantener o descartar estos datos antes de realizar el análisis de frecuencia.

Para este análisis se utilizó el Método del “Bulletin 17B” (Interagency Advisory Committee on Water Data, 1982) para la detección de “outliers” en series anuales. Aunque esta metodología fue desarrollada originalmente para el análisis de frecuencia de avenidas en Estados Unidos, puede también utilizarse para el análisis de frecuencia de precipitación. Los “outliers” son datos que se alejan significativamente de la tendencia de la información de la muestra y que dan lugar a cuestionar su procedencia en términos de que pueden pertenecer a una población diferente. Esta metodología consiste en calcular umbrales que definan “outliers” altos y bajos mediante la siguiente ecuación:

$$Y_L = \bar{Y} \pm K_n S_Y$$

Donde Y_L es el límite del logaritmo del valor atípico más alto o bajo, \bar{Y} y S_Y son el promedio y desviación estándar de los logaritmos base 10 de la serie anual, respectivamente. K_n es un valor crítico para la muestra de tamaño n , que se usa para detectar “outliers” con un 10% de nivel de significancia en datos normalmente distribuidos. Valores de K_n , para $5 \leq n \leq 100$, pueden ser calculados usando el logaritmo base 10 del tamaño de la muestra:

$$K_n = -0.9043 + 3.345\sqrt{\log(n)} - 0.4046 \log(n)$$

En la siguiente Cuadro se muestra las estadísticas del análisis de valores atípicos de la serie anual de precipitación máxima diaria para la estación seleccionada. En el siguiente gráfico se observa los datos de precipitación y la banda de confianza determinada por la metodología indicada.

Cuadro N°20: Estadísticas del análisis de valores atípicos

Estación	Media	Desviación estándar	n	Kn	YH (superior)	YL (inferior)	Límite superior	Límite inferior
Machupicchu	1.7	0.1	32	2.591	1.919	1.542	82.9	34.8

Fuente: Equipo técnico evaluador

Prueba de bondad de ajuste Smirnov – Kolmogorov

Este procedimiento es una prueba no paramétrica que permite probar si dos muestras provienen del mismo modelo probabilístico (Varas y Bois, 1998). Asimismo, hace referencia a que es necesario determinar la frecuencia observada acumulada y la frecuencia teórica acumulada; una vez determinadas ambas frecuencias, se obtiene el supremo de las diferencias entre ambas (Pizarro, 1988). Esta prueba es válida para distribuciones continuas y sirve tanto para muestras grandes como para muestras pequeñas (Pizarro et al, 1986). Para la aplicación de esta prueba, se necesita en primer lugar determinar la frecuencia observada acumulada.

$$P_{(x)} = \frac{M}{N + 1}$$

Donde: P(x) es la probabilidad empírica o experimental, M es el número de orden del dato y N es el total de datos.

Luego se debe calcular las diferencias existentes entre la probabilidad teórica (F(x)) y la probabilidad experimental o empírica (P(x)) de los datos de la muestra; el cual se toma el valor máximo del valor absoluto en la i-ésima posición de orden, que se denomina Δ.

$$\Delta = \max |F(x) - P(x)|$$

Si la diferencia máxima es menor que la diferencia tabulada por Cuadro, definida en base al tamaño de la muestra, se está en presencia de un buen ajuste con el nivel de confianza asumido. Si esta comparación revela una diferencia suficientemente grande entre las funciones de distribución muestral y la distribución propuesta, entonces se rechaza (Canavos, 1988).

Para determinar la distribución de probabilidad teórica que mejor se ajusta a la información de precipitación máxima en 24 horas se realizó la prueba de bondad de ajuste Kolmogorov-Smirnov (KS) mediante el uso del software libre Hydrognomon. Los resultados del análisis de frecuencias y la función de probabilidad de mejor ajuste se muestran en la siguiente Cuadro.

Cuadro N°21: Funciones de probabilidad de mejor ajuste y Δmáx teórico

Estación	Función de probabilidad de mejor ajuste	Δmáx
Machupicchu	Pareto (L-Moments)	0.067

Fuente: Equipo técnico evaluador.

✓ **Determinación de eventos de diseño**

Seleccionada la función de probabilidad de mejor ajuste se determinó la precipitación en milímetros para diferentes periodos de retorno: 2, 5, 10, 25, 50, 75, 100, 150, 200 y 500 años.

En la siguiente Cuadro se presentan las precipitaciones máximas en 24 horas para diferentes períodos de retorno obtenidas a partir de la función de distribución de mejor ajuste para cada estación.

Cuadro N°22: Precipitaciones máximas de diseño para diferentes periodos de retorno

Estación	Período de retorno									
	2	5	10	25	50	75	100	150	200	500
Machupicchu	60.9	72.1	76.4	79.3	80.5	80.9	81.1	81.4	81.5	81.7

Fuente: Equipo técnico evaluador

✓ **Intensidad de lluvia (i) en función del tiempo de retorno y duración (curvas IDF).**

Se ha utilizado la metodología de Dyck & Peschke (Guevara, 1991) para distribuir la precipitación máxima en 24 horas a escalas de tiempo menores, cuya formulación es:

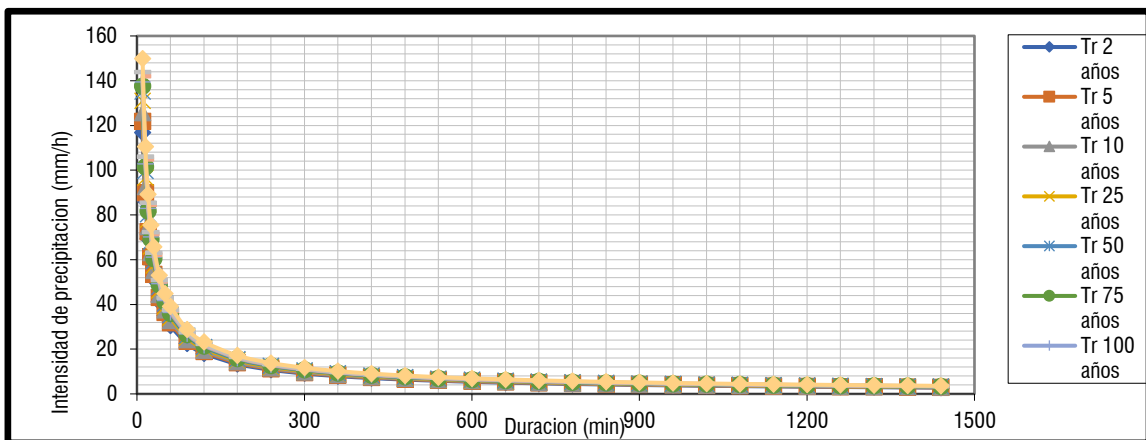
$$P_d = P_{24h} \times \left(\frac{d}{1440} \right)^{0.25}$$

Donde Pd es la precipitación de diseño para una duración d (mm), P24h es la precipitación máxima en 24 horas (mm) y d es la duración de lluvia (min). Mediante el método de regresión lineal múltiple entre las intensidades generadas, los periodos de retorno y duraciones definidas se han obtenido la ecuación y las curvas IDF para cada estación, a saber:

Estación Machupicchu

$$I = \frac{10^{2.8039} \times T^{0.0451}}{t^{0.7500}}$$

Gráfico N° 5: Curvas IDF para la estación Machupicchu



Fuente: Equipo técnico evaluador

✓ **Determinación de tormentas de diseño**

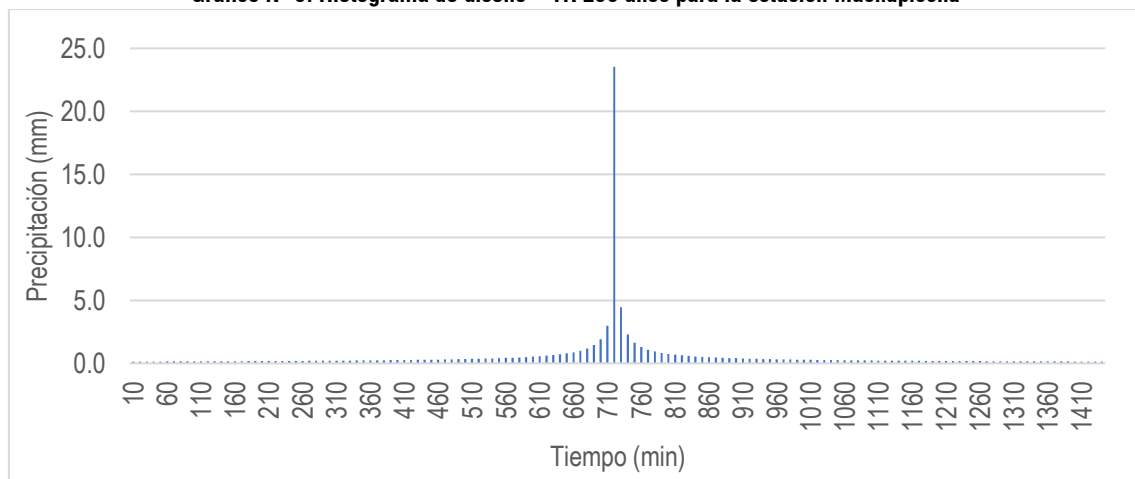
A partir de las curvas IDF, se han calculado los hietogramas de diseño, ordenando los bloques de intensidad mediante el método de los bloques alternos. El hietograma de diseño generado por este método determina la profundidad de precipitación que ocurre en n intervalos de tiempos sucesivos de duración Δt sobre una duración de $T_d = n\Delta t$.

Después de seleccionar el periodo de retorno de diseño y el intervalo de tiempo Δt , la intensidad es leída de la curva IDF o en su defecto se aplica la ecuación generada para la curva, para cada una de las duraciones para cada Δt , $2\Delta t$, $3\Delta t$,..., y la profundidad de precipitación correspondiente se encuentra al multiplicar la intensidad y la duración.

Determinando la diferencia entre los valores sucesivos de profundidad de la lluvia, se encuentra la cantidad total de precipitación que debe añadirse por cada unidad de tiempo Δt . Estos incrementos o bloques se reordenan en una secuencia temporal de manera que la intensidad máxima ocurra en el centro de la duración requerida T_d y que los bloques queden en orden descendente alternativamente hacia la derecha y hacia la izquierda del bloque central de manera de conformar el hietograma de diseño del proyecto.

A continuación, se presenta la distribución de las precipitaciones (hietogramas) producidas a lo largo de las horas más lluviosas para el período de retorno de 200 años, con incrementos de tiempo de 10 minutos.

Gráfico N° 6: Hietograma de diseño – TR 200 años para la estación Machupicchu




Fuente: Equipo técnico evaluador.

2.3.5.5. Análisis de caudal

✓ **Análisis de consistencia**

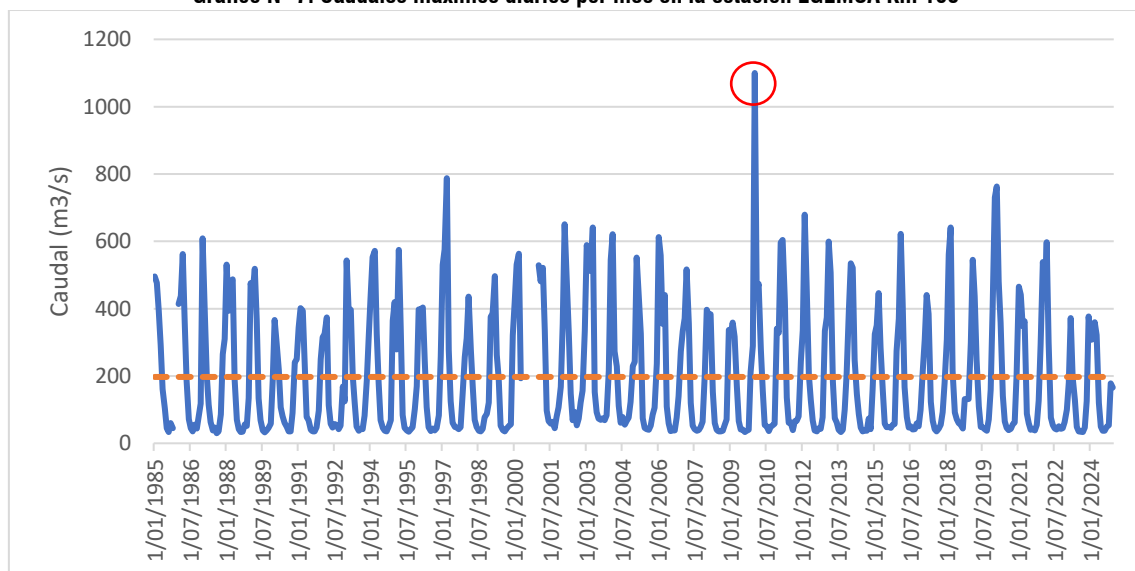
De acuerdo con las directrices de control de calidad señaladas por la OMM (2011), el análisis de consistencia comprende la verificación preliminar de la serie hidrométrica mediante inspección gráfica, identificación de saltos, tendencias y detección de posibles errores instrumentales o de procesamiento.


LESLY STELLA
DE LA CRUZ MARCELO
INGENIERA CIVIL
Reg. CIP N° 151547

Este proceso asegura que los registros de caudales máximos diarios mensuales sean representativos y adecuados para análisis estadísticos posteriores.

En primer lugar, se efectuó una inspección visual de la serie para identificar valores atípicos que puedan alterar la distribución o inducir sesgos en los parámetros hidrológicos. Este procedimiento permite depurar anomalías evidentes antes de la aplicación de pruebas estadísticas formales. Como se puede observar en el siguiente gráfico la serie de caudales máximos diarios por mes registrados en la estación Egemsa Km 105 presenta un comportamiento homogéneo y congruente presentando una media de 197.1 m³/s (línea anaranjada). El pico máximo registrado es de 1100 m³/s y se presentó en enero de 2010, que de acuerdo con la evaluación de campo es un pico real desarrollado en la zona. Se ha optado por mantener este pico máximo y no descartarlo de los análisis posteriores dado que es un valor que podría presentarse con cierta probabilidad de ocurrencia. Generalmente, los caudales máximos diarios no superan los 800 m³/s y tienen un valor mínimo de alrededor de 30 m³/s.

Gráfico N° 7: Caudales máximos diarios por mes en la estación EGEMSA Km 105



Fuente: Equipo técnico evaluador

En segundo lugar, se evaluó la homogeneidad de la serie mediante pruebas orientadas a identificar discontinuidades en la serie atribuibles a cambios en las condiciones de aforo, estación o métodos de medición. Para ello se empleó el programa TREND, que permite detectar saltos y tendencias en una serie hidrológica. Se realizó el análisis de saltos y tendencias de la serie de caudales máximos diarios a escala anual. Las pruebas indican que no existen tendencias ni saltos en la serie a un nivel de significancia del 5%, lo que garantiza utilizar una serie consistente para los análisis posteriores.

Cuadro N°23: Test estadístico de tendencias de caudales máximos diarios a escala anual – Estación EGEMSA Km 105

Estación	Test	Test estadístico (Vt)	Valores críticos			Tipo	Resultado
			$\alpha = 0.1$	$\alpha = 0.05$	$\alpha = 0.01$		
Egemma	Mann-Kendall	0.571	1.645	1.96	2.576	No paramétrico	NS
	Spearman's Rho	0.587	1.645	1.96	2.576	No paramétrico	NS
	Linear regression	0.561	1.687	2.025	2.713	Paramétrico	NS

Fuente: Equipo técnico evaluador

Cuadro N°24: Test estadístico de tendencias de caudales máximos diarios a escala anual – Estación EGEMSA Km 105

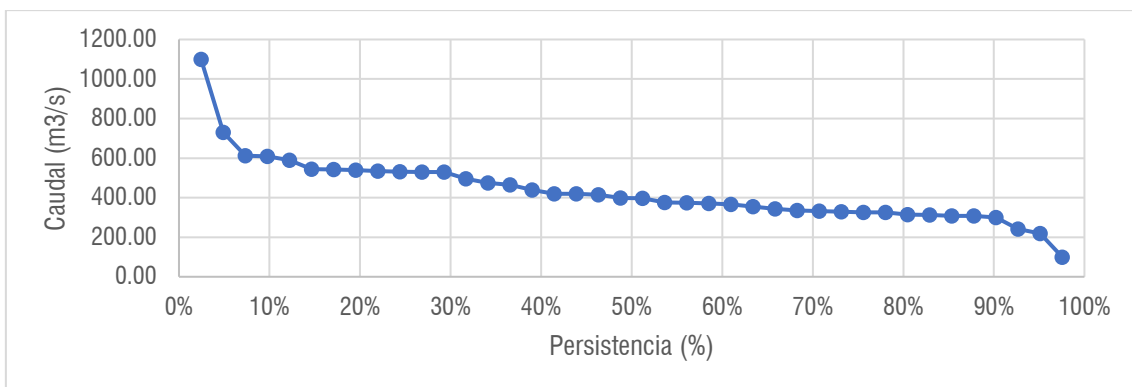
Estación	Test	Test estadístico (Vt)	Valores críticos			Tipo	Resultado
			$\alpha = 0.1$	$\alpha = 0.05$	$\alpha = 0.01$		
Egemma	Cusum	5	7.716	8.601	10.309	No paramétrico	NS
	Cumulative dev.	0.706	1.13	1.26	1.5	Paramétrico	NS
	Worsley L.	1.921	2.88	3.17	3.77	Paramétrico	NS

Fuente: Equipo técnico evaluador

✓ Análisis de persistencias

El análisis de persistencia de los caudales máximos diarios a escala mensual, evaluado mediante la curva de duración y los percentiles mensuales extremos (5%, 50% y 95%), permite caracterizar la memoria hidrológica del sistema y la probabilidad de ocurrencia sostenida de caudales elevados. La curva de duración muestra que los caudales superiores a 1100 m³/s ocurren aproximadamente el 2% del tiempo, y valores en torno a 730–600 m³/s se mantienen entre el 5% y 10% del tiempo, lo cual evidencia que los eventos extremos, aunque poco frecuentes, presentan una magnitud significativa. La persistencia se manifiesta en el gradual descenso de la curva, indicando que el sistema mantiene caudales altos durante una fracción apreciable del periodo hidrológico, asociado a una respuesta acumulada de la cuenca y a condiciones climáticas prolongadas.

Gráfico N° 8: Curva de duración de caudales máximos diarios por año - Estación EGEMSA Km 105



Fuente: Equipo técnico evaluador

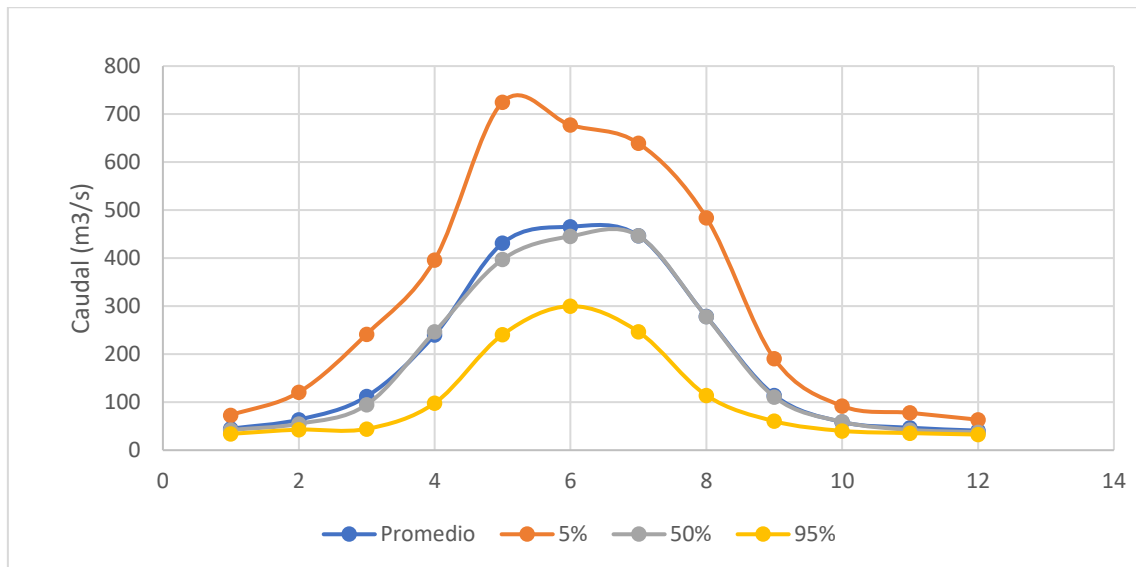
Por su parte, los percentiles mensuales muestran una marcada estacionalidad en la persistencia de máximos: entre enero y abril los valores del 5% superan ampliamente el promedio mensual (p. ej., 724.78 m³/s en febrero y 677.37 m³/s en marzo), lo que indica una alta probabilidad de mantener caudales elevados durante la temporada húmeda, reforzando la presencia de autocorrelación positiva temporal. En contraste, durante los meses secos los percentiles 5% se acercan más al promedio, lo cual evidencia baja persistencia de eventos máximos. Este comportamiento confirma que la serie no responde a eventos aislados, sino a patrones hidrológicos continuos, permitiendo inferir dependencia temporal, un aspecto crítico para la correcta aplicación de modelos estadísticos de frecuencia y para la estimación de magnitudes extremas conforme a los criterios de la OMM (2011), Prácticas Hidrológicas N°168.

Cuadro N°25: Persistencia de caudales máximos diarios mensuales para un año hidrológico promedio – Estación EGEMSA Km 105

Año	Set	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago
Promedio	44.80	63.58	111.91	240.06	431.17	465.47	446.92	278.43	114.38	58.64	46.71	40.73
5%	73.00	120.50	241.69	396.10	724.78	677.37	639.19	484.41	190.50	92.00	77.75	63.50
50%	42.16	54.94	94.80	246.54	397.39	445.53	446.57	277.92	111.00	59.12	42.25	37.64
95%	33.98	42.75	44.33	97.96	240.66	299.94	246.54	114.23	60.40	40.22	35.62	32.54

Fuente: Equipo técnico evaluador

Gráfico N° 9: Persistencia de caudales máximos diarios mensuales- Estación EGEMSA Km 105



Fuente: Equipo técnico evaluador

✓ **Análisis de frecuencias del caudal máximo**

En la siguiente Cuadro se muestra las estadísticas del análisis de valores atípicos de la serie anual de caudal máximo diario para la estación seleccionada. En el siguiente gráfico se observa los datos de caudal y la banda de confianza determinada por la metodología indicada.

Cuadro N°26: Estadísticas del análisis de valores atípicos

Estación	Media	Desviación estándar	n	Kn	YH (superior)	YL (inferior)	Límite superior	Límite inferior
Egmsa Km 105	2.7	0.1	40	2.68 2	3.002	2.449	1005.0	281.4

Fuente: Equipo técnico evaluador.

Para determinar la distribución de probabilidad teórica que mejor se ajusta a la información de caudales máximos diarios se realizó la prueba de bondad de ajuste Kolmogorov-Smirnov (KS) mediante el uso del software libre Hydrognomon. Los resultados del análisis de frecuencias y la función de probabilidad de mejor ajuste se muestran en la siguiente Cuadro.

Cuadro N°27: Funciones de probabilidad de mejor ajuste y $\Delta_{\text{máx}}$ teórico

Estación	Función de probabilidad de mejor ajuste	$\Delta_{\text{máx}}$
EGEMSA Km 105	GEV-Max	0.121

Fuente: Equipo técnico evaluador

✓ **Determinación de caudales de diseño**

Seleccionada la función de probabilidad de mejor ajuste se determinó el caudal en m³/s para diferentes periodos de retorno: 2, 5, 10, 25, 50, 75, 100, 150, 200 y 500 años.

En la siguiente Cuadro se presentan los caudales de diseño para diferentes periodos de retorno obtenidas a partir de la función de distribución de mejor ajuste para cada estación.

Cuadro N°28: Caudales máximos de diseño para diferentes periodos de retorno

Estación	Período de retorno									
	2	5	10	25	50	75	100	150	200	500
Machupicchu	587.8	723.1	818.0	944.1	1042.5	1101.7	1144.4	1205.9	1250.3	1397.1

Fuente: Equipo técnico evaluador

✓ **Riesgo admisible, Vida útil y Período de retorno**

El Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje del MTC (2011) recomienda para el diseño de puentes considerar una vida útil de 40 años, y un riesgo admisible de 25%.

Al aplicar la fórmula de riesgo para el caso de puentes se obtiene el período de retorno de entre 140 y 200 años. El presente estudio tiene como finalidad determinar una tormenta y un hidrograma de diseño para la evaluación de inundación y erosiones ante eventos extraordinarios de crecidas para una infraestructura energética, en tal situación, **se ha optado por establecer un período de retorno de diseño de 200 años para calcular el flujo proveniente la cuenca principal Vilcanota y el flujo proveniente de las quebradas laterales incidentes.**

El caudal de diseño estimado para un período de retorno de 200 años es de 1250 m³/s, el cual será utilizado directamente en la simulación hidráulica como flujo máximo de diseño proveniente de la cuenca Vilcanota.

2.3.5.6. Máximas avenidas

✓ Método de pérdidas: SCS-CN

El Número de Curva se halla en base a observaciones del tipo de suelo y cobertura vegetal de las cuencas que entregan el caudal a cursos de agua que cruzan el tramo de estudio. El número de curva toma en cuenta el tipo de suelo hidrológico (A, B, C o D). Específicamente, el suelo tipo A es el más permeable y típicamente está compuesto por gravas y arenas gruesas o arenas medianas principalmente. El suelo tipo B está compuesto por arenas finas, arenas limosas o limos arenosos. El suelo tipo C está compuesto por arcillas y el suelo tipo D está compuesta por arcillas expansivas de permeabilidad muy baja. En la selección del número de curva interviene además el tipo y el estado de la cobertura vegetal (buena cobertura, aceptable y pobre).

El parámetro CN se puede determinar en base a Cuadros de valores predeterminados en función del grupo hidrológico del suelo, tipo de cobertura vegetal y condición de uso. Para el presente estudio se han utilizado los números de curva de escorrentía a partir del estudio 'Generación de Mapa de Curva Número' desarrollado por el ANA (2015).

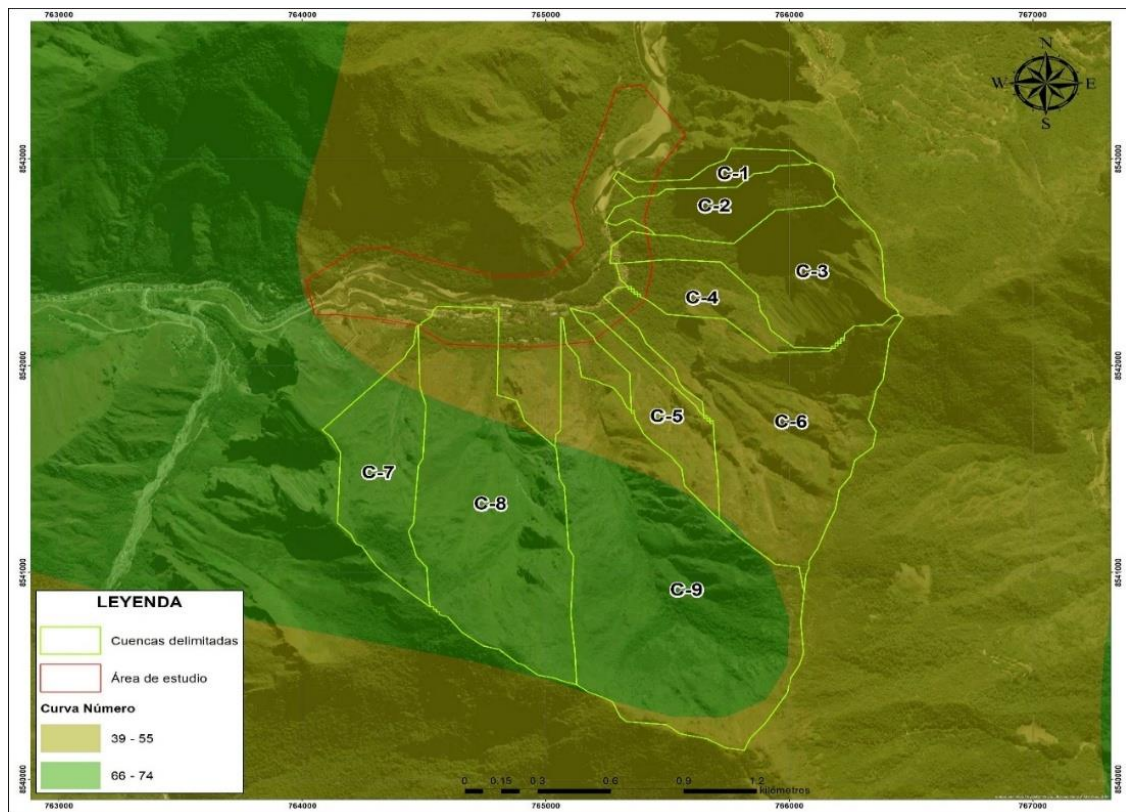
Cuadro N°29: Curva Número determinados para las cuencas de estudio

Nombre	CN
C-1	46
C-2	46
C-3	46
C-4	46
C-5	46
C-6	46
C-7	62
C-8	62
C-9	62

Fuente: Equipo técnico evaluador


LESLY STELLA
DE LA CRUZ MARCELO
INGENIERA CIVIL
Reg. CIP N° 151547

Figura N° 26: Curva Número del área de estudio



Fuente: Equipo técnico evaluador.

✓ **Estimación del caudal: Método del hidrograma unitario**

El hidrograma unitario sintético NRCS es el hidrograma unitario adimensional desarrollado por Victor Mockus en la década de 1950. Este hidrograma se desarrolló en base al análisis de un gran número de hidrogramas unitarios naturales de una amplia gama de tamaños de cuenca y ubicaciones geográficas. El método ha llegado a ser reconocido como el hidrograma unitario sintético NRCS y se ha aplicado a cuencas medianas en todo el mundo.

El retraso se estima de la siguiente manera:

$$lag = 0.6 \times t_c$$

Donde lag es el tiempo de retardo y t_c es el tiempo de concentración.

En el HU del NRCS a relación entre el tiempo hasta el pico y la duración unitaria del hidrograma se fija en:

$$\frac{t_p}{t_r} = 5$$

Donde t_r es la duración y t_p es el tiempo al pico.

Para derivar la fórmula de flujo máximo del hidrograma unitario NRCS, se utiliza la teoría del hidrograma unitario triangular, lo que conduce a la expresión:

LESLY STELLA
DE LA CRUZ MARCELO
INGENIERA CIVIL
Reg. CIP N° 151547

$$Q_p = \frac{0.208 \times A}{t_p}$$

Donde Q_p es el caudal al pico y A es el área de drenaje de la cuenca.

Los cálculos del caudal unitario pico y caudal pico por el método del hidrograma unitario para un período de retorno de 200 años se muestran en el siguiente cuadro. **Estos caudales de diseño serán utilizados directamente en la simulación hidráulica como flujos máximos de diseño provenientes de las quebradas laterales incidentes al sector de análisis.**

Cuadro N°30: Parámetros de cálculo del caudal pico del método del SCS

Cuenca	A (km ²)	tc (hr)	lag (hr)	tr (hr)	tp (hr)	Qu (m ³ /s/mm)	Q (m ³ /s)
							T = 200 años
C-1	0.07	0.38	0.23	0.05	0.25	0.06	0.09
C-2	0.19	0.42	0.25	0.06	0.28	0.14	0.21
C-3	0.39	0.46	0.27	0.06	0.30	0.27	0.40
C-4	0.15	0.36	0.22	0.05	0.24	0.13	0.19
C-5	0.16	0.45	0.27	0.06	0.30	0.11	0.17
C-6	0.72	0.56	0.34	0.08	0.38	0.40	0.60
C-7	0.31	0.51	0.31	0.07	0.34	0.19	2.30
C-8	0.84	0.58	0.35	0.08	0.39	0.45	5.52
C-9	1.15	0.71	0.42	0.09	0.47	0.51	6.26

Fuente: Equipo técnico evaluador

Por lo tanto, se han obtenido los caudales máximos de diseño que serán utilizados para la modelación hidráulica, de los cuales se indican su apartado de cálculo y consideraciones tomadas:

- **Sección 2.3.5.4 Análisis de caudal:** Caudal máximo de diseño de 1250 m³/s para un período de retorno de 200 años para el flujo en el cauce principal proveniente de la cuenca Vilcanota.
- **Sección 2.3.5.5 Máximas avenidas:** Caudales máximos de diseño para las 9 cuencas que inciden lateralmente a la zona evaluada para un período de retorno de 200 años.

2.4. LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO

En el análisis del informe se ha utilizado DEM del vuelo fotogramétrico con DRON de resolución espacial de 0.49 metros, que se utilizó en el modelado de la inundación desarrollado en el capítulo 3.6.

El equipo técnico realizó levantamiento topográfico con dron, teniendo como base las especificaciones técnicas establecidas; también fue considerada la normativa, manuales técnicos, y flujos de trabajos establecidos por el Instituto Geográfico Nacional del Perú (IGN) para la generación de cartografía nacional mediante el uso de Vehículos aéreos no tripulados (UAV), más apropiadamente RPAS.

El levantamiento fue desarrollado utilizando un dron DJI Phantom 4 RTK, complementado con procesamiento fotogramétrico en Agisoft Metashape, lo que permitió generar productos de alta precisión, como nubes de puntos, Modelos Digitales de Superficie (DSM) y de Terreno (DTM), ortofotos y curvas de nivel. Estos insumos posibilitan una caracterización detallada del relieve, facilitando el análisis de pendientes, cotas altimétricas y la identificación de áreas potencialmente críticas frente a la ocurrencia de flujos de detritos.

La información obtenida representa un recurso técnico fundamental para la planificación territorial, el análisis hidráulico y principalmente en el presente estudio de evaluación de riesgos.

2.4.1. METODOLOGÍA DEL LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO

La metodología aplicada para la recolección de datos topográficos en campo y el posterior procesamiento fue diseñada en base a las especificaciones establecidas en los Términos de Referencia del proyecto. Asimismo, se consideraron la normativa vigente, los manuales técnicos y los flujos de trabajo definidos por el Instituto Geográfico Nacional del Perú (IGN) para la generación de cartografía nacional mediante el uso de Vehículos Aéreos No Tripulados (UAV), conocidos también como RPAS.

El trabajo se ha desarrollado en 3 etapas principales:

- ✓ **Reconocimiento de la zona de estudio – gabinete:** Recopilación de información a partir de informes y reportes técnicos sobre la problemática del distrito de Alto Larán y el río Chico. Preparación de mapas de ubicación de la zona de estudio, elaboración de los planes de vuelo del dron y ubicación preliminar de los puntos de fotocontrol para la adquisición de información posterior en campo.
- ✓ **Trabajos de campo – ejecución del vuelo:** Reconocimiento del área de estudio, señalización, instalación, medición de los puntos de fotocontrol y ejecución de los planes de vuelo para la obtención de las fotografías aéreas.
- ✓ **Procesamiento de información – trabajo de gabinete:** Procesamiento de los datos geodésicos y fotogramétricos, obtención de productos cartográficos y elaboración del informe técnico.

2.4.2. RECONOCIMIENTO DE LA ZONA DE ESTUDIO

Antes de iniciar el trabajo de campo se recolectó información, luego se procedió a realizar en gabinete un reconocimiento previo del área de estudio con la finalidad de poder reconocer a grandes rasgos las características más resaltantes del terreno, así como tener un primer alcance de los criterios básicos para la realización del plan de vuelo del Dron. Para realizar este proceso se utilizaron varias herramientas informáticas:

- ✓ Google Earth.
- ✓ Archivos ASTER GDEM (38 metros)
- ✓ SRTM Worldwide Elevation Data (38 metros).
- ✓ Entre otras.

2.4.3. EQUIPOS UTILIZADOS

Para la ejecución del levantamiento de información en campo se empleó el siguiente equipamiento:

- ✓ Dron DJI Phantom 4 RTK.
- ✓ Estación móvil D-RTK 2 NTRIP, vinculada al dron para la obtención de correcciones diferenciales en tiempo real.

2.4.4. CONFIGURACIÓN DE PLAN DE VUELO

Después de analizar las características del área de estudio y seleccionar el equipo necesario para llevar a cabo las mediciones en campo, se procedió a definir la configuración que se utilizaría en los vuelos con el DJI Phantom 4 RTK.

Para elegir el tipo de misión o vuelo a realizar, se consideraron diversos factores, como la topografía del lugar, la extensión de la zona de interés en hectáreas, la autonomía de los equipos a utilizar, el acceso a cada área, la resolución de los productos a generar (GSD), entre otros aspectos.

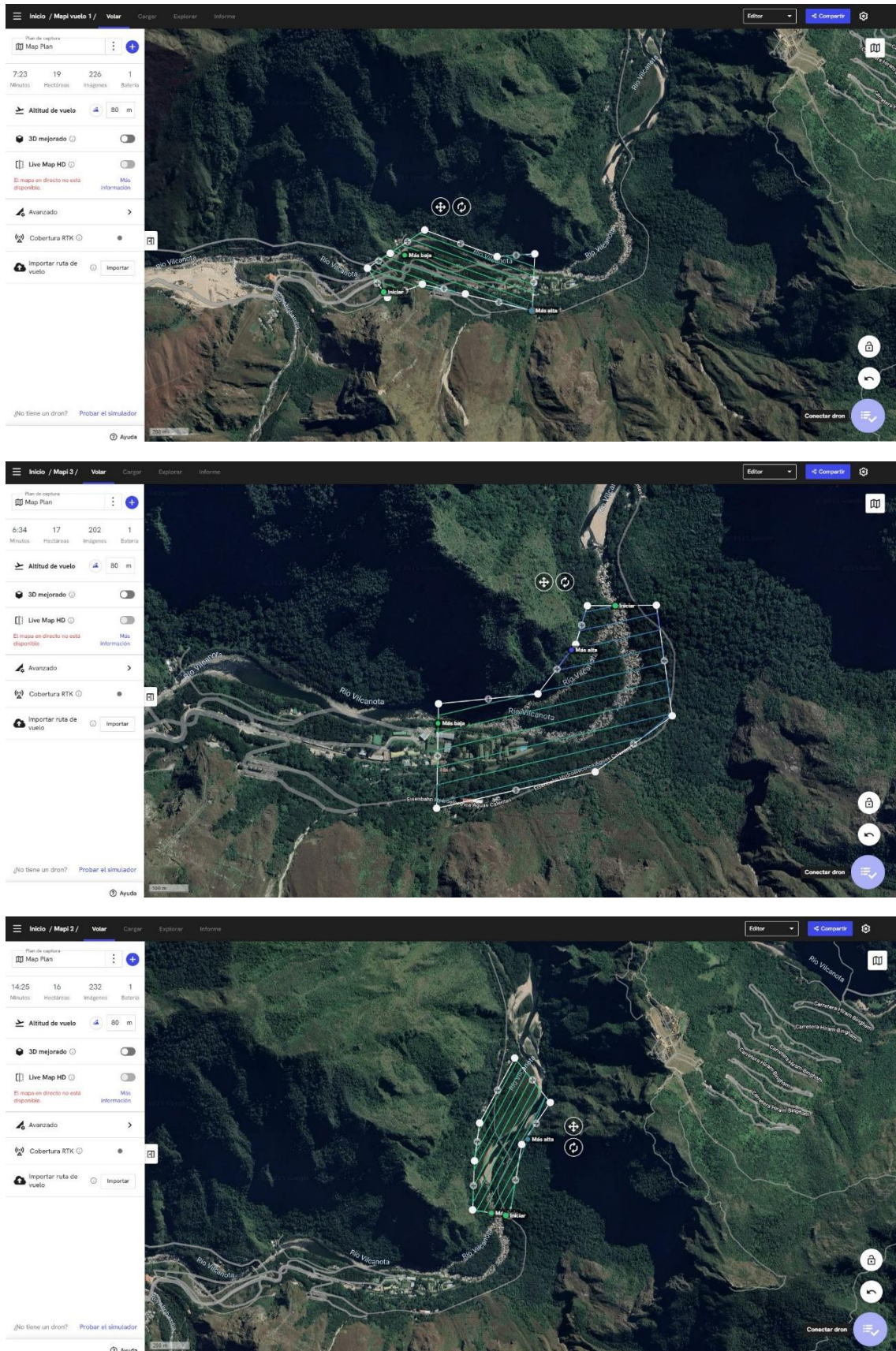
La configuración definida para el vuelo sobre el área de estudio fue la siguiente:

Se eligió el tipo de vuelo conocido como "Fotogrametría 2D" debido a que implica la captura de imágenes aéreas de la superficie. El propósito de este vuelo era generar modelos tridimensionales o mapas detallados, lo cual se alineaba con los objetivos del proyecto.

Para el vuelo se utilizó:

- ✓ Una altura entre los 100 metros y 150 metros sobre el terreno.
- ✓ Un solape y traslape del 70%.
- ✓ Una velocidad de vuelo de 7 m/s.

Figura N° 27: Configuración del plan de vuelo



Fuente: Equipo evaluador


LESLY STELLA
DE LA CRUZ MARCELO
INGENIERA CIVIL
Reg. CIP N° 151547

2.4.5.EJECUCION DEL VUELO FOTOGRAMETRICO CON DRONE – TRABAJO DE CAMPO

La fase de recopilación de datos se inició con una inspección visual y técnica del área de estudio, cuyo objetivo fue verificar las condiciones del terreno, identificar obstáculos potenciales y determinar los puntos óptimos de despegue y aterrizaje para las operaciones con el dron. Esta actividad permitió validar la planificación realizada en gabinete y ajustar los parámetros de vuelo de acuerdo con las condiciones topográficas y ambientales observadas en campo.

Posteriormente, se ejecutaron los vuelos fotogramétricos utilizando el dron DJI Phantom 4 RTK, equipado con un sistema de posicionamiento satelital de alta precisión. Durante las misiones, el equipo operó conforme a los planes de vuelo previamente establecidos, asegurando una cobertura total y homogénea del área de estudio mediante los solapes longitudinal y transversal definidos para garantizar la calidad geométrica de los productos.

Antes de cada vuelo se realizaron las verificaciones de rutina, que comprendieron la calibración del sistema RTK, la comprobación del enlace con la estación base D-RTK 2, la revisión del nivel de batería y la validación del espacio aéreo seguro para la operación.

Las condiciones meteorológicas durante las jornadas de vuelo fueron favorables, con baja intensidad de viento y óptima visibilidad, lo que permitió obtener imágenes nítidas y estables, minimizando posibles distorsiones por movimiento. Concluida la captura, las imágenes fueron almacenadas y respaldadas para su procesamiento posterior en gabinete, siguiendo los protocolos técnicos establecidos para la generación de productos fotogramétricos y modelos digitales del terreno.



LESLY STELLA
DE LA CRUZ MARCELO
INGENIERA CIVIL
Reg. CIP N° 151557

Figura N° 28: Dron DJI Phantom 4 RTK.



Fuente: Equipo evaluador, tomado en el área de estudio.

Figura N° 29: Dron DJI Phantom 4 RTK.



Fuente: Equipo evaluador, tomado en el área de estudio.

2.4.6. TRABAJO DE GABINETE

El trabajo de gabinete ha consistido principalmente en el procesamiento de la información obtenida en campo con la herramienta Agisoft Metashape Professional que es una aplicación especializada en el procesamiento fotogramétrico de imágenes digitales, orientada a la generación de información espacial tridimensional (3D). Su uso es ampliamente reconocido en proyectos cartográficos y de sistemas de información geográfica (SIG), en la documentación del patrimonio cultural, en la producción de efectos visuales, así como en la obtención de mediciones indirectas de objetos o superficies a diversas escalas.

A partir de los productos generados, el software permite analizar el relieve desde múltiples perspectivas, realizar modelos tridimensionales de alta precisión y obtener mediciones lineales, superficiales o volumétricas con gran exactitud.

Metashape se ha consolidado como una herramienta de referencia en el ámbito de la fotogrametría debido a su interfaz intuitiva, la alta calidad de los resultados y la amplia gama de productos que es capaz de generar, entre los que destacan:

- ✓ Triangulación fotogramétrica
- ✓ Nube de puntos densa
- ✓ Modelo digital de elevación (MDE)
- ✓ Modelo digital del terreno (MDT)
- ✓ Malla tridimensional
- ✓ Ortofoto de alta resolución

2.4.7.RESULTADOS

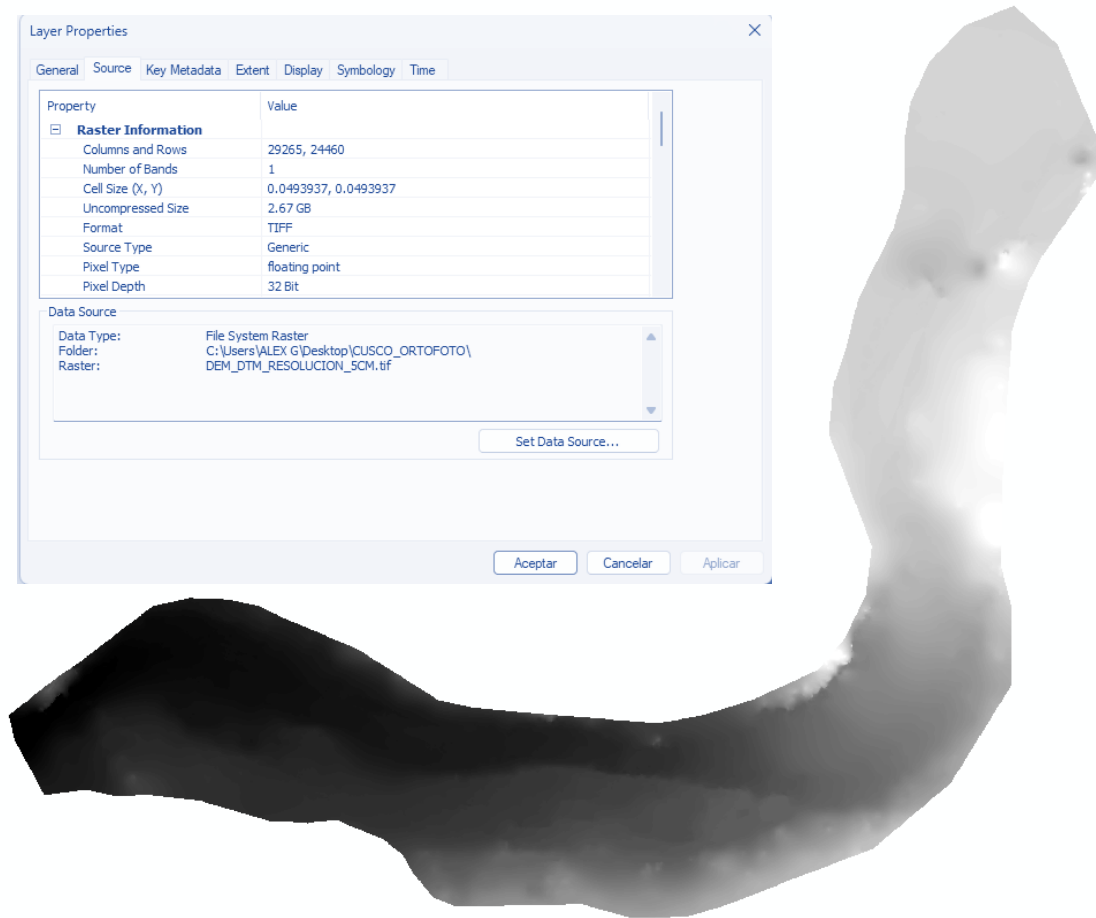
Culminado el trabajo de campo se procedió al proceso de imágenes obteniendo como resultado Ortofoto de resolución espacial de 0.049 metros, el cual se utilizó en el análisis para identificar y evaluar posibles riesgos. Esto incluyó la identificación de áreas vulnerables a inundaciones u otros fenómenos naturales, así como la evaluación de la infraestructura existente y su susceptibilidad a daños. Este enfoque integral nos permitió obtener una comprensión completa de la situación y proporcionar recomendaciones específicas para la gestión y mitigación de riesgos en la zona.

Figura N° 30: Ortofoto del área de estudio



Fuente: Equipo evaluador.

Figura N° 31: DEM del área de estudio.



Fuente: Equipo evaluador.

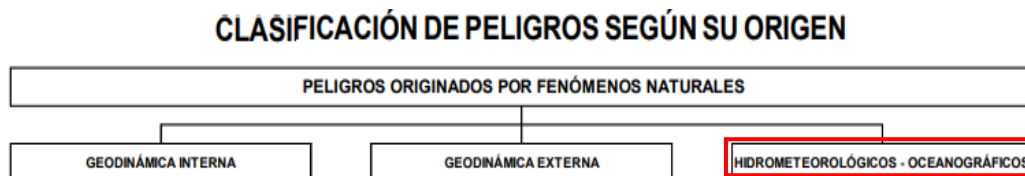
3. DETERMINACIÓN DEL NIVEL DE PELIGRO

3.1. CLASIFICACIÓN DE PELIGROS

Para realizar la clasificación del peligro más recurrente o de mayor peligrosidad se ha identificado y analizado los peligros de origen natural y origen antrópico como se muestra en el capítulo 3.4, siguiendo el lineamiento establecido en el Manual para la evaluación de riesgos originados por fenómenos naturales, Versión 02. Pag 21. (CENEPRED, 2014)., se ha priorizado el peligro más recurrente y que potencialmente puede ocasionar mayor peligro sobre las Instalaciones de la Empresa de Generación Eléctrica Machupichu S.A. – EGEMSA (Km122).

Tal como se indica en el párrafo anterior considerado la información generada por la recopilación de información en gabinete y trabajo de campo, **el peligro para evaluar es por Inundación Fluvial.**

Gráfico N° 10: Clasificación de peligros



Fuente: Lineamientos Técnicos Del Proceso de Estimación del Riesgo de Desastres, según la Resolución de Secretaría de Gestión del Riesgo de Desastres N° 009-2025-PCM/SGRD

3.2. METODOLOGÍA PARA LA DETERMINACIÓN DE PELIGRO

El peligro se define como la probabilidad de que un fenómeno, potencialmente dañino, de origen natural y/o inducido por la acción humana se presente en un lugar específico, con una cierta intensidad y en un periodo de tiempo y frecuencia de tiempo definidos. (Manual de evaluación de riesgos – versión 2 -2015, CENEPRED)

Para determinar el nivel de peligro, se utilizó la metodología descrita en el Manual para la evaluación de riesgos originados por fenómenos naturales, Versión 02. Pag 28. (CENEPRED, 2014)., donde se ha identificado el peligro más recurrente a partir del análisis en el capítulo 3.4.

La caracterización la peligrosidad (parámetros de evaluación, la susceptibilidad en función de los factores condicionantes, desencadenantes y los elementos expuestos). Se realizó en relación al peligro más recurrente y el análisis de las características físicas e hidrometeorológicas de las Instalaciones de la Empresa de Generación Eléctrica Machupichu S.A. – EGEMSA (Km122), ponderándolos mediante el método SATY.

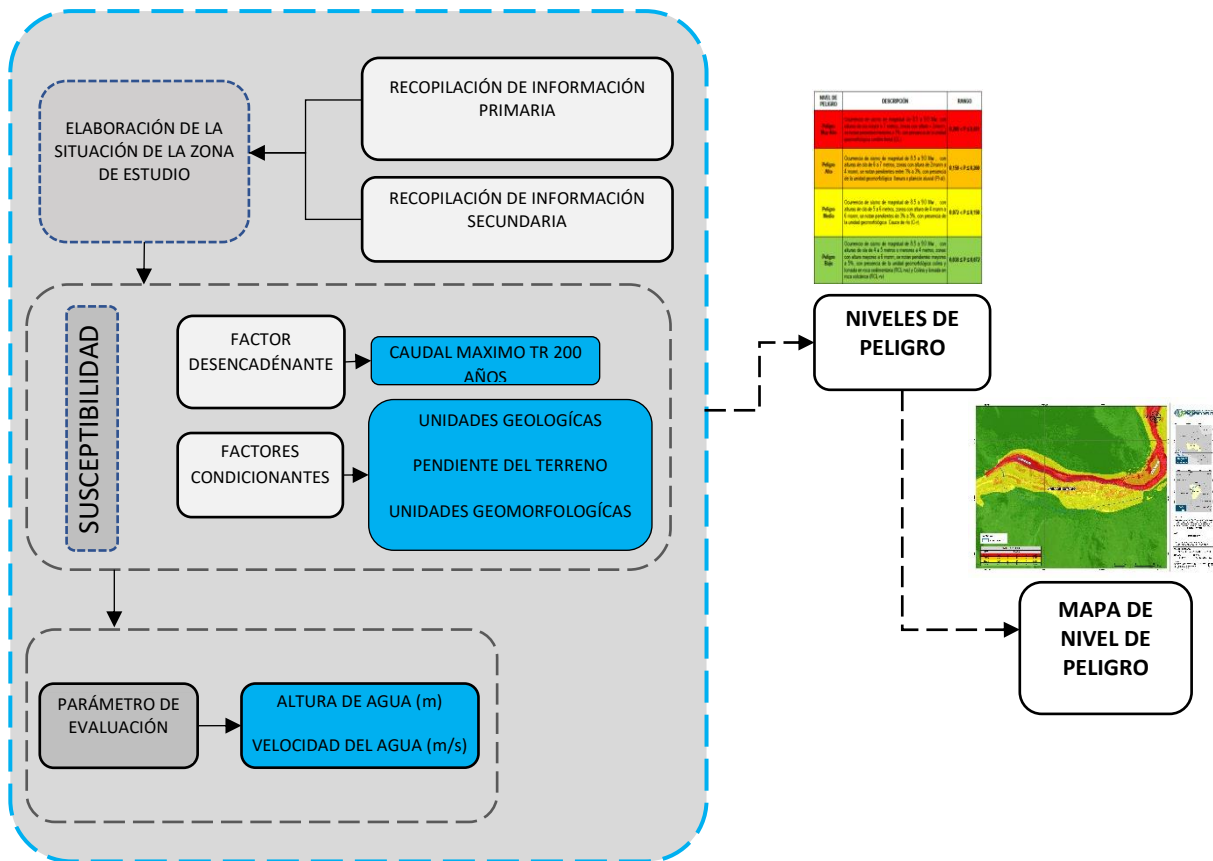
Para facilitar el trabajo, se esquematizó en el gráfico N°5 tal como se observa a continuación, donde se sintetiza las fases a seguir el análisis del peligro más recurrente, por inundación fluvial.

LESLY STELLA
DE LA CRUZ MARCELO
INGENIERA CIVIL
Reg. CIP N° 151547

En el gráfico 30, se indican las fases de la metodología para el análisis de peligro:

- Recopilación de la información
- Identificación de probable área de influencia del fenómeno en estudio c) Parámetros de evaluación del fenómeno más recurrente.
- Análisis de la Susceptibilidad
- Análisis de elementos expuestos en zonas susceptibles
- Definición de escenarios
- Estratificación del nivel de peligrosidad de acuerdo a umbrales
- Niveles de peligrosidad
- Elaboración del mapa del nivel de peligrosidad

Gráfico N° 11: Metodología general para determinar la peligrosidad



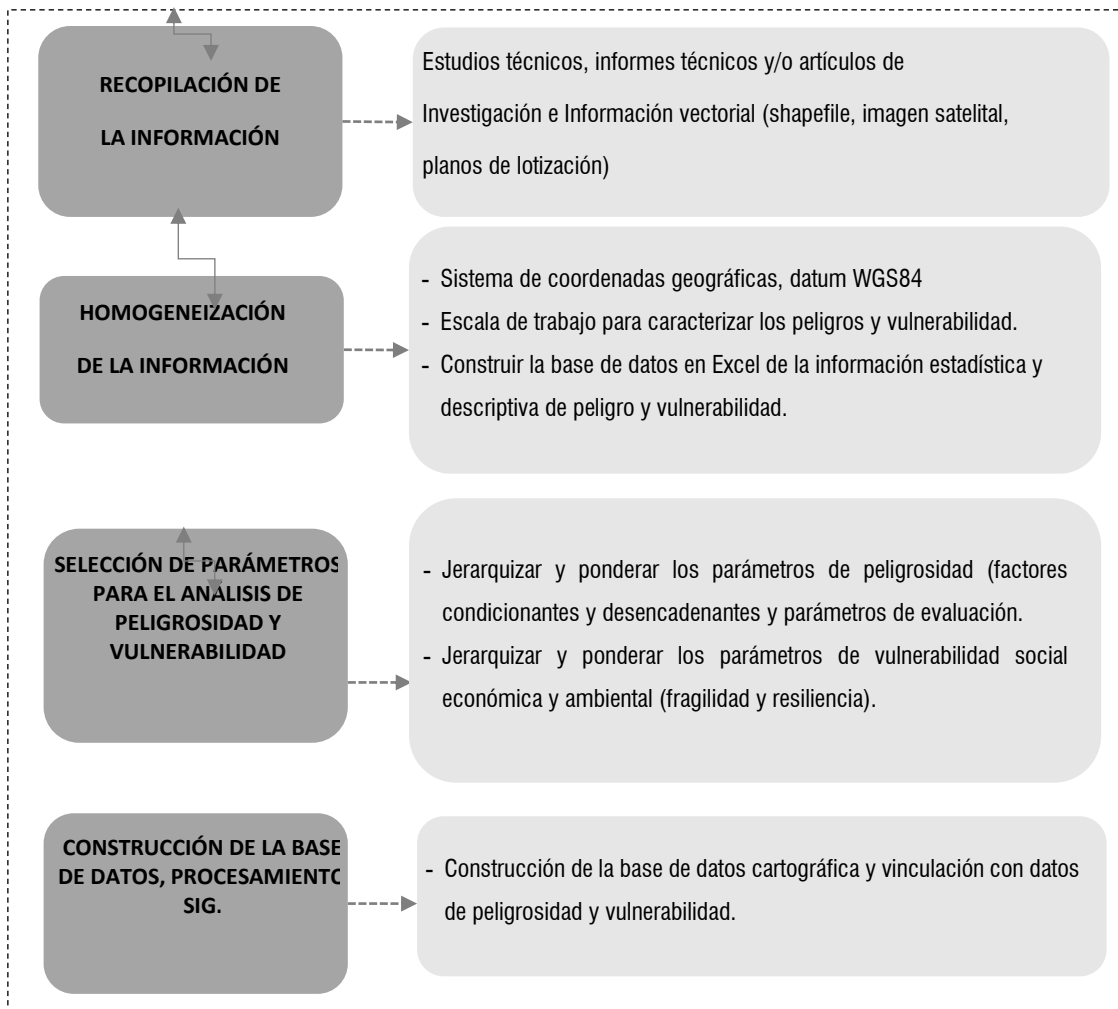
Fuente: Adaptado de CENEPRED.

3.3. RECOPIACIÓN Y ANÁLISIS DE INFORMACIÓN

Se realizó recopilación de información disponible de entidades técnico científicas competentes que han desarrollado en el área de estudio, las Instalaciones de la Empresa de Generación Eléctrica Machupichu S.A. – EGEMSA (Km122) y alrededores que sirvieron como referencia para la elaboración de este estudio. A continuación, se detalla la información disponible:

- Estudios publicados por el Instituto Geológico Minero y Metalúrgico - INGEMMET, SENAMHI, INEI.
- Imágenes satelitales disponibles en el Google Earth de diferentes años (hasta el 2024).
- Registro de emergencias en el distrito sobre el cual se ubica las Instalaciones de la Empresa de Generación Eléctrica Machupichu S.A. – EGEMSA (Km122) - Sistema de Información Nacional para la Respuesta y Rehabilitación (SINPAD v2.0).

Figura N° 32: Flujoograma General del Proceso de Análisis de Información



Fuente: CENEPRD - Equipo técnico

3.4. IDENTIFICACION DEL PROBABLE ÁREA DE INFLUENCIA

En el estudio se ha determinado 2 áreas de influencia, que comprenden de manera conjunta como el área de influencia de un proyecto (como la Central Hidroeléctrica Machupicchu - CHM) se define como el espacio geográfico donde se manifiestan los impactos ambientales y sociales, y se divide en área de influencia directa e indirecta.

✓ Área de Influencia Directa (AID)

El Área de Influencia Directa ha sido delimitada considerando sus características físico-naturales ya que es el espacio donde se sitúan los componentes del proyecto y donde los impactos son inmediatos y directos, y la empresa ejerce un control o influencia directa.

y su interacción dinámica con el entorno hídrico. Se han identificado los siguientes condicionantes técnicos:

1. Ubicación y Entorno Geomorfológico

El área se localiza en una zona colindante al cauce del río Vilcanota, emplazada sobre una unidad de terraza fluvial.

Unidad Geológica: Se asienta sobre depósitos terraza fluvial, caracterizados por una matriz de materiales granulares (gravas y arenas) con presencia de limos, lo que le confiere una permeabilidad moderada a alta.

Unidad Geomórfica: La unidad se define como terraza fluvial, con una superficie relativamente plana y escalonada respecto al cauce actual, presentando pendientes suaves inferiores a los 25°, lo que facilita el desarrollo de actividades, pero incrementa la vulnerabilidad ante desbordes.

2. Análisis Hidrológico y Riesgo de Inundación

De acuerdo con los estudios de modelamiento hidrológico, el sector presenta una alta exposición a eventos extremos:

Caudal de Diseño: Se estima que para un Tiempo de Retorno (Tr) de 200 años, el río Vilcanota alcanzaría un caudal máximo de 1250m³/s.

Vulnerabilidad de la Infraestructura: Bajo este escenario de avenida extraordinaria, el nivel de la lámina de agua superaría la cota de coronación del muro de gaviones existente en la ribera. Esto implicaría el colapso funcional de la defensa ribereña por desbordamiento (overtopping), comprometiendo la estabilidad del terreno y de las estructuras adyacentes.



LESLY STELLA
DE LA CRUZ MARCELO
INGENIERA CIVIL
Reg. CIP N° 151547

Para la CHM, la AID incluye:

Instalaciones de la Central: La casa de máquinas (en caverna), el patio de llaves de 138 kV, el campamento, talleres, oficinas y demás infraestructura de soporte.

Obras de Infraestructura Asociada: La bocatoma (captación de agua), los desarenadores, los canales de aducción, las tuberías forzadas y la represa de Sibinacocha (que regula el caudal para la central).

Vías de Acceso Inmediato: El tramo de la vía férrea y caminos de servicio que conectan directamente las instalaciones de la central con el pueblo de Machupicchu o la estación Hidroeléctrica (km 122 y km 107).

El Cauce del Río Urubamba Inmediato: El tramo del río afectado inmediatamente por la captación del caudal y la descarga del agua turbinada.

✓ **Área de Influencia Indirecta (AII)**

El Área de Influencia Indirecta ha sido delimitada bajo criterios geomorfológicos y de seguridad hidráulica, actuando como una zona de transición hacia niveles topográficos superiores. Se caracteriza por los siguientes componentes técnicos:

1. Marco Geológico y Geomorfológico

Unidad Geológica: El área se emplaza sobre un depósito proluvial, compuesto por una mezcla heterogénea de sedimentos (clastos angulosos y matriz fina) transportados por flujos de agua intermitentes. Esta composición suele presentar una mayor consolidación que los depósitos fluviales del cauce.

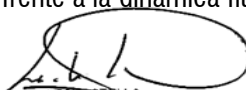
Unidad Geomórfica: Se identifica como un abanico de piedemonte, una morfología de acumulación situada al pie de las vertientes que denota un cambio en la energía del relieve.

Configuración del Relieve: A diferencia del sector colindante al río, aquí predominan pendientes mayores a 25°. Esta inclinación, si bien favorece el drenaje natural, requiere un análisis de estabilidad de taludes ante precipitaciones intensas.

2. Comportamiento Hidráulico y Resiliencia

Exclusión de la Mancha de Inundación: Debido a su ubicación en cotas superiores y su naturaleza geomorfológica de piedemonte, esta zona se encuentra fuera del alcance del área de inundación proyectada para un caudal máximo 1250m³/s.

Interacción con el Evento Crítico: Aunque el tirante de agua no alcanza físicamente esta unidad tras el colapso funcional del muro de gaviones, su importancia radica en ser la zona de soporte logístico y evacuación, al permanecer seca y estable frente a la dinámica fluvial del río Vilcanota.


LESLY STELLA
DE LA CRUZ MARCELO
INGENIERA CIVIL
Reg. CIP N° 151547

Para la CHM, la AII incluye:

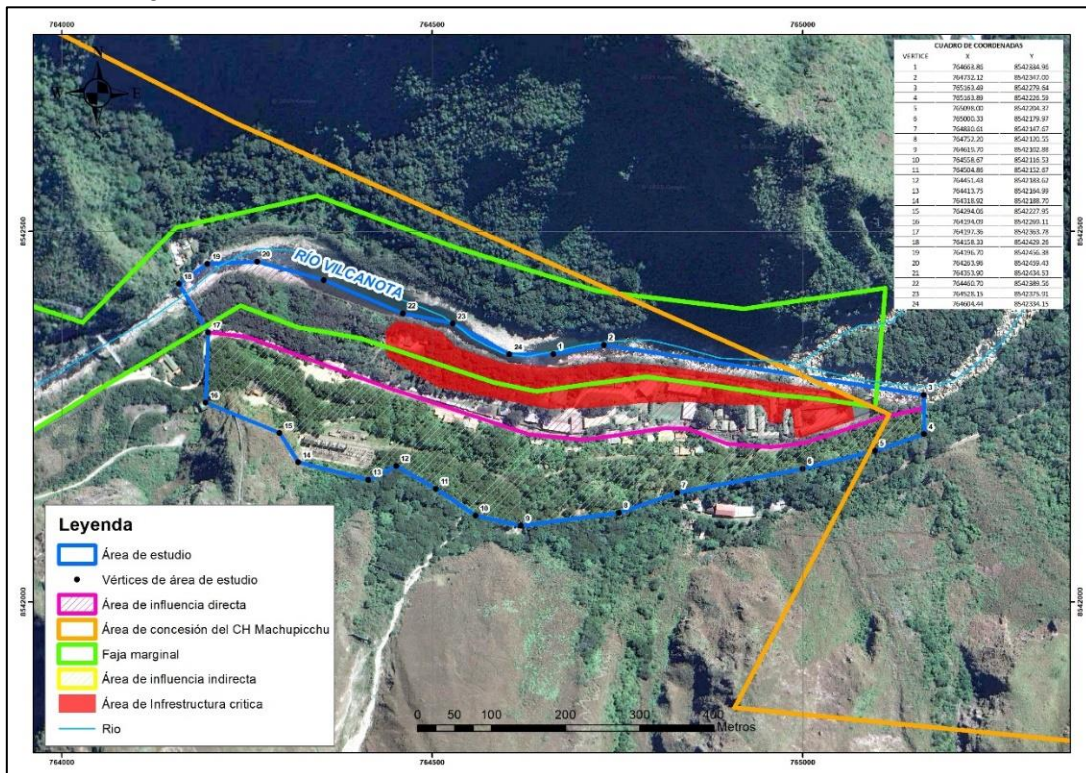
Cuenca Hidrográfica Aguas Abajo: El resto del río Urubamba aguas abajo de la descarga de la central, donde el cambio en el régimen de flujo (caudal regulado) puede tener efectos a largo plazo en el ecosistema acuático y las actividades ribereñas (pesca, agricultura).

Sistema Eléctrico Nacional (SEIN): El impacto de la energía generada por la CHM se extiende a los departamentos de Cusco, Puno y Apurímac, y al sur del país, afectando el balance energético del sistema interconectado.

Comunidades y Áreas Urbanas Cercanas: El pueblo de Machupicchu (Aguas Calientes), Santa Teresa y otras comunidades del Valle de la Convención. Aquí se manifiestan impactos sociales indirectos (como el aumento de la actividad comercial, turismo, o la demanda de servicios debido a la presencia de la central y su personal), así como la influencia en la calidad del aire o la acumulación de residuos en la periferia.

Áreas Naturales Protegidas: El Santuario Histórico de Machupicchu en su conjunto, donde la operación de la central requiere cumplir con estrictas normas ambientales para proteger la biodiversidad y el patrimonio.

Figura N° 33: Ubicación del área de estudio, áreas de influencia e infraestructura crítica.



Fuente: Equipo evaluador.

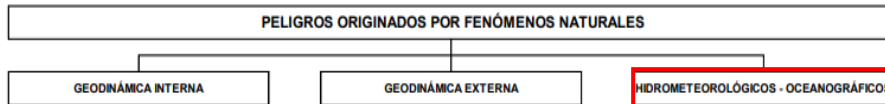

 LESLIE STELLA
 DE LA CRUZ MARCELO
 INGENIERA CIVIL
 Reg. CIP N° 151547

3.5. IDENTIFICACION DEL TIPO DE PELIGRO A EVALUAR

Para identificar y caracterizar el peligro, se ha considerado la información generada por la recopilación de información en desarrollado en el capítulo 3.4. donde con el trabajo de campo se contrastó la información y se validó la información recopilada, evidenciando que el peligro que ha afectado y podría afectar en el futuro e impactar directamente a la población es el peligro por **INUNDACIÓN FLUVIAL**.

- El peligro para evaluar es inundación fluvial.

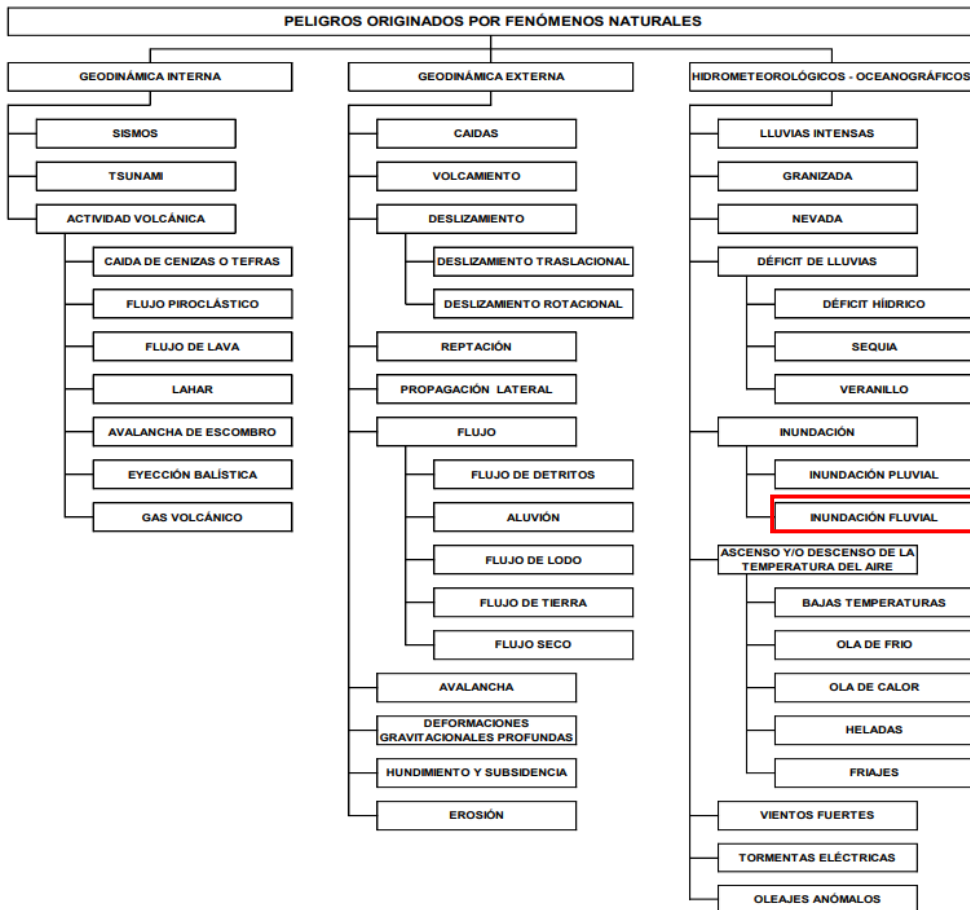
Gráfico N° 12: Clasificación de peligros
CLASIFICACIÓN DE PELIGROS SEGÚN SU ORIGEN



Fuente: Lineamientos Técnicos Del Proceso de Estimación del Riesgo de Desastres, según la Resolución de Secretaría de Gestión del Riesgo de Desastres N° 009-2025-PCM/SGRD

Gráfico N° 13: Identificación de peligros en el área de estudio

ANEXO N° 1
CLASIFICACIÓN DE PELIGROS SEGÚN SU ORIGEN



Fuente: Lineamientos Técnicos Del Proceso de Estimación del Riesgo de Desastres, según la Resolución de Secretaría de Gestión del Riesgo de Desastres N° 009-2025-PCM/SGRD

3.6. CARACTERIZACIÓN DEL PELIGRO

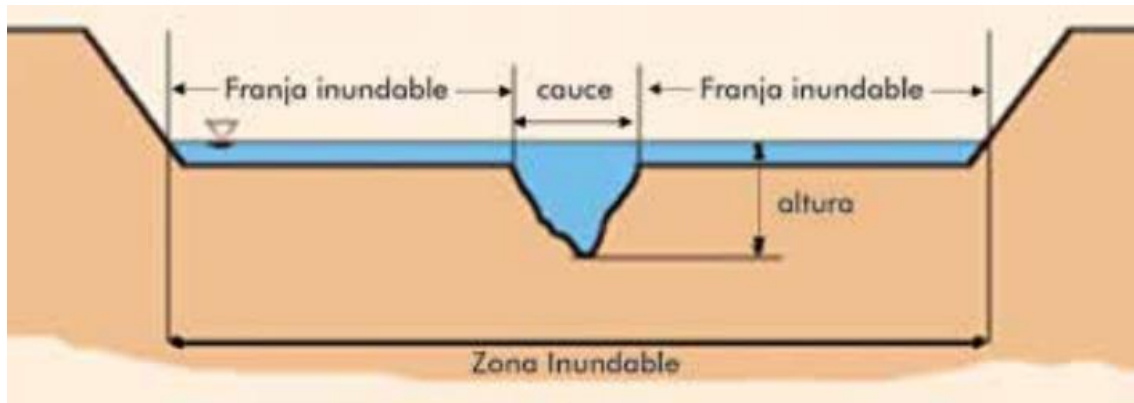
3.6.1. VERIFICACIÓN DE LA OCURRENCIA DE PELIGROS EN EL ÁREA DE ESTUDIO

Para la verificación de la incidencia de peligros en la zona de estudio y zonas aledañas se ha utilizado el Sistema de Información Nacional para la Respuesta y Rehabilitación – SINPAD v2.0; del Instituto Nacional de Defensa Civil – INDECI, el Instituto Geológico Minero- INGEMMET, EL Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres – CENEPRED y otras fuentes de carácter técnico científicas.

3.6.2. PELIGRO POR INUNDACIÓN

Las inundaciones se producen cuando las lluvias intensas o continuas sobrepasan la capacidad de campo del suelo, el volumen máximo de transporte del río es superado y el cauce principal se desborda e inunda los terrenos circundantes. Ver figura N°35. Las llanuras de inundación (franjas de inundación) son áreas de superficie adyacente a ríos o riachuelos, sujetas a inundaciones recurrentes. Debido a su naturaleza cambiante, las llanuras de inundación y otras áreas inundables deben ser examinadas para precisar la manera en que pueden afectar al desarrollo o ser afectadas por él.

Figura N° 34: Sección típica simplificada de un río en la que se observa el canal principal, así como las llanuras de inundación



Fuente: Adaptado por SNL de: Mugerza-Perelló (2003)

3.6.2.1. Tipos de inundación

Las inundaciones pueden clasificarse: Por su duración y origen.

a. Por su duración

- ✓ **Inundaciones dinámicas o rápidas:** Se producen en ríos cuyas cuencas presentan fuertes pendientes, por efecto de las lluvias intensas. Las crecidas de los ríos son repentinas y de corta duración. Son las que producen los mayores daños en la población e infraestructura, debido a que el tiempo de reacción es casi nulo. Por ejemplo: los ríos de la cuenca del Océano Pacífico (La Leche, Tumbes, etc.).

- ✓ **Inundaciones estáticas o lentas:** Generalmente se producen cuando las lluvias son persistentes y generalizadas, producen un aumento paulatino del caudal del río hasta superar su capacidad máxima de transporte, por lo que el río se desborda, inundando áreas planas cercanas al mismo, a estas áreas se les denomina llanuras de inundación.

b. Por su origen

Inundaciones pluviales: Se produce por la acumulación de agua de lluvia en un determinado lugar o área geográfica sin que este fenómeno coincida necesariamente con el desbordamiento de un cauce fluvial. Este tipo de inundación se genera tras un régimen de lluvias intensas persistentes, es decir, por la concentración de un elevado volumen de lluvia en un intervalo de tiempo muy breve o por la incidencia de una precipitación moderada y persistente durante un amplio período de tiempo sobre un suelo poco permeable.

Inundaciones fluviales: Causadas por el desbordamiento de los ríos y los arroyos. Es atribuida al aumento brusco del volumen de agua más allá de lo que un lecho o cauce es capaz de transportar sin desbordarse, durante lo que se denomina crecida (consecuencia del exceso de lluvias).

3.7. SIMULACIÓN DE INUNDACIÓN FLUVIAL

3.7.1. SIMULACIÓN DE FLUJO

Los resultados de la simulación que se indican a continuación se han realizado tomando en cuenta los resultados de la sección HIDROLOGÍA desarrollado hasta el año 2025, donde se ha determinado los caudales máximos para diferentes períodos de retorno. Teniendo en consideración el evento crítico asociado a una probabilidad de excedencia y riesgo admisible, se ha establecido utilizar un **período de retorno de 200 años correspondiente a un caudal máximo de 1250 m³/s** para desarrollar la modelación de inundación fluvial de las quebradas importantes a los sectores de estudio.

La **calibración del modelo** de inundación se desarrolló a partir de la información obtenida durante la visita de campo, donde se identificaron y georreferenciaron huellas, manchas de flujo y niveles máximos alcanzados durante eventos representativos de crecida, tales como El Niño 2017 y Yaku 2023. Estos indicadores permitieron ajustar adecuadamente parámetros hidráulicos como la rugosidad de Manning, el tamaño de malla y condiciones de borde, logrando que el modelo reproduzca de manera coherente la extensión e intensidad de las áreas inundadas observadas.

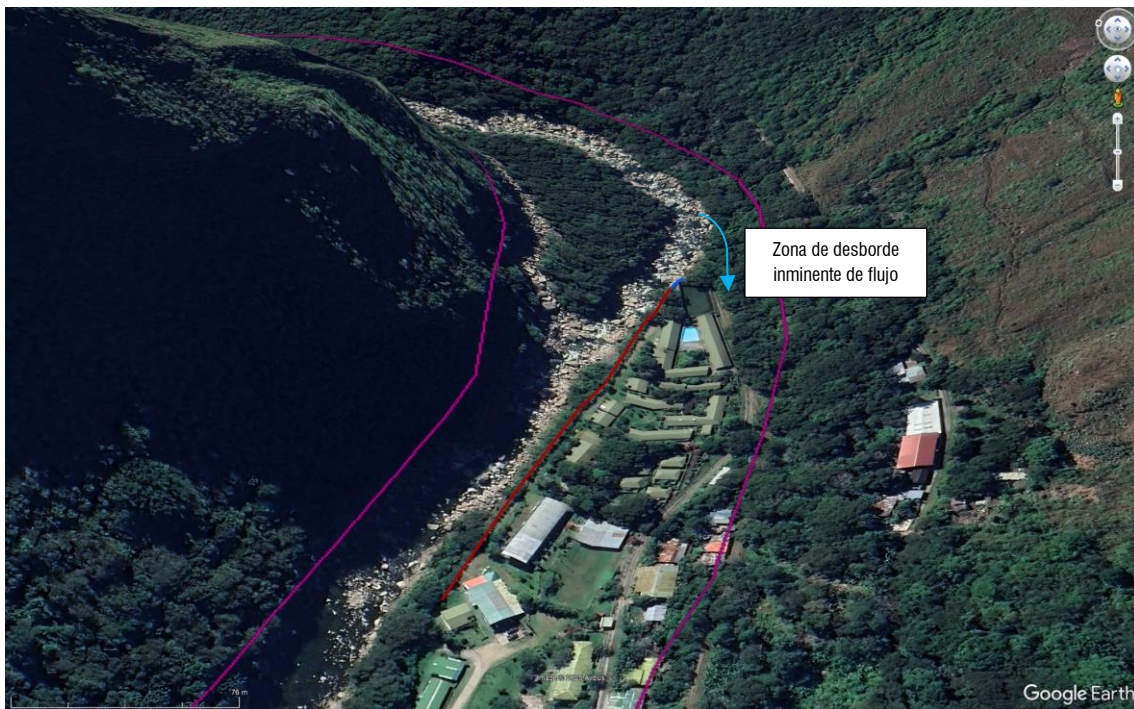
Se establecieron algunos supuestos asumidos para la simulación de flujo, entre ellos:

- El flujo se comporta predominantemente de manera bidimensional, ignorando efectos tridimensionales menores, tal como establece el Manual Técnico de Referencia de HEC-RAS para modelaciones de flujo en lámina libre. Se adopta que la componente vertical del flujo y estructuras turbulentas menores son insignificantes en escala de modelamiento.
- La condición de rugosidad es espacialmente uniforme por zonas. Aunque la rugosidad real puede variar de forma compleja, se simplifica asignando valores medios representativos por tipo de superficie (cauces, áreas urbanas, agrícolas, laderas).
- El modelo no considera cambios morfológicos dinámicos del cauce. Se asume un cauce estable durante la simulación. Es decir, el transporte sólido y los procesos morfodinámicos no modifican la geometría mientras ocurre el evento.
- Dado un caudal base significativamente menor que el caudal máximo de diseño se ha supuesto un cauce seco previas al inicio del evento extremo, tal como recomienda el manual de referencia técnica de HEC-RAS.
- Las infiltraciones y pérdidas subterráneas no se modelan explícitamente. El flujo superficial se considera dominante y las interacciones con el subsuelo se asumen mínimas durante eventos de flujo de detritos.

3.7.2. CALIBRACIÓN DEL MODELO DE FLUJO

La calibración del modelo hidráulico en HEC-RAS incorporó información obtenida en la visita de campo, donde pobladores de la zona indicaron que, durante eventos de gran magnitud, el flujo tiende a desbordarse hacia la margen izquierda en el tramo inicial del sector de estudio, próximo a la central hidroeléctrica. Para reproducir adecuadamente este comportamiento observado, se seleccionó como caudal de calibración el correspondiente al periodo de retorno de 200 años, equivalente a 1 250 m³/s, lo cual permitió ajustar de manera realista el coeficiente de rugosidad de Manning en los diferentes subtramos del modelo. Asimismo, durante el proceso de calibración se refinó el tamaño de la malla hidráulica a 5 m, con el propósito de mejorar la resolución espacial del terreno y capturar con mayor precisión las zonas de desbordamiento y la dinámica del flujo, logrando así un modelo consistente y representativo de las condiciones reales del cauce. En las secciones posteriores se presentan parámetros del modelo como tamaño y configuración de malla, así como los coeficientes de rugosidad de Manning finales adoptados en el modelo.

Figura N° 35: Sector de estudio y zona de inundación inminente ante eventos máximos históricos



Fuente: Equipo técnico evaluador

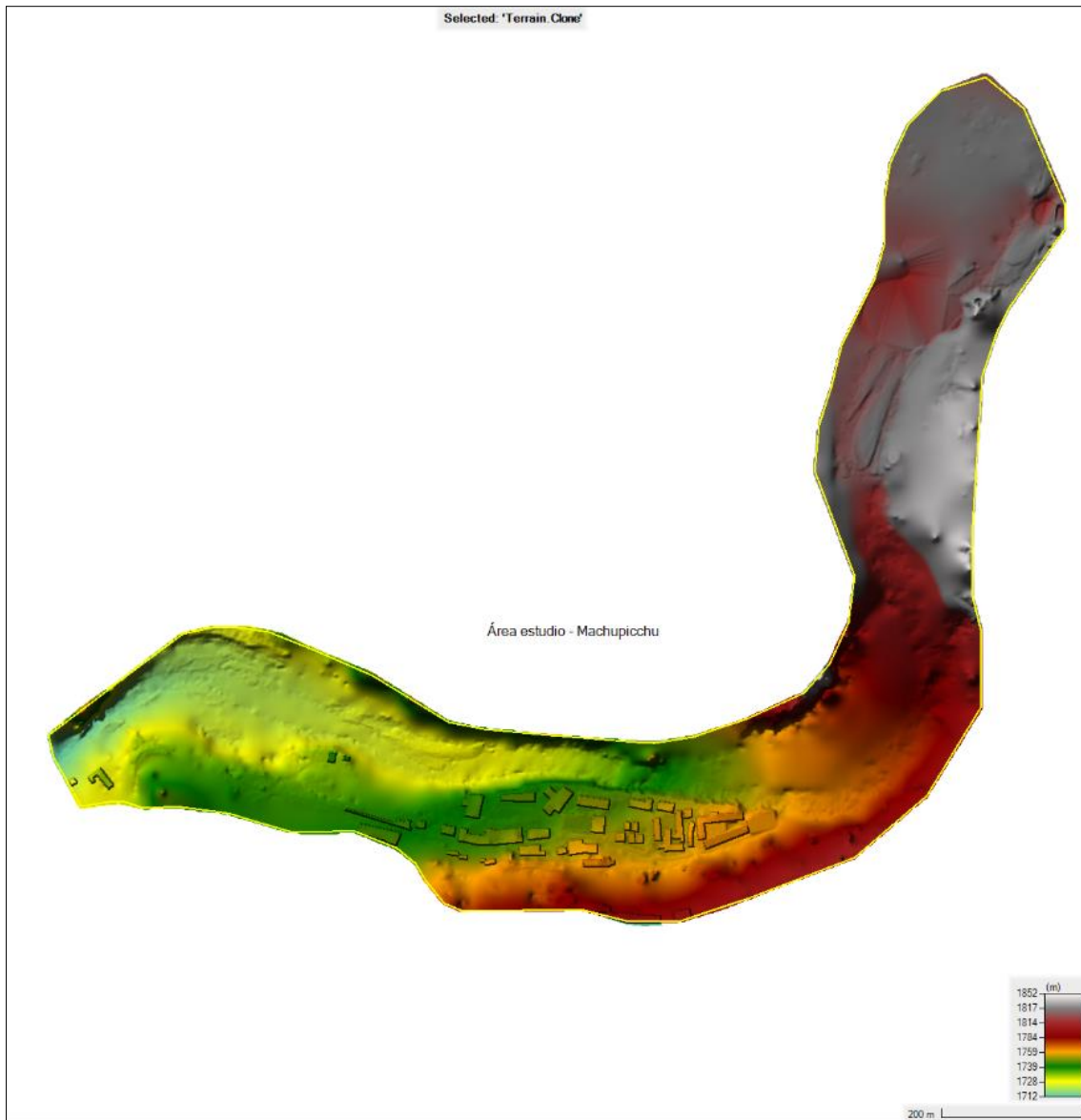

LESLY STELLA
DE LA CRUZ MARCELO
INGENIERA CIVIL
Reg. CIP N° 151547

3.7.3. SIMULACIÓN DE ELEVACIÓN DIGITAL

Para el modelo de lluvia escurrentía y de inundación en el área de estudio, el Modelo Digital de Elevación (MDE) empleado fue elaborado a partir de datos capturados durante un vuelo fotogramétrico con un dron DJI Phantom 4 Pro RTK. Este equipo incorpora tecnología de posicionamiento en tiempo real (RTK), lo que permite obtener imágenes georreferenciadas con alta precisión espacial. Las imágenes fueron procesadas mediante técnicas de fotogrametría, dando como resultado un MDE con una resolución espacial de 5 centímetros.

En la siguiente figura se muestra la topografía del área de estudio, vista desde el entorno Ras Mapper de HEC-RAS.

Figura N° 36: Esquema de relieve del área de estudio en Ras Mapper



Fuente: Equipo técnico evaluador


LESLY STELLA
DE LA CRUZ MARCELO
INGENIERA CIVIL
Reg. CIP N° 151547

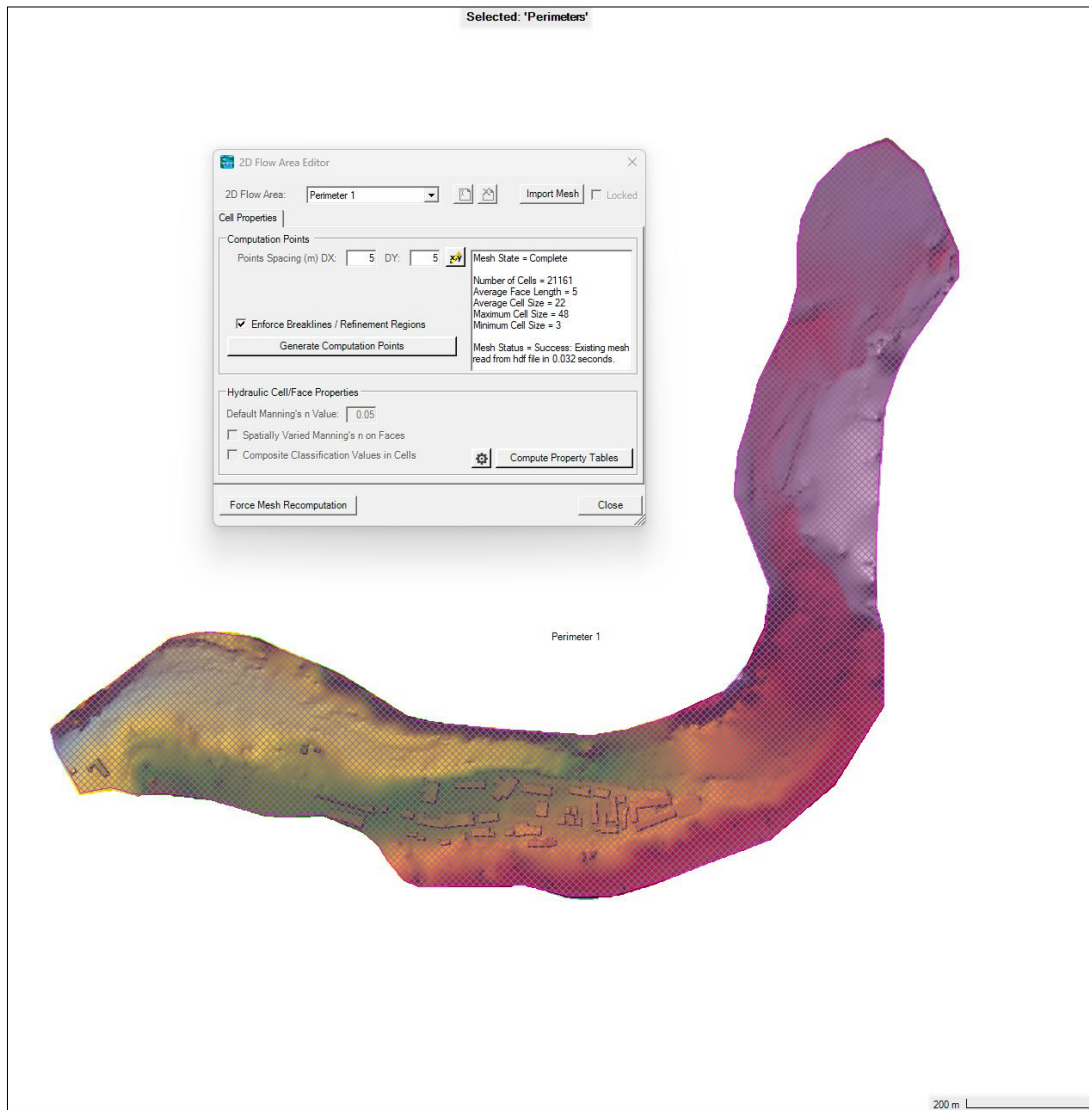
3.7.4. MALLADO NUMÉRICO

La malla computacional abarca el área de influencia de los sectores y las quebradas incidentes que potencialmente puedan provocar inundación fluvial, el cual fue configurada con el objetivo de capturar el relieve importante de las zonas del terreno que influyen directamente en el comportamiento hidráulico relacionados a su dirección y/o velocidad del flujo.

El dominio de cálculo consistió en un grillado base de 5 metros en área de llanuras de inundación para el área de las quebradas incidentes. En los cauces marcados o quebradas incidentes, calles principales y límites de manzanas se tiene un tamaño de malla de 3 metros.

Se cuenta con líneas de rotura (breaklines) en los cauces marcados o quebradas incidentes y límites de manzanas para mejorar la precisión del cálculo. Para el perímetro de modelación correspondiente se tiene una malla resultante que va desde metros más afuera del límite de parteaguas de las quebradas incidentes al sector hasta metros más afuera del límite del área.

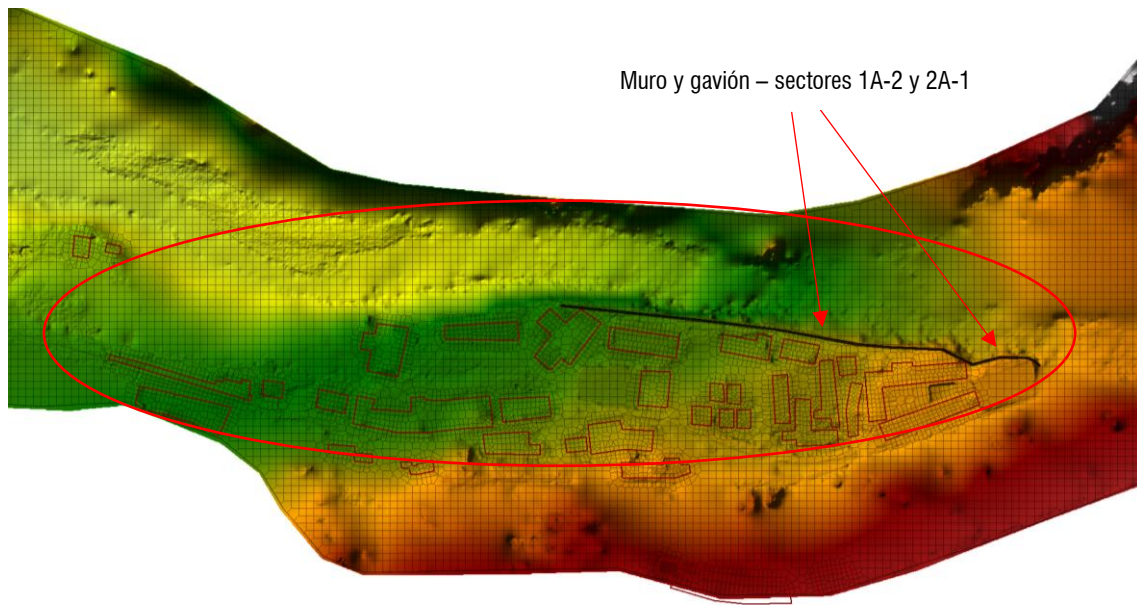
Figura N° 37: Asignación Esquema de generación de un flujo en Ras Mapper



Fuente: Equipo técnico evaluador

Como se mencionó con anterioridad, al mallado base de 5m se refinó con una malla de 3m y 4m de transición en límite de edificios y estructuras hidráulicas existentes, mediante el uso de líneas de corte o breaklines, esto con la finalidad de refinar el mallado en zonas de corte o quiebre abrupto o donde se requiera mayor precisión en cálculo. El número de celdas totales para el área de análisis comprender 21161 lo cual es adecuado según la extensión de aproximadamente 0.7 km².

Figura N° 38: Refinamiento de mallado en zonas en límites de edificios y estructuras incidentes



Fuente: Equipo técnico evaluador

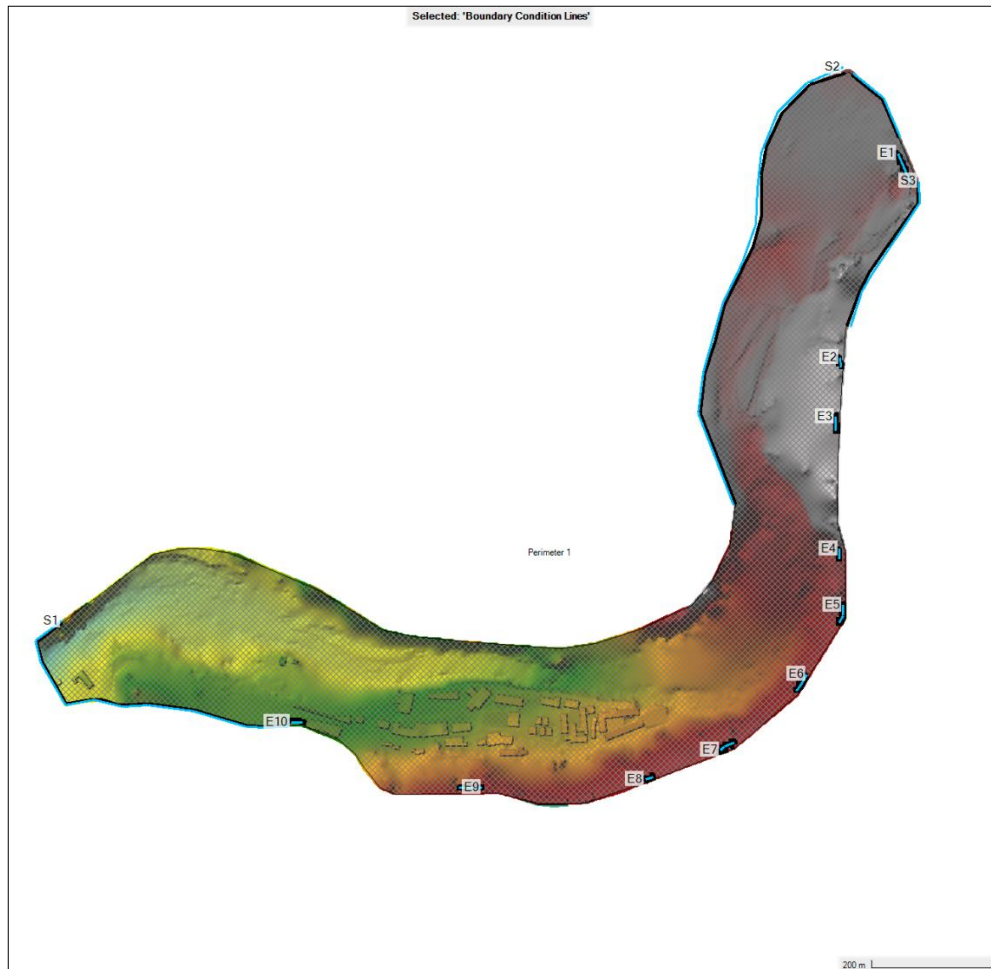
Desde un enfoque de eficiencia computacional, la estrategia de refinamiento permitió concentrar la resolución en áreas donde se requieren resultados de mayor exactitud (3 metros), evitando un incremento innecesario en el número total de celdas del dominio (5 metros). Con ello se optimiza el desempeño del modelo, reduciendo los tiempos de cálculo sin comprometer la calidad de los resultados hidráulicos.

3.7.5.CONDICIONES INICIALES DE FRONTERA

En el modelo la condición inicial o de entrada se configuró mediante una geometría de tipo línea, ubicada en la descarga de quebradas incidentes, donde se definen los datos del hidrograma de caudales y la pendiente de energía igual a la pendiente del terreno correspondiente.

Respecto a la condición de salida, también se configuró mediante una geometría de tipo línea, ubicada aguas abajo fuera de la malla, donde se estableció una pendiente de energía igual a la pendiente del terreno.

Figura N° 39: Imposición de condición de contorno de entrada y de salida para la malla



Fuente: Equipo técnico evaluador.

En la figura se observa la configuración de las condiciones de contorno para la simulación hidráulica. Las condiciones de entrada de flujo están representadas por los elementos E1 a E10. El elemento E1 corresponde al caudal ingresado por el cauce principal, mientras que los elementos E2 a E10 representan los aportes laterales que ingresan al sistema a lo largo del tramo modelado.

Por otro lado, las condiciones de salida están definidas por los elementos S1 y S2. El elemento S1 controla una descarga lateral hacia la margen derecha en la zona inicial del tramo, y el elemento S2 define la salida del flujo principal a lo largo del extremo aguas abajo del dominio de la malla.


LESLY STENLA
DE LA CRUZ MARCELO
INGENIERA CIVIL
Reg. CIP N° 151547

3.7.6.DETERMINACIÓN DEL NÚMERO DE CURVA

El Número de Curva se halla en base a observaciones del tipo de suelo y cobertura vegetal de las subcuencas que entregan el caudal a cursos de agua que cruzan el tramo de estudio. El número de curva toma en cuenta el tipo de suelo hidrológico (A, B, C o D). Específicamente, el suelo tipo A es el más permeable y típicamente está compuesto por gravas y arenas gruesas o arenas medianas principalmente. El suelo tipo B está compuesto por arenas finas, arenas limosas o limos arenosos. El suelo tipo C está compuesto por arcillas y el suelo tipo D está compuesta por arcillas expansivas de permeabilidad muy baja. En la selección del número de curva interviene además el tipo y el estado de la cobertura vegetal (buena cobertura, aceptable y pobre).

El parámetro CN se puede determinar en base a Cuadros de valores predeterminados en función del grupo hidrológico del suelo, tipo de cobertura vegetal y condición de uso. Para el presente estudio se ha utilizado el mapa de Curva Número del estudio “Generación del Mapa Temático de Curva Número (CN)”, que realizó la Autoridad Nacional del Agua en el año 2015. Según el mapa temático se han seleccionado los valores de CN de 85.

Con la información mencionada se definió el Número de Curva de la malla creada en la interfaz Ras Mapper del HEC-RAS, utilizado para caracterizar la **infiltración en la simulación**.

3.7.7.DETERMINACIÓN DEL COEFICIENTE DE MANNING

De acuerdo con Chow (1994) el coeficiente de rugosidad de Manning calcula las pérdidas de carga continua que se producen en los cauces debido a varios factores asociados como los cambios de las secciones, vegetación, geomorfología, irregularidades del cauce, etc. Todos estos factores generan el incremento de la rugosidad de Manning.

Para el modelo hidráulico con HEC-RAS se requiere ingresar valores de Manning (n) tanto en simulaciones con flujo permanente y no permanente. Cabe señalar que los valores de Manning, para el área de simulación, se definió en base a las características del suelo observadas en la inspección de campo y las fotografías aéreas tomadas con el Dron, asociadas a la Cuadro de valores de Manning compilado por Ven Te Chow, 1994 (ver figura 42). Con la información mencionada se calculó el coeficiente de Manning que será usado para el análisis en la simulación.

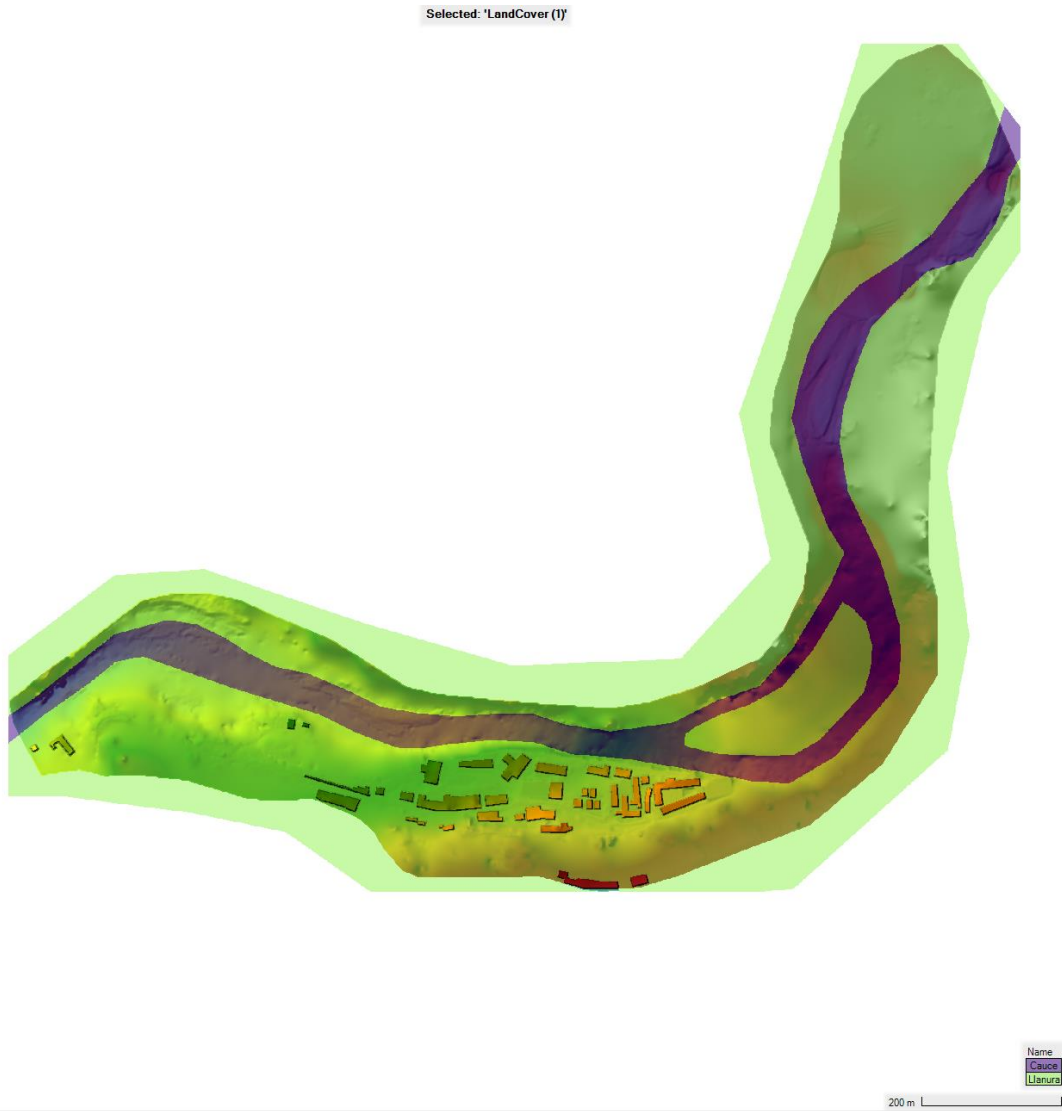
Figura N° 40: Valores del coeficiente de rugosidad de Manning

Descripción de la corriente	Mínimo	Normal	Máximo
A Cauces naturales			
A.1 Cursos secundarios (ancho de la superficie libre en crecida < 30 m)			
<i>A.1.1 Cursos en planicies</i>			
- Limpios, rectos, sin fallas ni pozos	0,025	0,030	0,033
- Rectos con algunas piedras y pastos	0,030	0,035	0,040
- Limpios con meandros, con algunos pozos y bancos	0,033	0,040	0,045
- Meandros con algunas piedras y pastos	0,035	0,045	0,050
- Meandros con muchas piedras	0,045	0,050	0,060
- Tramos sucios, con pastos y pozos profundos	0,050	0,070	0,080
- Tramo con mucho pasto, pozos profundos y cauce en crecida con muchos arbustos y matorral	0,075	0,100	0,150
<i>A.1.2 Cursos montañosos, carentes de vegetación en el fondo, laderas con pendientes pronunciadas y árboles y arbustos en las laderas que se sumergen en niveles de crecida</i>			
- Cauce de grava, cantos rodados y algunas rocas	0,030	0,040	0,050
- Cauce de cantos rodados, con grandes rocas	0,040	0,050	0,070
A.2 Cursos en planicies inundadas			
<i>A.2.1 Zonas de pastos, sin arbustos</i>			
- Pasto corto	0,025	0,030	0,035
- Pasto alto	0,030	0,035	0,050
<i>A.2.2 Zonas cultivadas</i>			
- Sin cultivo	0,020	0,030	0,030
- Cultivos sembrados en línea en fase de madurez fisiológica	0,025	0,035	0,045
- Cultivos sembrados a voleo en fase de madurez fisiológica	0,030	0,040	0,050
<i>A.2.3 Zonas arbustivas</i>			
- Escasos arbustos y pasto abundante	0,035	0,050	0,070
- Pequeños árboles y arbustos sin follaje (parada invernal)	0,035	0,050	0,060
- Pequeños árboles y arbustos con follaje (fase vegetativa)	0,040	0,060	0,080
- Arbustos medianos a densos durante la parada invernal	0,045	0,070	0,110
- Arbustos medianos a densos durante la fase vegetativa	0,070	0,100	0,160
<i>A.2.4 Zonas arbóreas</i>			
- Sauces densos, temporada invernal	0,110	0,150	0,200
- Terreno claro con ramas sin brotes	0,030	0,040	0,050
- Terreno claro con ramas con gran crecimiento de brotes	0,050	0,060	0,080
- Zonas de explotación maderera con árboles caídos, poco crecimiento en las zonas bajas y nivel de inundación por debajo de las ramas	0,080	0,100	0,120
- Zonas de explotación maderera con árboles caídos, poco crecimiento en las zonas bajas y nivel de inundación que alcanza a las ramas	0,100	0,120	0,160
A.3 Cursos importantes (ancho de la superficie libre en crecida > 30 m)			
En este caso, los valores del coeficiente <i>n</i> son inferiores a los correspondientes de cauces secundarios análogos, ya que los bancos ofrecen una resistencia efectiva menor,			
- Sección regular sin rocas ni arbustos	0,025		0,060
- Sección irregular y rugosa	0,035		0,100


Fuente: Ven Te Chow (1994). *Hidráulica de canales abiertos*. Editorial McGraw-Hill.

El coeficiente de rugosidad de Manning de la malla creada se ha definido en la interfaz Ras Mapper del HEC-RAS, y para este caso se ha considerado los valores de 0.05 para suelo desnudo o cauce natural, 0.24 para la llanura de inundación como zona boscosa el cual fue asignado a la malla correspondiente.

Figura N° 41: Coeficiente de rugosidad de Manning asignado en Ras Mapper



Fuente: Equipo técnico evaluador.

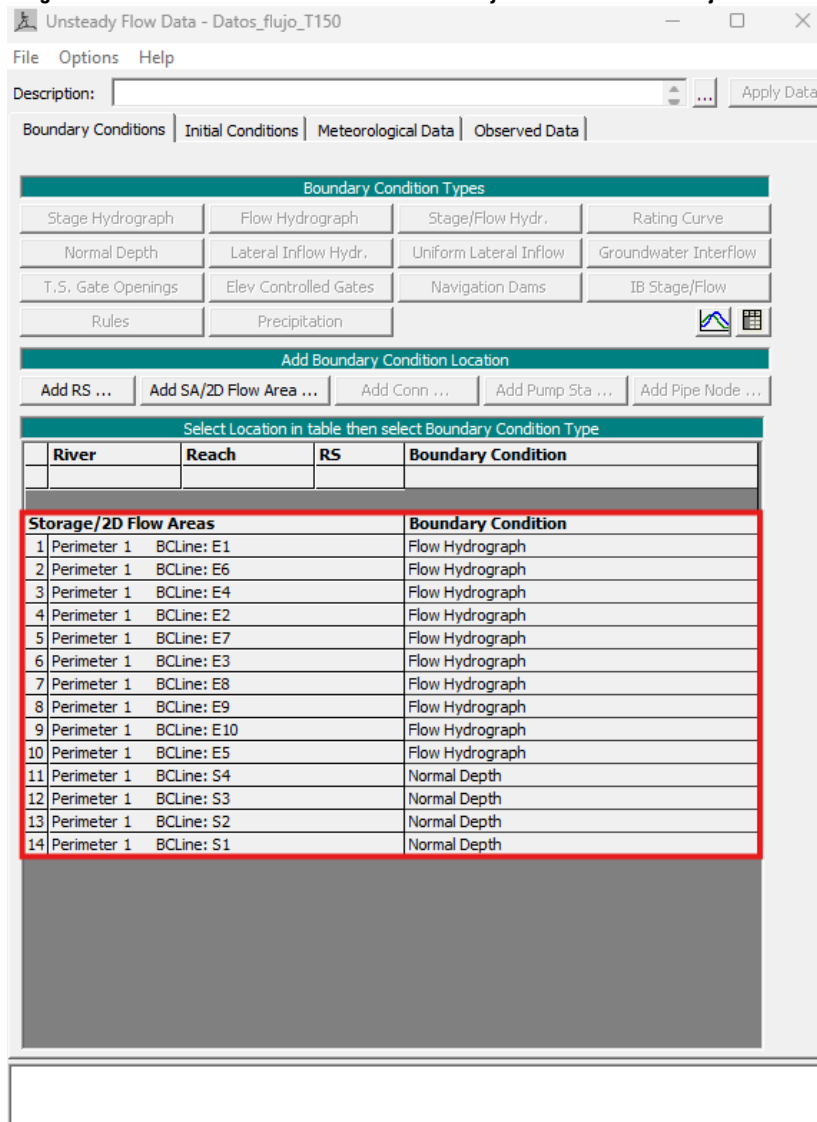

LESLY STELLA
DE LA CRUZ MARCELO
INGENIERA CIVIL
Reg. CIP N° 154547

3.7.8. CONFIGURACIÓN DEL FLUJO

El modelo se configuró como un flujo no estacionario, que conlleva a la asignación de los datos del hidrograma de flujo de agua para un período de retorno seleccionado para la modelación como condición de entrada, y aguas abajo como condición de salida una pendiente de energía normal igual a la pendiente del terreno encontrado en cada cuenca incidente en su desfogue.

La condición de entrada y de salida de la malla creada se ha definido en la sección de edición de datos de flujo no permanente del HEC-RAS. Para la condición de entrada se ha definido una condición de tipo Flow Hydrograph en la que se ha ingresado hidrograma de flujo de período de retorno de 200 años y una pendiente de energía según pendiente de terreno. Como condición de salida se ha definido una condición de tipo Normal Depth en la que se ha ingresado una pendiente de energía similar a la pendiente de terreno.

Figura N° 42: Definición de condición de entrada y salida en datos de flujo HEC RAS



Fuente: Equipo técnico evaluador.

3.7.9. DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DEL FLUJO

La reología relaciona la conducta de las deformaciones y la fluidez de la materia con los esfuerzos. Además, define el comportamiento y las velocidades de los flujos. Los parámetros más importantes son el esfuerzo de cedencia (yield stress) y la viscosidad, asociadas con la concentración de sólidos y/o relaciones volumétricas.

La concentración volumétrica (C_v) es la primera variable que se debe estimar. La mayoría de los modelos no newtonianos son muy sensibles a la concentración volumétrica. Algunos de los otros parámetros pueden incluso estimarse con ecuaciones empíricas con concentración en el exponente, lo que hace que los resultados sean aún más sensibles a esta variable (US Army Corps of Engineers, 2023).

Debido a la complejidad de este parámetro, la estimación de la concentración volumétrica se basó principalmente en la experiencia profesional en (40%), además se consideraron publicaciones técnicas que ofrecen estimaciones generales sobre las características estudiadas. Para el área de estudio, dadas las características del suelo, la concentración podría variar entre 45-55% para un suelo típico, por tanto, para la presente modelación se consideró como valor inicial una concentración volumétrica de 45%.

El cálculo de la concentración del flujo se basa en la publicación US Army Corps of Engineers (2020) HEC-RAS Mud and Debris Flow. Hydrologic Engineering Center. Davis, CA (<https://www.hec.usace.army.mil/confluence/rasdocs/rasmuddebris>), que contiene los fundamentos para la simulación de flujos no newtonianos y modelos reológicos, que lo fundamentan.

3.7.10. PARAMETRIZACIÓN DEL TIPO DE FLUJO

En HEC-RAS, el editor no newtoniano es una opción en el editor de flujo inestable, y ofrece cinco métodos de flujo que calculan las pérdidas internas a partir de modelos de tensión-deformación que no tienen una intersección cero y/o no son lineales, entre ellos la Ecuación de O'Brien que utiliza un modelo cuadrático para agregar impactos no lineales de colisión de partículas y turbulencia a los términos lineales de rendimiento y viscosidad en el modelo de Bingham. Los efectos no lineales son siempre función del cuadrado de la deformación, por lo que siempre son efectos fuertes de espesamiento por corte (la viscosidad aumenta con la velocidad de deformación por cizallamiento). La ecuación de O'Brien utiliza valores físicos para desarrollar efectos cuadráticos teóricos, el beneficio de este enfoque físico-teórico es que todas las entradas en los términos no lineales son parámetros físicos que son predeterminados por el modelador. El modelo de O'Brien requiere la concentración volumétrica (que ya se requiere para el volumen y para algunas estimaciones de rendimiento y viscosidad) y un tamaño de grano representativo. En el siguiente Cuadro se observan valores del esfuerzo cortante τ_y y la viscosidad η , O'Brien Equation (Quadratic), en función de experiencias de correlaciones en campo y en función del CV.

Cuadro N°31: Esfuerzo cortante y viscosidad

Fuente	$\tau_y = \alpha_2 e^{\beta 2.Cv}$		$\eta = \alpha_1 e^{\beta 1.Cv}$	
	α	β	α	β
Correlaciones de mediciones en campo				
Aspen Pit 1	0.181	25.7	0.036	22.1
Aspen Pit 2	2.72	10.4	0.0538	14.5
Aspen Natural Soil	0.152	18.7	0.00136	28.4
Aspen Mine Fill	0.0473	21.1	0.128	12
Aspen Watershed	0.0383	19.6	0.0005	27.1
Aspen Mine Source Area	0.291	14.3	0.0002	33.1
Glenwood 1	0.0345	20.1	0.00283	23
Glenwood 2	0.0765	16.9	0.0648	6.2
Glenwood 3	0.00071	29.8	0.00632	19.9
Glenwood 4	0.00172	29.5	0.0006	33.1
Correlaciones disponibles de la literatura				
Lida (1938)	-	-	3.7E-05	36.6
Dai et Al. (1980)	2.6	17.48	0.0075	14.39
Kang and Zhang (1980)	1.75	7.82	0.0405	8.29
Qian et al. (1980)	0.00136	21.2	-	-
	0.05	15.48	-	-
Chien and Ma (1958)	0.0588	19.1-32.7	-	-
Fei (1981)	0.166	26.6	-	-
	0.0047	22.2	-	-

Fuente: Equipo técnico evaluador

El modelo se configuró como un flujo no newtoniano, que conlleva a la asignación de los datos de los parámetros y métodos de flujo no newtoniano. Para el área de estudio, los parámetros y métodos de flujo no newtoniano de la geometría creada se ha definido en la sección de edición de datos de flujo no permanente del HEC-RAS en la pestaña Non-Newtonian Methods and Parameters.

El método de flujo No Newtoniano utilizado corresponde a la ecuación cuadrática de O'Brien, el parámetro de concentración volumétrica (Cv) se ha establecido a 45% considerando aumento de volumen (Bulk Fluid Volume). Para la definición de los componentes de corte se ha considerado utilizar los coeficientes de las correlaciones de mediciones en campo Aspen Natural Soil obteniéndose para el

área de estudio un esfuerzo cortante de 68.62 Pa y una viscosidad de 48.28 Pa-s. El ingreso de los parámetros mencionados se observa en la siguiente Figura.

Figura N° 43: Definición de parámetros de flujo no newtoniano para la geometría creada del área de estudio

Non-Newtonian Methods and Parameters

Non-Newtonian Method: O'Brien Equation (Quadratic)

Concentration and Bulking

Volumetric Concentration (Cv) (%): 45. Convert Conc

Select Bulking Method: Bulk Fluid Volume

Shear Components

Yield Strength: User Yield τ 68.62 Pa

Mixture Dynamic Viscosity: User Defined Viscosity μ 48.28 Pa-s

Convert Viscosity Units

Representative Grain Size - ds (mm): 0 Max Cv (%) (Opt): 61.5

Generalized Herschel-Bulkley Parameters: K 0 n 0

Elastic Methods: Coulomb ϕ 0

OK Cancel

Fuente: Equipo técnico evaluador.

El uso del modelo de flujo no newtoniano permite representar de manera más realista el comportamiento de los flujos con alta concentración de sedimentos que pueden originarse en las quebradas incidentes. Con esta configuración se espera:

- **Una mejor estimación del engrosamiento del flujo y una mayor precisión en el cálculo de tirantes máximos**
- **Determinación del esfuerzo cortante y las velocidades del flujo**
- **Contribuir a una detección más adecuada y precisa de las áreas con mayor potencial de afectación dentro del ámbito de estudio.**

3.7.11. RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN

Luego de la simulación correspondiente a un evento extremo con período de retorno definido se han obtenido las manchas de inundación máxima de tirantes según el escenario o características descritas en los ítems previos.

3.7.11.1. Progresivas y secciones transversales

Con el objetivo de describir algunos fenómenos hidráulicos y ubicación de zonas inundadas en el área de análisis del río Vilcanota se han trazado secciones transversales desde progresiva 2108 (inicio) a 83 (fin), tal como se muestra en la siguiente imagen. Estas secciones fueron distribuidas considerando los sectores definidos para la evaluación hidráulica:

- **Sector 1: Tramo 1A-1 (progresivas 1181 a 1084)**
- **Sector 2: Tramo 1A-2 (progresivas 1084 a 1071)**
- **Sector 3: Tramo 2A-1 (progresivas 1071 a 782)**
- **Sector 4: Tramo 2A-2 (progresivas 782 a 199)**

Figura N° 44: Secciones transversales trazadas en el área de análisis



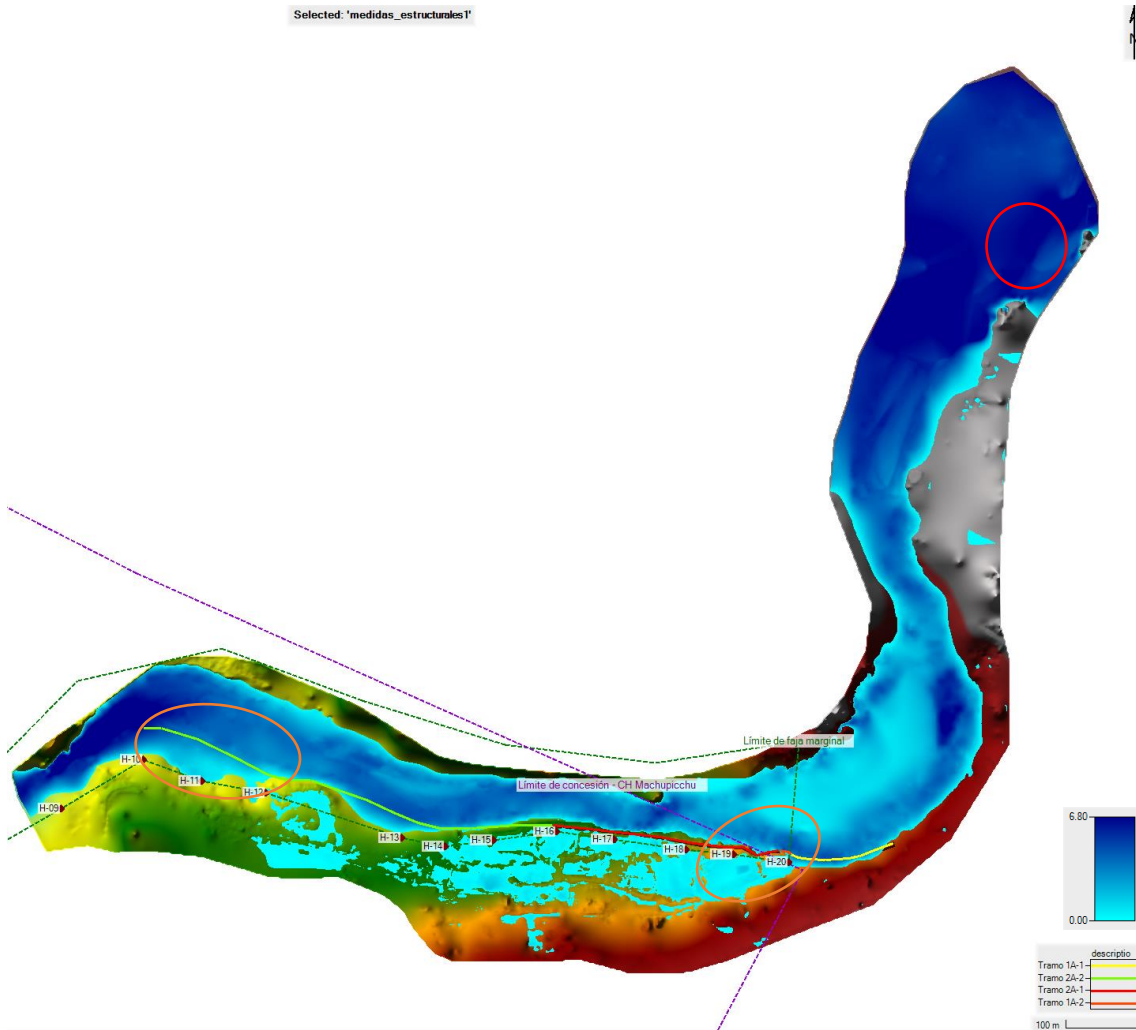
Fuente: Equipo técnico evaluador.


LESLY STENLA
DE LA CRUZ MARCELO
INGENIERA CIVIL
Reg. CIP N° 151547

3.7.11.2. Tirantes de flujo máximos

Se ha determinado la mancha de inundación en el sector de análisis del río Vilcanota incluidas las áreas de llanuras de inundación. En la siguiente imagen se observa gráficamente la variación del tirante desde el Ras Mapper de HEC-RAS. Se observa que los tirantes llegan a un valor máximo de 6.84 m (contorno rojo), el cual se encuentra aguas arriba del sector evaluado al inicio del área análisis.

Figura N° 45: Tirantes máximos de inundación en el área de estudio



Fuente: Equipo técnico evaluador.

Según la figura anterior, se identifican dos zonas de desbordamiento del flujo (delimitadas en color anaranjado), las cuales generan la propagación de la inundación hacia la margen izquierda del cauce dentro de los sectores evaluados. Estas áreas de mayor afectación serán analizadas en detalle en los apartados 3.6.11.5 Sectores críticos de desborde de flujo y 3.6.11.6 Secciones transversales y niveles máximos de flujo.

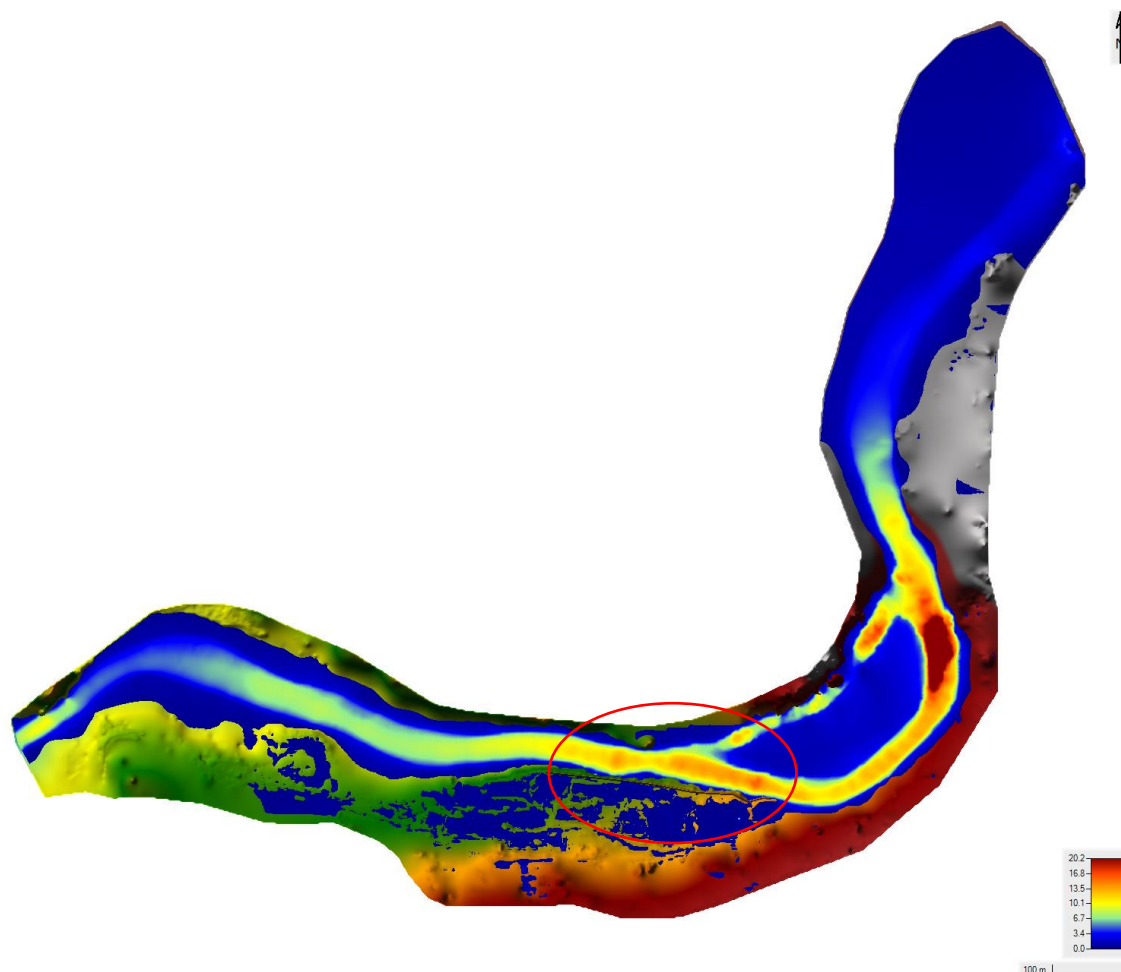
LESLY STELLA
DE LA CRUZ MARCELO
INGENIERA CIVIL
Reg. CIP N° 151547

3.7.11.3. Velocidades de flujo máximos

Se observa una velocidad máxima de 20.2 m/s. Cerca al área de interés se obtienen velocidades de flujo cercanas a 10 m/s.

Se ha determinado la mancha de inundación en el sector de análisis del río Vilcanota incluidas las áreas de llanuras de inundación. En la siguiente imagen se observa gráficamente la variación de la velocidad máxima desde el Ras Mapper de HEC-RAS. Se observa una velocidad máxima de 20.2 m/s. Cerca al área de interés se obtienen velocidades de flujo cercanas a 10 m/s.

Figura N° 46: Velocidades máximas en el área de estudio



Fuente: Equipo técnico evaluador

3.7.11.4. Esfuerzos cortantes máximos

Se observa un esfuerzo cortante máximo de 604 kPa. Cerca al área de interés en las paredes de las estructuras correspondientes se obtienen esfuerzos cortantes de menos de 100 kPa.

Se ha determinado la mancha de inundación en el sector de análisis del río Vilcanota incluidas las áreas de llanuras de inundación. En la siguiente imagen se observa gráficamente la variación del esfuerzo cortante máximo desde el Ras Mapper de HEC-RAS.

Figura N° 47: Esfuerzos cortantes máximos en el área de estudio



Fuente: Equipo técnico evaluador

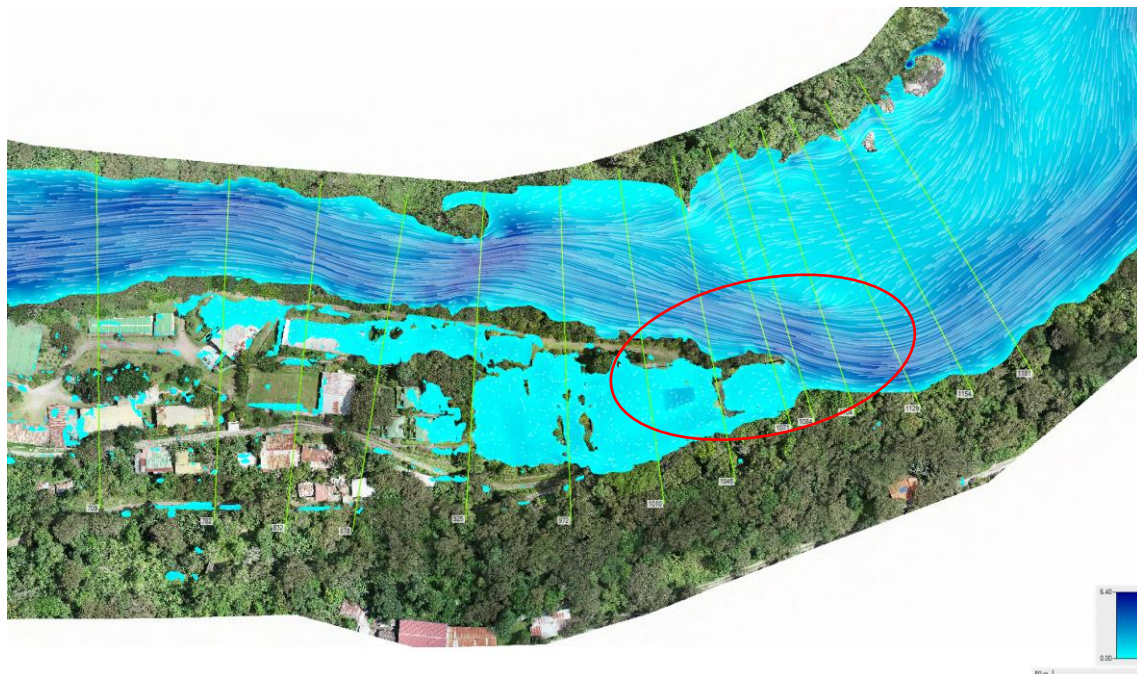
3.7.11.5. Sectores críticos de desborde de flujo

Como se mencionó en el apartado 3.6.11.2. Tirantes de flujo máximos, se ha identificado dos sectores críticos por donde el flujo se desborda, los cuales serán descritos a continuación.

Sector crítico 1 – Progresivas 1129 a 1071

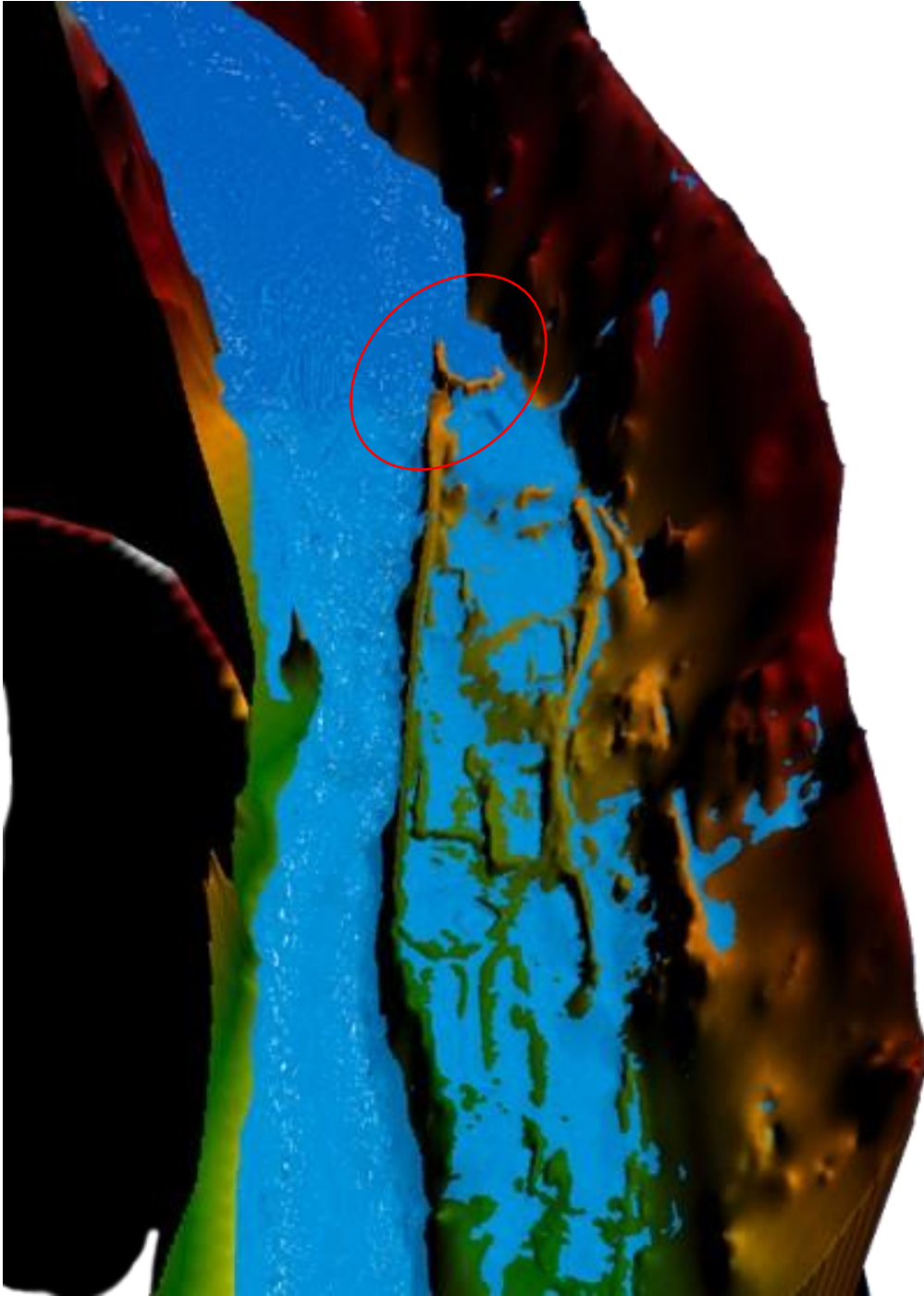
Este sector crítico corresponde a los sectores de evaluación Tramo 1A-1 y 1A-2. Se observa que desde secciones aguas arriba las líneas de flujo empiezan a curvarse y generar mayor aceleración centrípeta lo que provoca un mayor incremento de tirante en el extremo de la pared. Este ascenso de flujo provoca desborde y la dirección e ingreso de flujo hacia las instalaciones de la hidroeléctrica. Se puede observar en todo el tramo mostrado en la figura un tirante máximo de 6.40 m.

Figura N° 48: Sector crítico 1 – Progresivas 1129 a 1071



Fuente: Equipo técnico evaluador.

Figura N° 49: Vista 3D del Sector crítico 1 – Progresivas 1129 a 1071

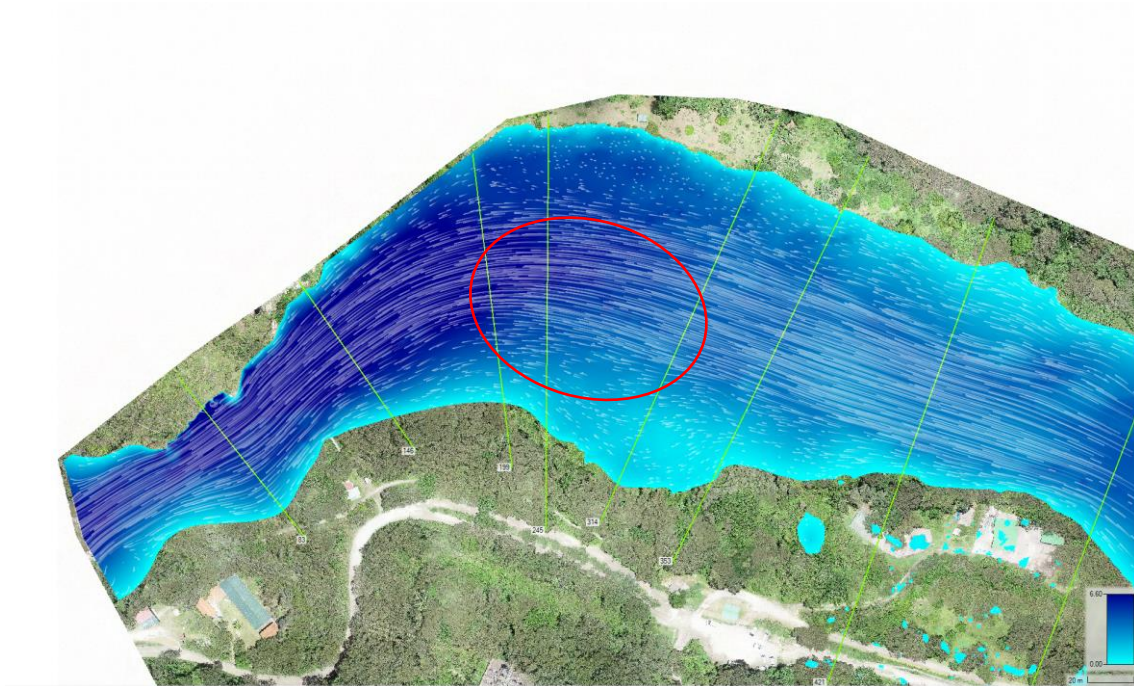


Fuente: Equipo técnico evaluador.

Sector crítico 2 – Progresivas 353 a 245

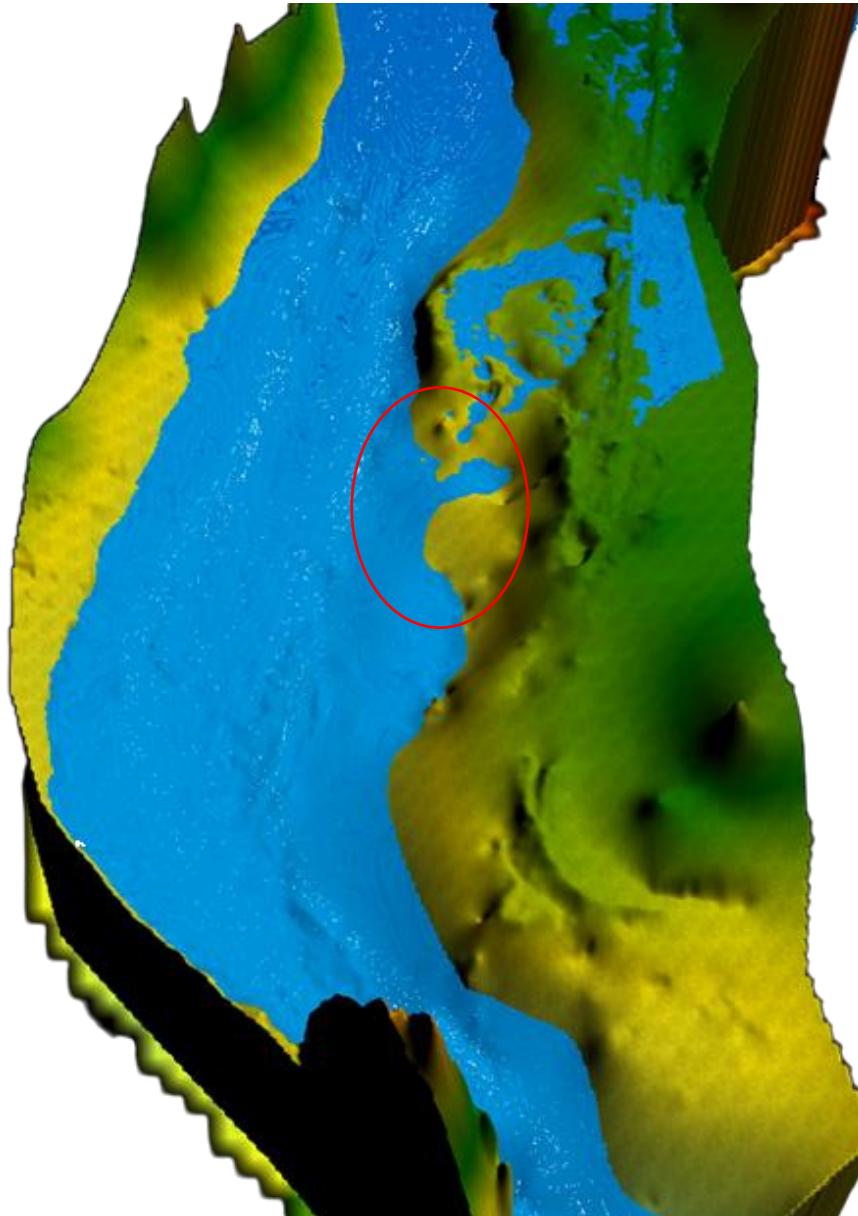
Este sector crítico corresponde al sector de evaluación Tramo 2A-2. Se observa que a partir de la sección 353 el flujo empieza a acumularse en el talud izquierdo hacia aguas abajo lo que provoca la inundación de la llanura en esa zona. Este talud insuficiente permite la acumulación de flujo en esa zona aguas abajo de las instalaciones de la hidroeléctrica. Se puede observar en todo el tramo mostrado en la figura un tirante máximo de 6.60 m.

Figura N° 50: Sector crítico 2 – Progresivas 353 a 245



Fuente: Equipo técnico evaluador.

Figura N° 51: Vista 3D Sector crítico 2 – Progresivas 353 a 245



Fuente: Equipo técnico evaluador.

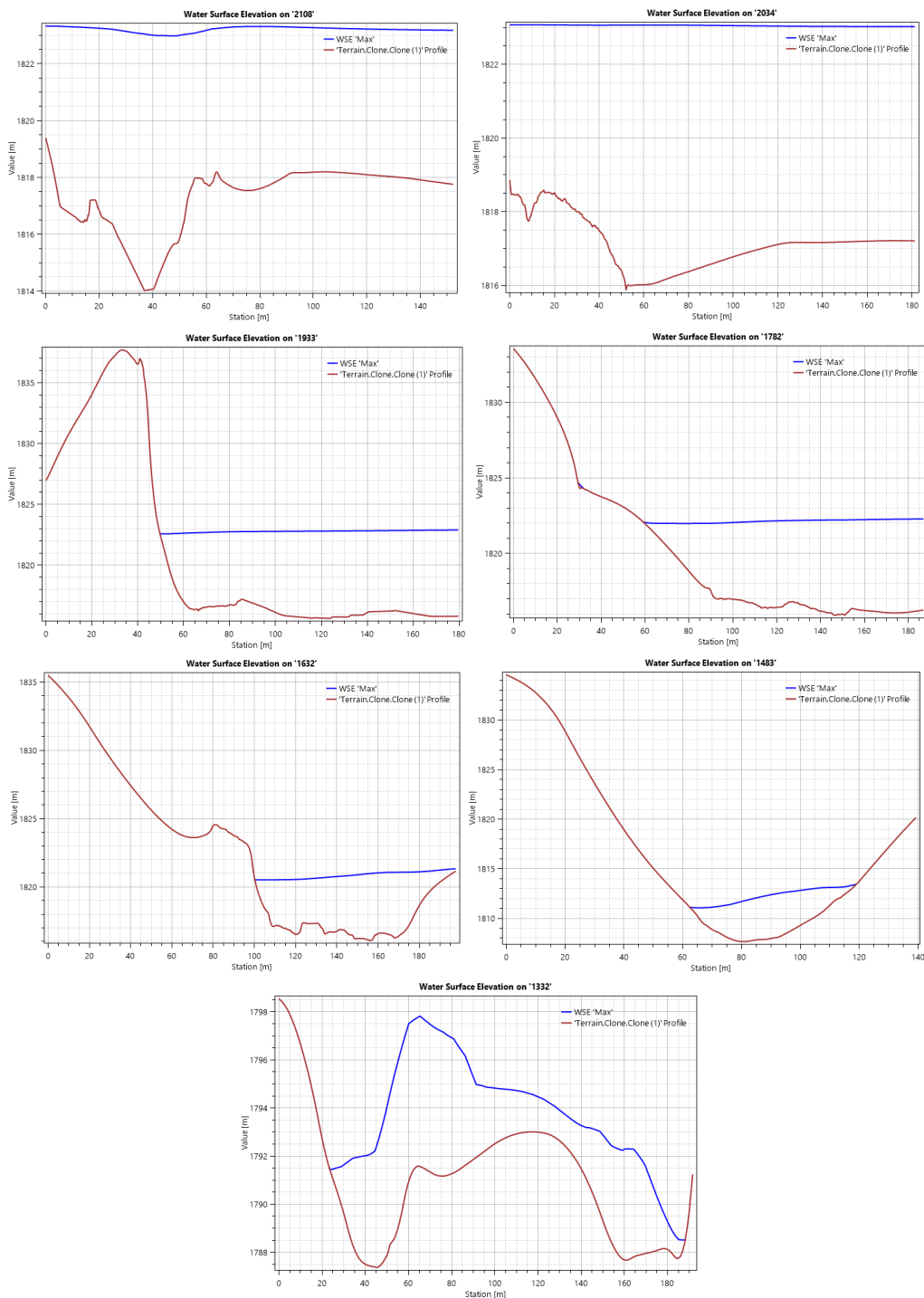
De esta forma, se ha identificado los sectores críticos, el cual el primero se debe al incremento del tirante en la pared lado izquierdo y desborde de flujo hacia las instalaciones; y el segundo se debe a talud insuficiente en la margen izquierda del cauce y acumulación de flujo en esa zona aguas abajo de las instalaciones.

Estos dos sectores críticos abarcan zonas de análisis puntuales, por lo que es necesario obtener los parámetros hidráulicos representativos por sectores de evaluación: Tramo 1A-1, 1A-2, 2A-1 y 2A-2, esto se describe y se presenta en el apartado siguiente 3.6.11.6 Secciones transversales y niveles máximos de flujo.

3.7.11.6. Secciones transversales niveles de flujo máximos

Se han obtenido los valores de niveles de flujo de 1250 m³/s para el diseño de 200 años asociado a un terreno base representado en secciones transversales, según el apartado 3.6.10.1 Progresivas y secciones transversales. Se presentan las secciones transversales obtenidas desde Ras Mapper por sectores de evaluación: Tramo 1A-1, 1A-2, 2A-1 y 2A-2.

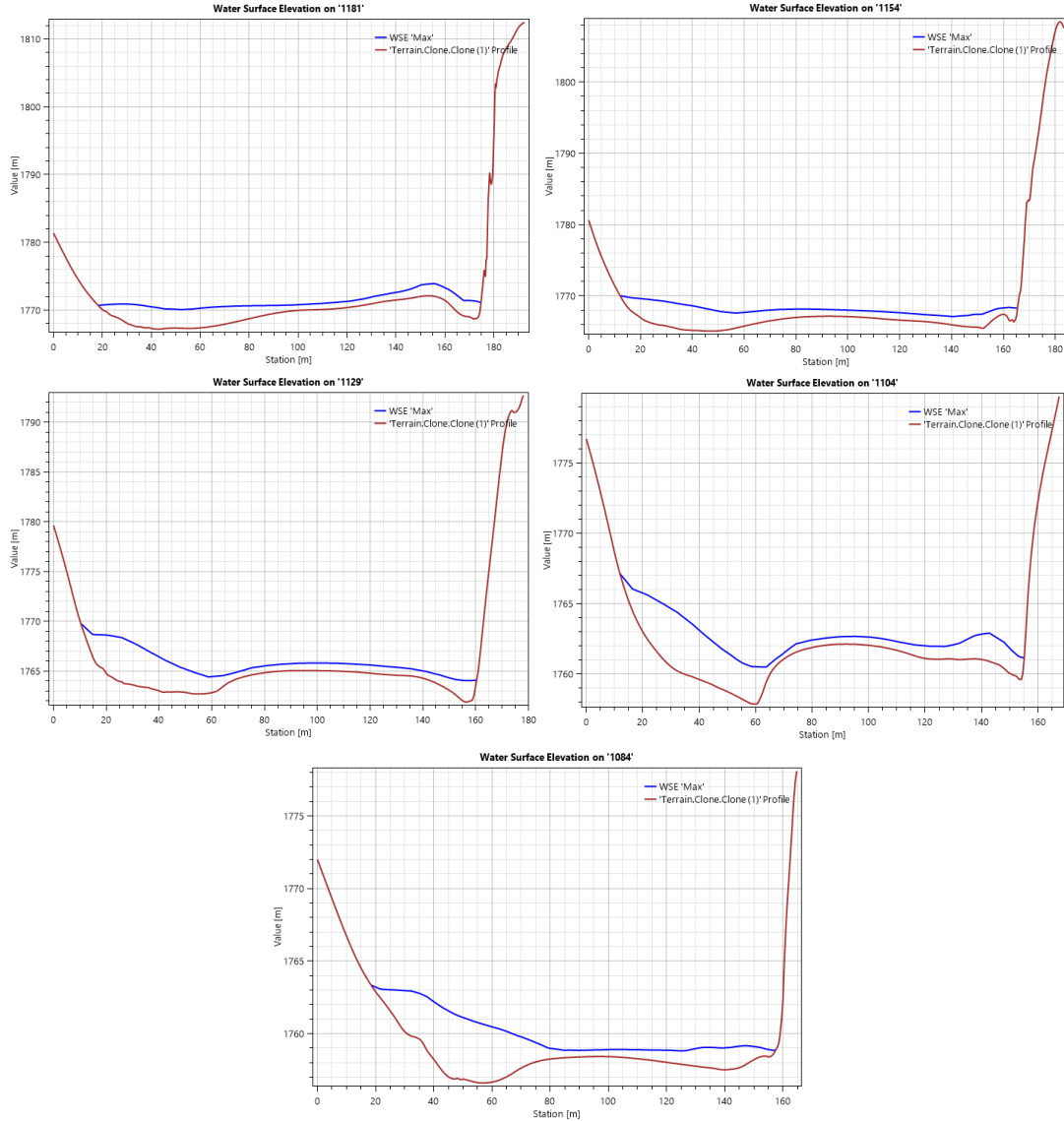
Figura N° 52: Secciones transversales de nivel de flujo – Progresiva 2108 a 1332



Fuente: Equipo técnico evaluador

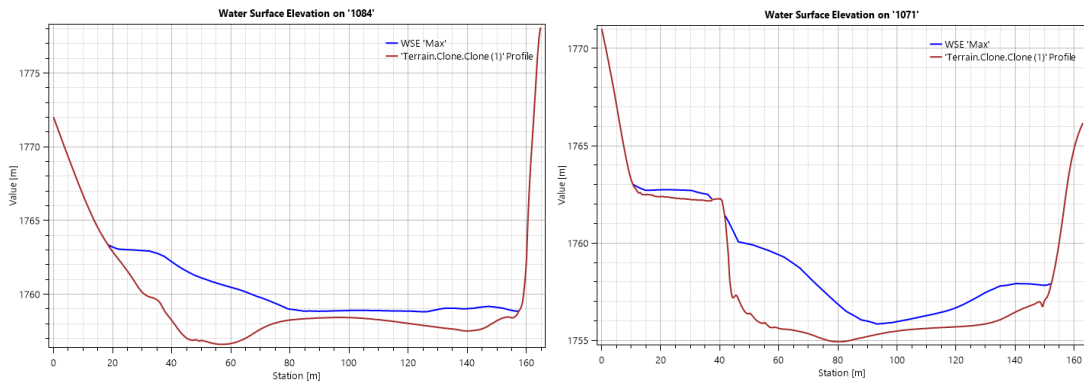

LESLY STELLA
DE LA CRUZ MARCELO
INGENIERA CIVIL
Reg. CIP N° 151547

Figura N° 53: Secciones transversales de nivel de flujo en el sector de análisis Tramo 1A-1 - Progresiva 1181 a 1084



Fuente: Equipo técnico evaluador

Figura N° 54: Secciones transversales de nivel de flujo en el sector de análisis Tramo 1A-2 - Progresiva 1084 a 1071



Fuente: Equipo técnico evaluador


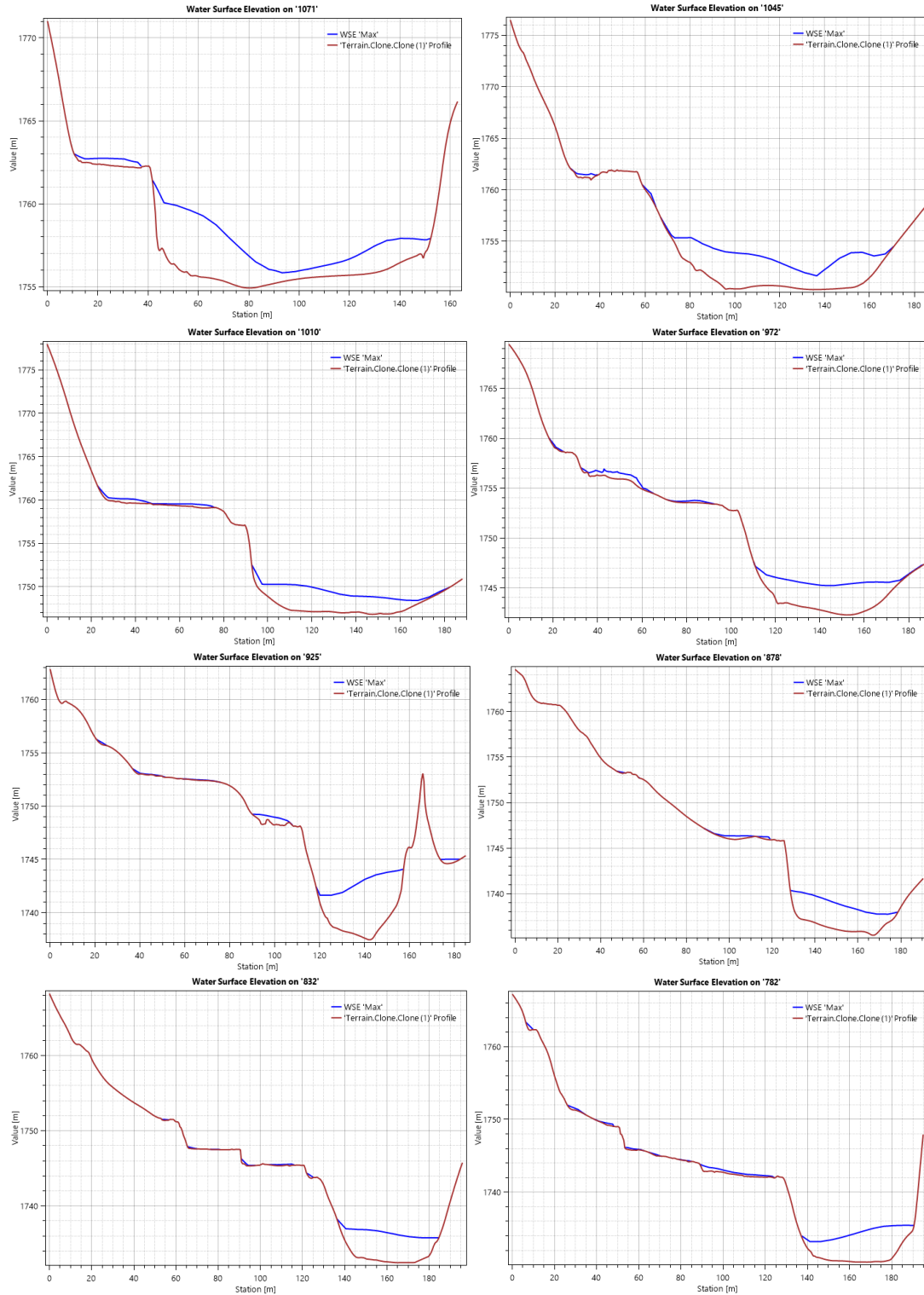

LESLY STELLA
DE LA CRUZ MARCELO
INGENIERA CIVIL
Reg. CIP N° 151547

Figura N° 55: Secciones transversales de nivel de flujo en el sector de análisis Tramo 2A-1 - Progresiva 1071 a 782



Fuente: Equipo técnico evaluador


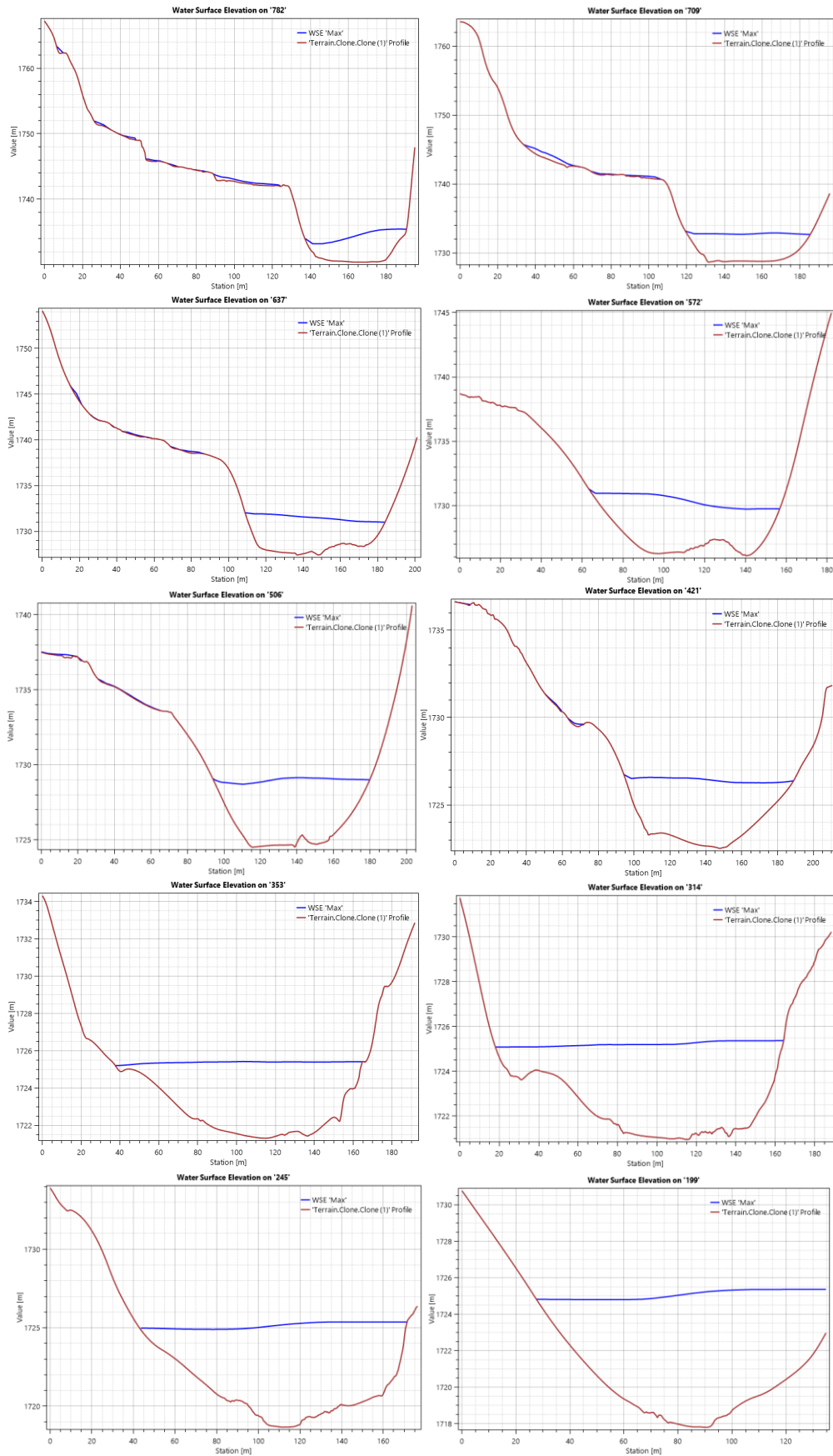


LESLY STELLA
DE LA CRUZ MARCELO
INGENIERA CIVIL
Reg. CIP N° 151547

Figura N° 56: Secciones transversales de nivel de flujo en el sector de análisis Tramo 2A-2 - Progresiva 782 a 199



Fuente: Equipo técnico evaluador


LESLY STELLA
DE LA CRUZ MARCELO
INGENIERA CIVIL
Reg. CIP N° 151547

Asimismo, **se presentan los parámetros hidráulicos representativos por sector evaluado**, los cuales serán utilizados en las secciones posteriores de evaluación y propuesta:

Tramo 1A-1 - Progresiva 1181 a 1084:

- Tirante máximo: 5.10 m
- Tirante máximo promedio: 4.00 m
- Ancho promedio: 125 m
- Velocidad máxima en talud margen izquierda: 10.4 m/s

Tramo 1A-2 - Progresiva 1084 a 1071:

- Tirante máximo: 5.10 m
- Tirante máximo promedio: 4.20 m
- Ancho promedio: 95 m
- Velocidad máxima en talud margen izquierda: 10.2 m/s

Tramo 2A-2 - Progresiva 1071 a 782:

- Tirante máximo: 6.40 m
- Tirante máximo promedio: 3.90 m
- Ancho promedio: 45 m
- Velocidad máxima en talud margen izquierda: 10 m/s

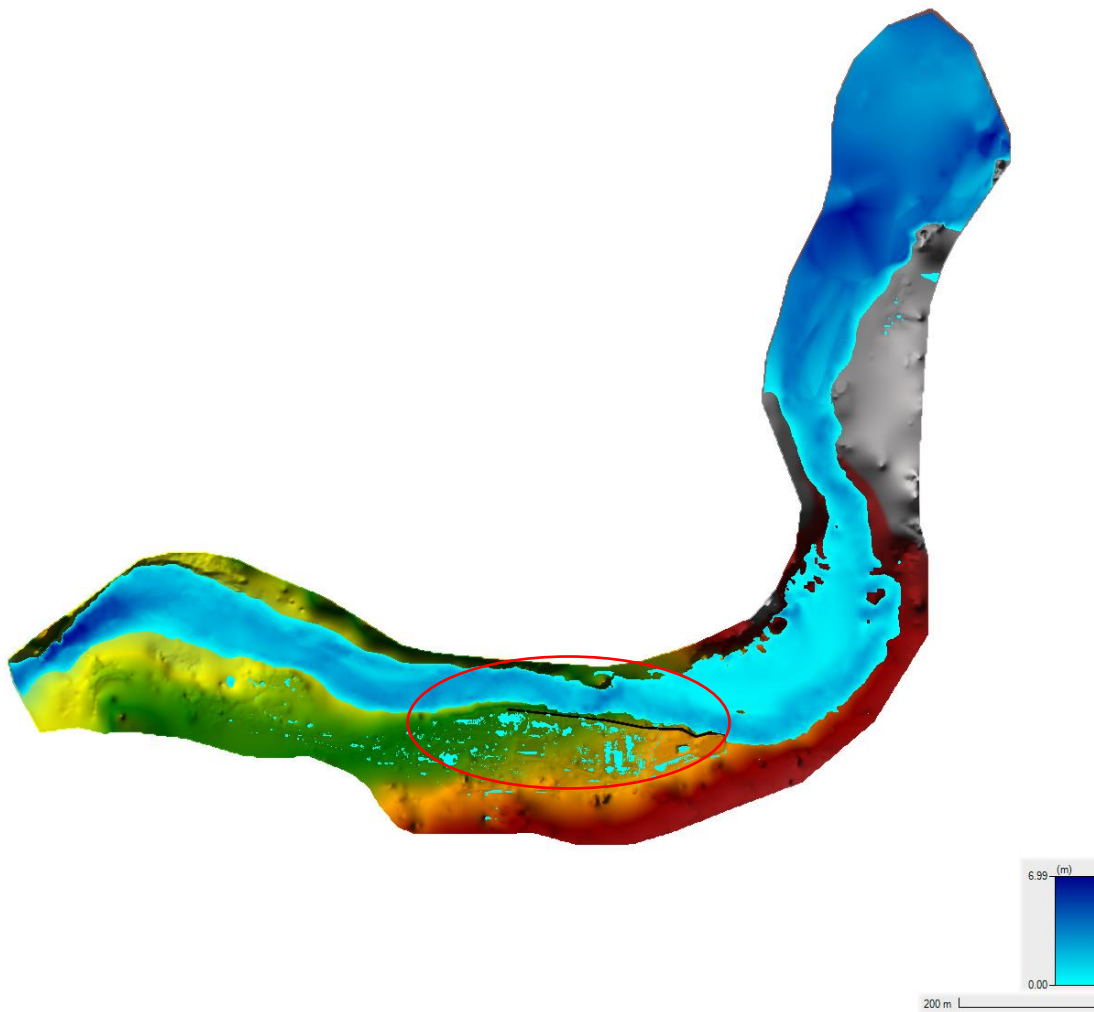
Tramo 2A-2 - en sector crítico Progresiva 353 a 245.

- Tirante máximo: 6.60 m
- Tirante máximo promedio: 5.00 m
- Ancho promedio: 70 m
- Velocidad máxima en talud margen izquierda: 5 m/s

3.7.11.7. Escenarios de simulación para diferentes períodos de retorno

Con el fin de evaluar la respuesta hidráulica del cauce ante eventos extremos y establecer los niveles de peligro asociados, se realizaron simulaciones de flujo no permanente en HEC-RAS Mapper para tres periodos de retorno: 50, 100 y 200 años. Para cada escenario se obtuvieron los tirantes máximos alcanzados durante el hidrograma de diseño, permitiendo comparar la magnitud del desbordamiento potencial y la extensión de la inundación bajo distintas condiciones hidrológicas.

Figura N° 57: Tirantes máximos – T 50 años



Fuente: Equipo técnico evaluador


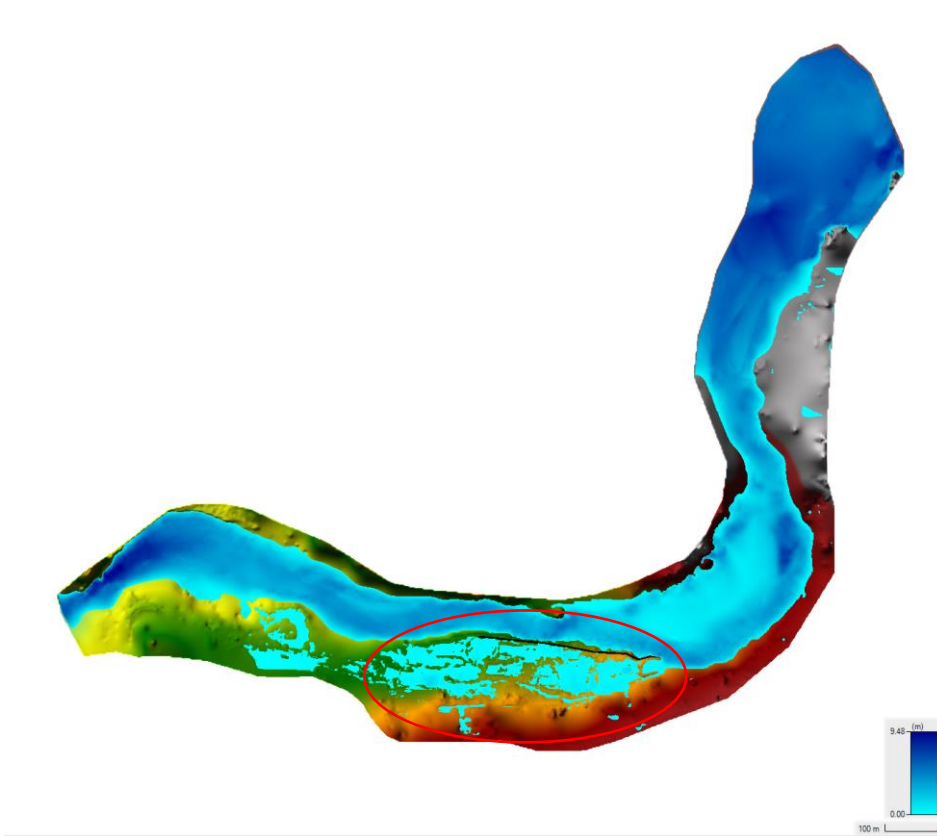
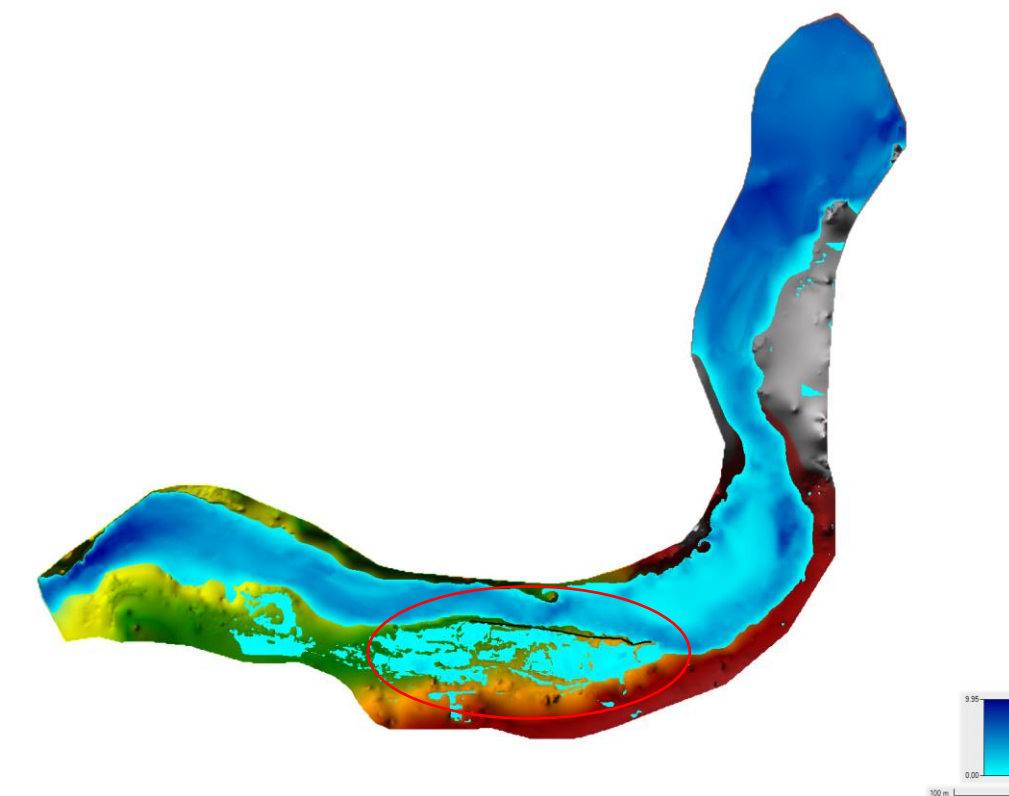

LESLY STELLA
DE LA CRUZ MARCELO
INGENIERA CIVIL
Reg. CIP N° 151547

Figura N° 58: Tirantes máximos – T 100 años




Fuente: Equipo técnico evaluador

Figura N° 59: Tirantes máximos – T 200 años



Fuente: Equipo técnico evaluador

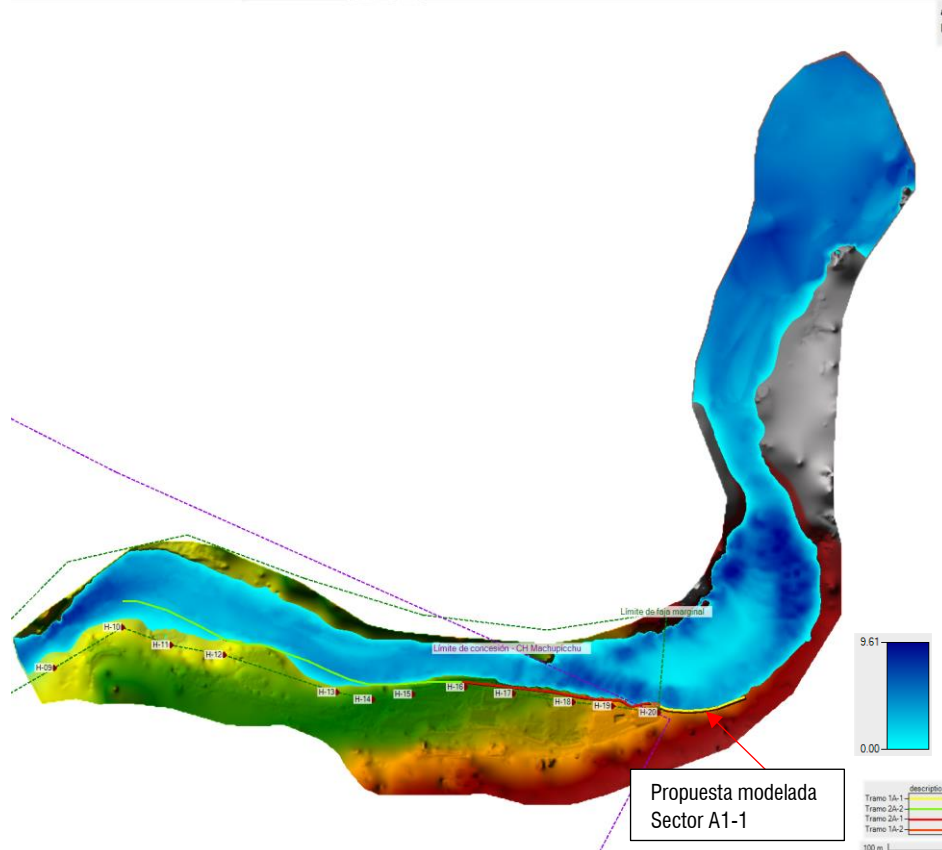

LESLY STELLA
DE LA CRUZ MARCELO
INGENIERA CIVIL
Reg. CIP N° 151547

La comparación espacial de los tirantes máximos muestra una progresión coherente del peligro conforme aumenta el periodo de retorno, lo que confirma la consistencia y veracidad del análisis hidráulico realizado. Para el evento de 50 años, la inundación se concentra principalmente dentro del cauce activo y en zonas bajas inmediatas; en el escenario de 100 años se evidencia una expansión lateral hacia terrazas inundables, reflejando un incremento gradual de la energía y capacidad de desbordamiento del flujo en esa zona de aproximadamente 0.50 m. Finalmente, para el periodo de retorno de 200 años, los tirantes alcanzan mayores profundidades y la lámina de inundación se extiende hacia áreas que permanecen sin afectación en eventos menores, con tirantes en esa zona que sobrepasan los 0.50 m.

3.7.11.8. Modelamiento con la medida estructural

Se desarrolló la simulación de inundación para un periodo de retorno de 200 años, considerando un caudal máximo de 1250 m³/s, incorporando la propuesta de defensa ribereña en el sector crítico del tramo 1A-1. El objetivo principal de este escenario fue analizar el comportamiento hidráulico del flujo bajo condiciones extremas una vez implementada la medida estructural, evaluando la modificación de las líneas de corriente, la distribución de tirantes y la respuesta del modelo bidimensional ante la presencia del muro de protección planteado.

Figura N° 60: Tirantes máximos – T 200 años – con propuesta simulada en tramo crítico Sector 1A-1



Fuente: Equipo técnico evaluador

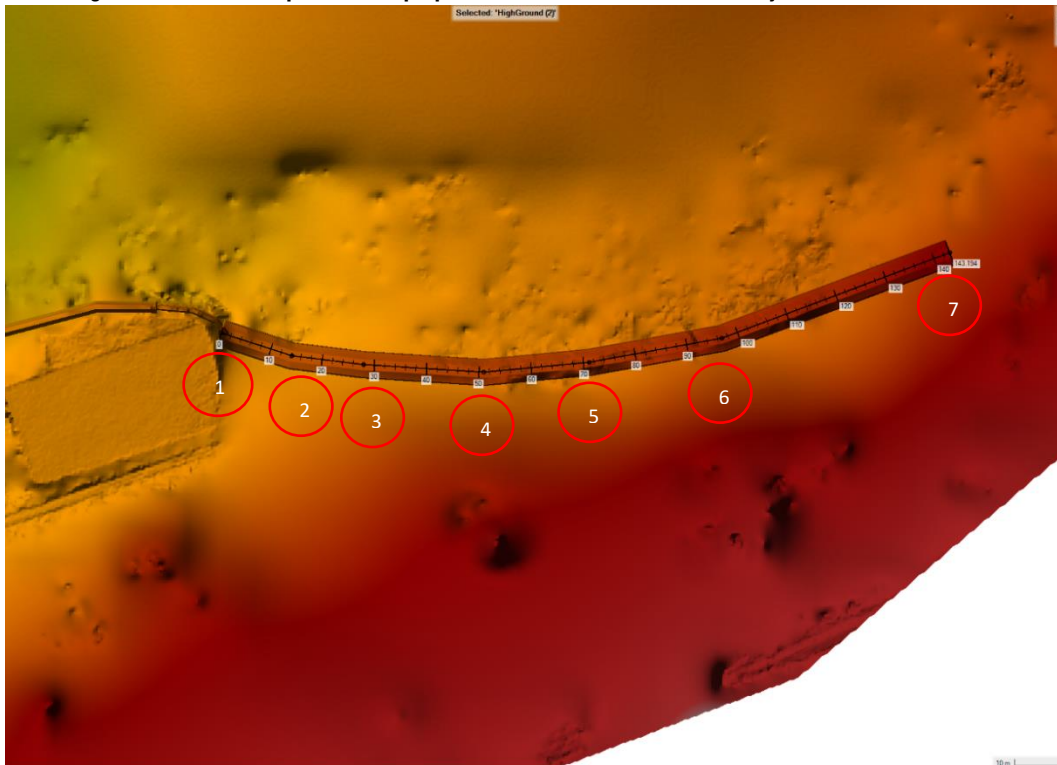

LESLY STELLA
DE LA CRUZ MARCELO
INGENIERA CIVIL
Reg. CIP N° 151547

Los resultados hidráulicos evidencian que, con la defensa ribereña propuesta, **el flujo se mantiene confinado dentro del cauce sin producir desbordes hacia la margen izquierda**, eliminando las zonas de inundación previamente identificadas. Asimismo, se observa una adecuada deflexión de las líneas de flujo en la zona de curvatura cercana a la estructura, lo que garantiza un tránsito hidráulico seguro y estable, evitando la afectación a las áreas vulnerables en el entorno inmediato y asegurando una mayor eficiencia en el control y contención de avenidas extraordinarias.

Cabe resaltar que este elemento artificial de muro defensa se ha incorporado con 7.5 metros de altura únicamente de forma esquemática con la finalidad de encauzar y observar el comportamiento del flujo. Por lo que se debe proponer una altura más efectiva en el apartado correspondiente.

Por otra parte, se presenta la vista en planta, el perfil longitudinal y las secciones transversales correspondientes a la estructura modelada en el sector crítico 1A-1, con el propósito de vincular los niveles máximos de flujo obtenidos en la modelación hidráulica con el dimensionamiento estructural de la solución. Estos insumos permiten definir con mayor precisión la altura de protección requerida, las cotas de coronación y los parámetros hidráulicos, asegurando la coherencia técnica entre el desempeño hidráulico observado y el diseño definitivo de la medida estructural en el apartado correspondiente.

Figura N° 61: Vista en planta de la propuesta artificial en el modelo de flujos en tramo crítico Sector 1A-1



Fuente: Equipo técnico evaluador

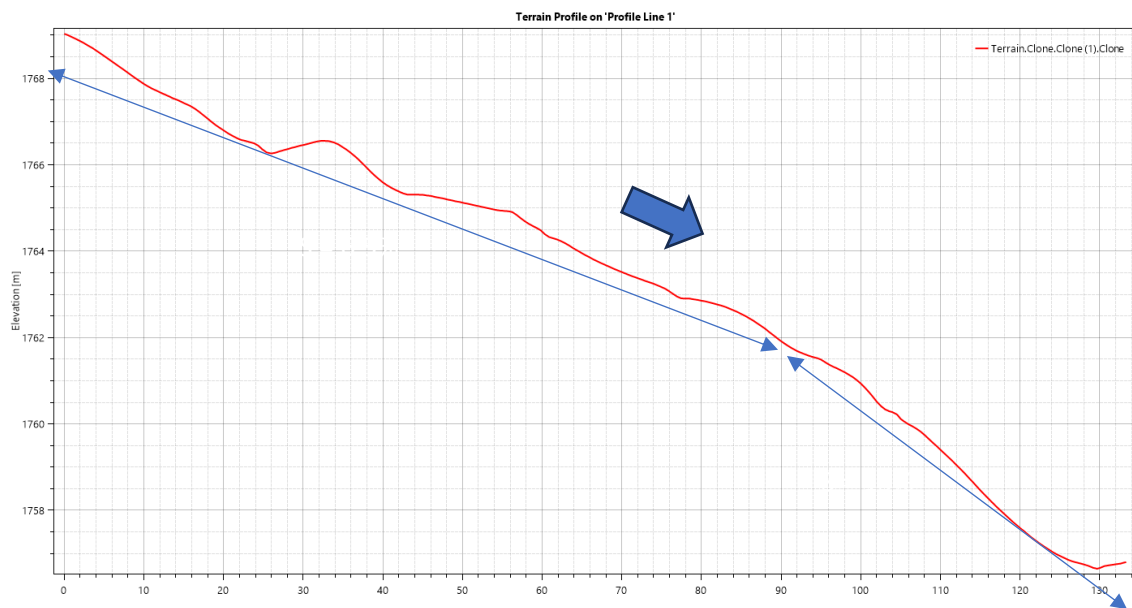
De manera preliminar, y deberá ser corroborado en el apartado correspondiente, la forma en planta de una solución estructural en el sector crítico 1A-1 puede adquirir la configuración mostrada utilizada en

LESLY STELLA
DE LA CRUZ MARCELO
INGENIERA CIVIL
Reg. CIP N° 151547

la modelación con una longitud aproximada de 143 metros en planta, cuyas coordenadas de ubicación de puntos de control (PC) (contorno rojo en la figura anterior) en UTM WGS84 Zona 18 Sur serán:

- PC 1: 765098.4217 E – 8542272.3010 N
- PC 2: 765111.9361 E – 8542267.9328 N
- PC 3: 765125.5899 E – 8542266.4345 N
- PC 4: 765148.4842 E – 8542264.8176 N
- PC 5: 765168.6116 E – 8542266.7044 N
- PC 6: 765193.8728 E – 8542271.2766 N
- PC 7: 765237.3014 E – 8542287.6315 N

Figura N° 62: Perfil longitudinal de la propuesta artificial en el modelo de flujos en tramo crítico Sector 1A-1



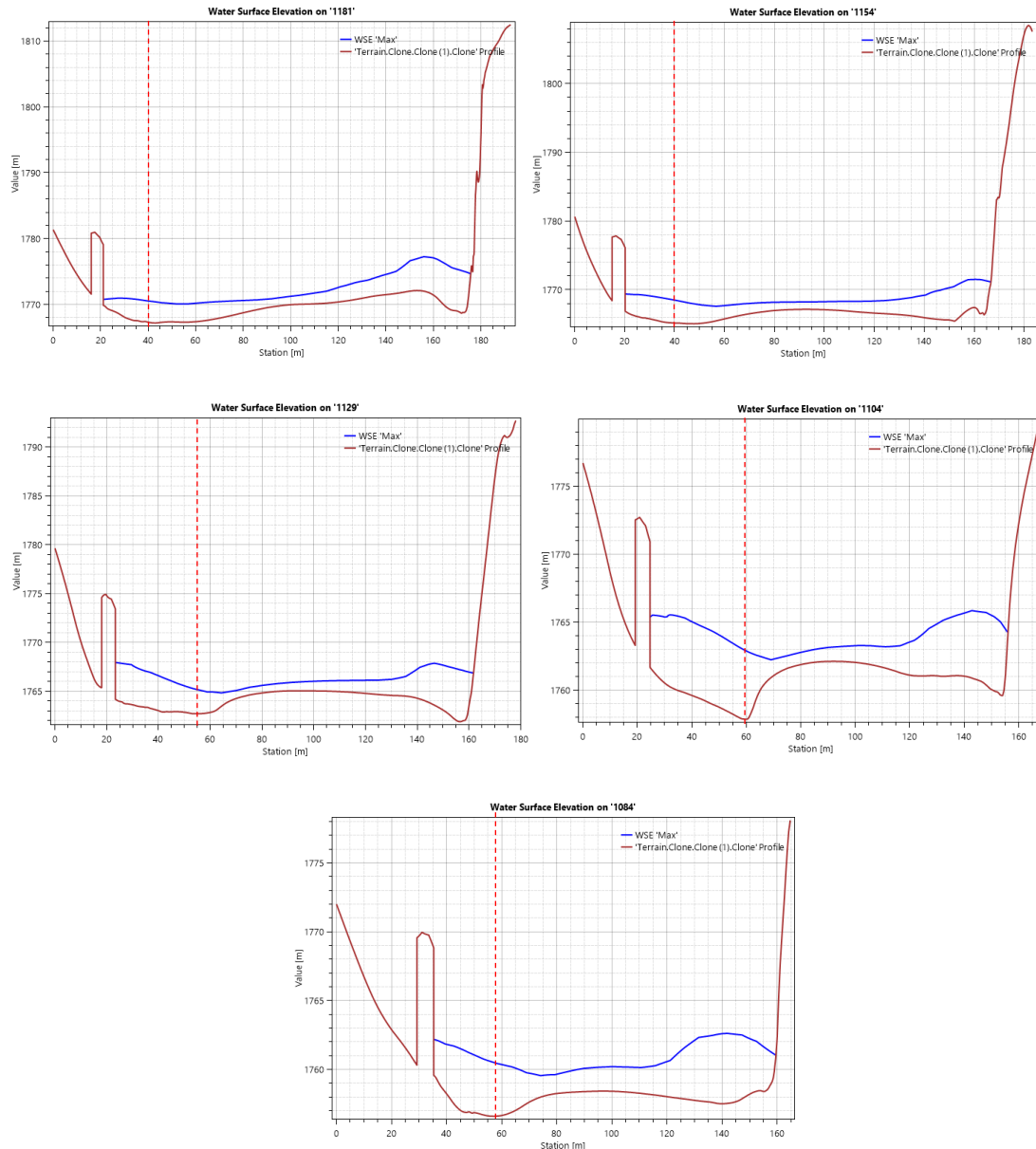
Fuente: Equipo técnico evaluador

Como se observa en el perfil de terreno con propuesta modelada, **la rasante de cimentación de una estructura de defensa ribereña deberá acompañar el relieve natural del cauce**, manteniendo una profundidad de empotramiento suficiente para garantizar la estabilidad frente a procesos de socavación y esfuerzos hidráulicos dinámicos. En este sector crítico del tramo 1A-1 se identifican dos tramos diferenciados de pendiente del terreno (aproximadamente **6.5% y 13%**), por lo que el diseño deberá considerar dicha variabilidad a fin de evitar concentraciones de esfuerzos, asegurar la continuidad de la protección y favorecer un adecuado tránsito del flujo en eventos extraordinarios.

Se recomienda utilizar las elevaciones del perfil mostrado como base para establecer cotas y pendientes de diseño de rasante de estructura de defensa proyectada.

Figura N° 63: Secciones transversales de nivel de flujo en el sector crítico con propuesta Tramo 1A-1 - Progresiva 1181 a 1084


LESLY STELLA
DE LA CRUZ MARCELO
INGENIERA CIVIL
Reg. CIP N° 151547



Fuente: Equipo técnico evaluador

Los resultados de las secciones transversales de la simulación muestran que los niveles de flujo máximos alcanzados en la pared de una estructura de defensa modelada son:

- Sección 1181-> Nivel flujo: 1771 msnm, Nivel fondo cauce: 1767 msnm, Diferencia: 4 m
- Sección 1154-> Nivel flujo: 1769.5 msnm, Nivel fondo cauce: 1765 msnm, Diferencia: 4.5 m
- Sección 1129-> Nivel flujo: 1768 msnm, Nivel fondo cauce: 1763 msnm, Diferencia: 5 m
- Sección 1104-> Nivel flujo: 1765.5 msnm, Nivel fondo cauce: 1758 msnm, Diferencia: 7.5 m
- Sección 1084-> Nivel flujo: 1762 msnm, Nivel fondo cauce: 1756.5 msnm, Diferencia: 5.5 m

Como se puede notar, en el **sector crítico 1A-1** para la proyección de una estructura de defensa ribereña antes inundaciones, se tiene que **la máxima diferencia entre nivel de flujo máximo y fondo de cauce es 7.5 m. Por ende, la estructura de defensa en ese sector debe tener una altura mínima de 7.5 m sin considerar borde libre ni profundidad de cimentación.**


LESLY STELLA
DE LA CRUZ MARCELO
INGENIERA CIVIL
Reg. CIP N° 151547

Por lo tanto, los parámetros hidráulicos de control que deberán ser considerados directamente en el apartado de propuesta estructural según los resultados y recomendaciones de la simulación hidráulica, a fin de asegurar que la solución planteada cuente con una altura efectiva de protección, mantenga un factor de seguridad adecuado y garantice la no superación del borde de coronación bajo condiciones hidrológicas extremas son:

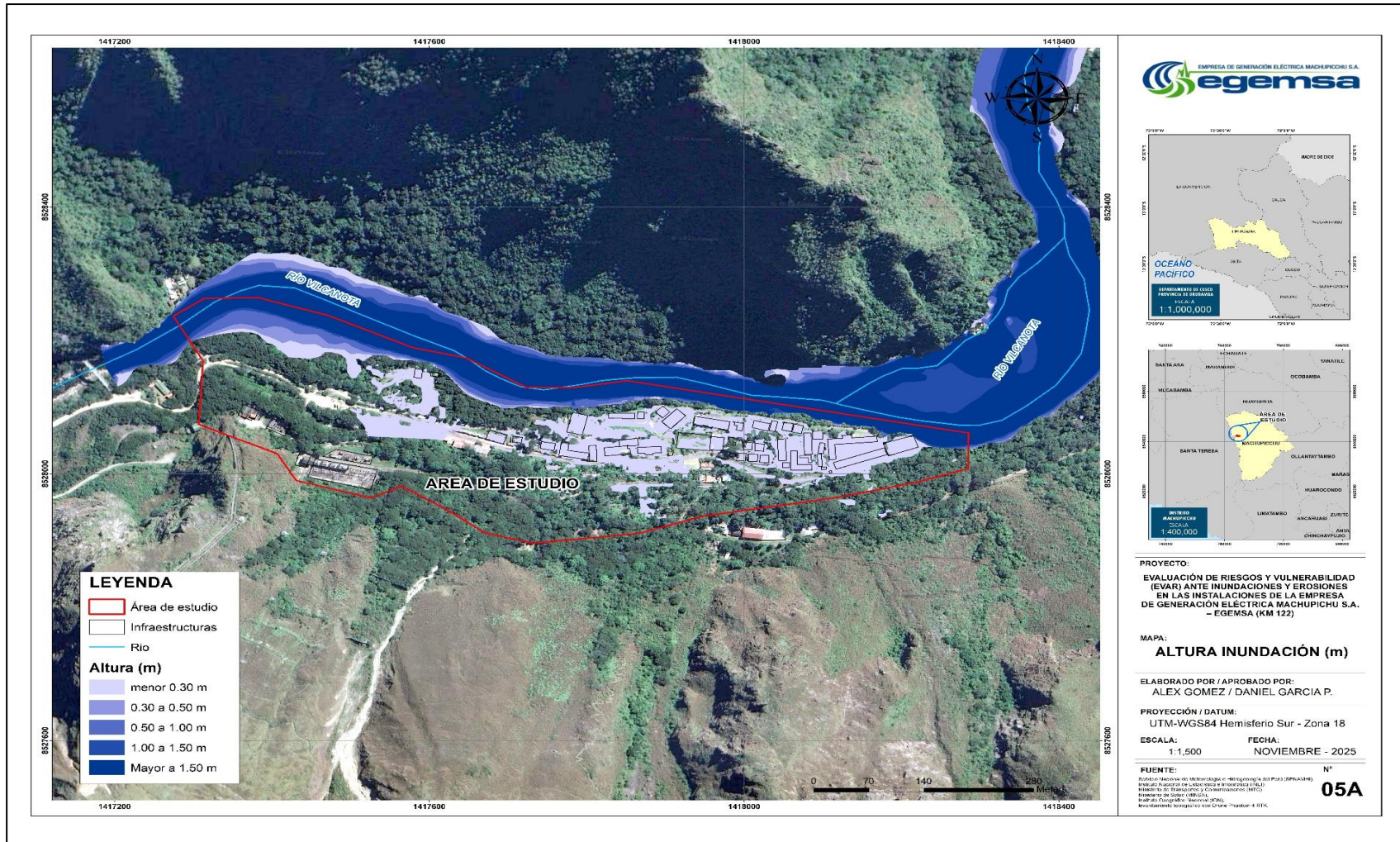
- **Corroboración y verificación de los 7 puntos de control y longitud de 143 m de la estructura de defensa de su configuración en planta, utilizada y verificada hidráulicamente.**
- **Se recomienda que la rasante de la cimentación de estructura acompañe el relieve del cauce, 6.5% de pendiente los primeros 90 metros desde aguas arriba hacia aguas abajo y el resto a 13 % de pendiente hasta el fin de la propuesta (punto de control 1).**
- **La estructura de defensa en ese sector debe tener una altura mínima de 7.5 m sin considerar borde libre ni profundidad de cimentación.**
- **Se recomienda utilizar un borde libre como mínimo de 50 cm a fin de garantizar la seguridad hidráulica de la estructura ante fenómenos hidrológicos extremos.**

En conclusión, la selección de períodos de retorno en el presente estudio se encuentra técnicamente justificada en función del nivel de riesgo admisible, la vida útil de la infraestructura y la importancia hidráulica de las cuencas o quebradas incidentes al tramo del río Vilcanota evaluado. De acuerdo con el Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje del MTC (2011), para una vida útil de 40 años y un riesgo admisible aproximado del 25%, el período de retorno de diseño se sitúa en un rango de 140 a 200 años. En este contexto, se ha considerado un período de retorno de 200 años para la cuenca principal del río Vilcanota y las quebradas laterales, manteniendo coherencia con el rango recomendado y asegurando un nivel de riesgo adecuado. Así mismo, es importante indicar que dada que las propuestas de medidas estructurales que se plantean en las secciones posteriores del presente informe, no serán evaluadas dentro del marco de los proyectos de inversión.

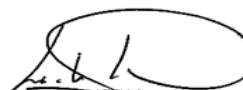


LESLY STELLA
DE LA CRUZ MARCELO
INGENIERA CIVIL
Reg. CIP N° 154547

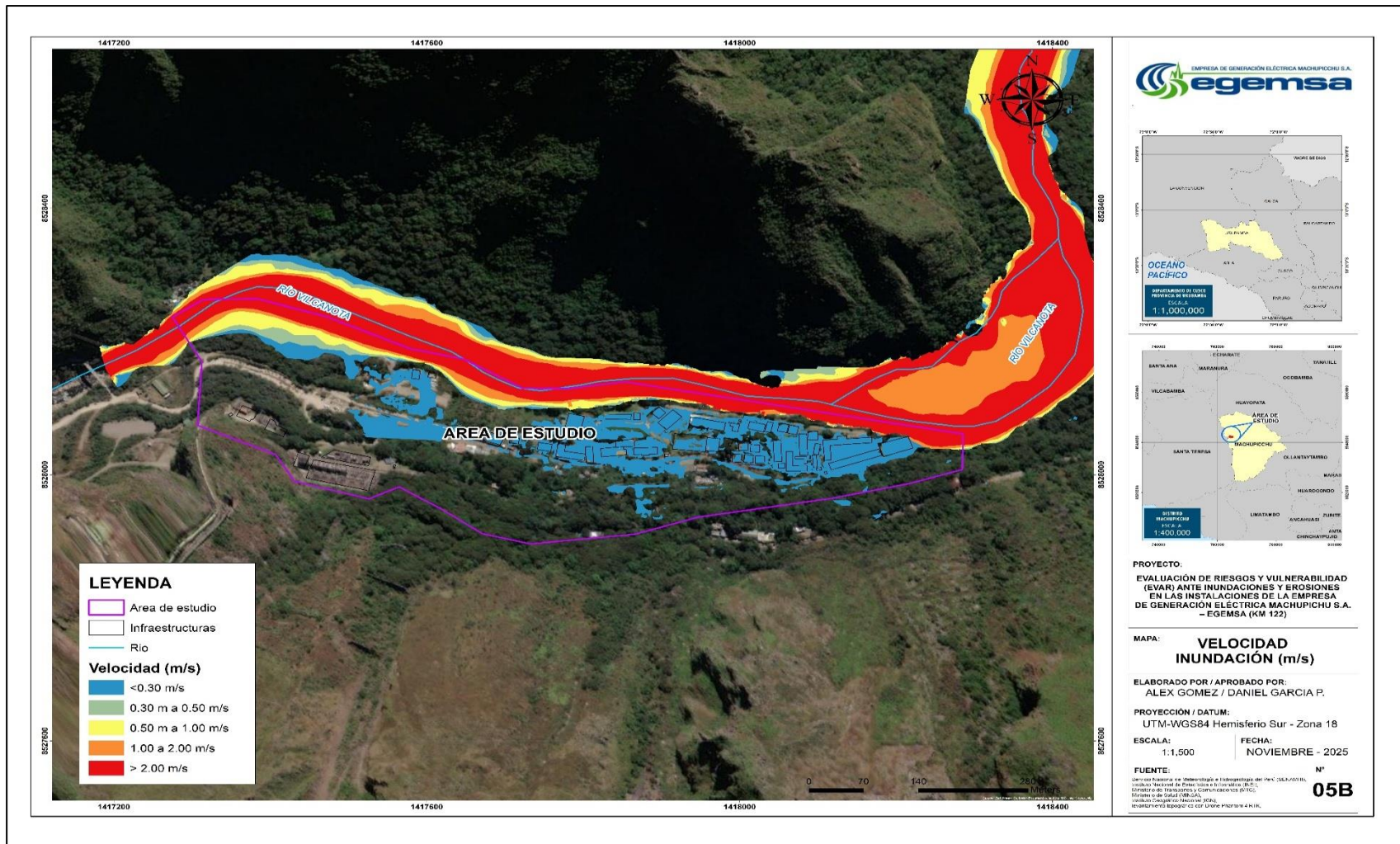
Mapa N° 5A: Altura inundación (m) para TR 200 años.




Fuente: Equipo técnico evaluador


LESLY STELLA
DE LA CRUZ MARCELLO
INGENIERA CIVIL
Reg. CIP N° 154547

Mapa N°5B: Velocidad inundación (m/s) para TR 200 años.



Fuente: Equipo técnico evaluador


 LESLY STELLA
 DE LA CRUZ MARCELO
 INGENIERA CIVIL
 Reg. CIP N° 154517

3.8. TABLA METODOLÓGICA DE LA ASIGNACIÓN DE CATEGORÍAS DE LOS PARÁMETROS PARA EL ANÁLISIS DEL PELIGRO

La metodología del CENEPRED indica que la calificación de la intensidad se realiza mediante la descripción cualitativa de parámetros específicos (precipitación anómala, pendiente, unidad geológica, unidades geomorfológicas, altura de aguay velocidad de agua). Estos parámetros varían según el tipo de peligro, pero en este caso se ha realizado por inundación fluvial.

A continuación, se presenta como se ha generalizado estos criterios, adaptado a los parámetros mencionados, tal como se describe en los anexos de los manuales del CENEPRED:

Cuadro N°32: Metodología para asignación de categorías de los parámetros

Categoría	Criterios para Peligros Geológicos/Hidrológicos (Ejemplo)
Muy Alto	Valores máximos de los parámetros. precipitación anómala $RR > 43.8$, pendiente $0-5^\circ$, unidad geológica Deposito fluvial (Q-fl), unidades geomorfológicas Cauce fluvial (C-f), altura de agua Mayor a 1.50 m y velocidad de agua > 2.00 m/s.
Alto	Valores significativos. precipitación anómala $28 < RR \leq 43.8$, pendiente, $5-15^\circ$ unidad geológica Deposito de terraza fluvial (Q-tfl), unidades geomorfológicas Terraza fluvial (T-f), altura de agua 1.00 a 1.50 m y velocidad de agua 1.00 a 2.00 m/s.
Medio	Valores moderados. precipitación anómala $12.4 < RR \leq 28$, pendiente $15-35^\circ$, unidad geológica Deposito coluvio-aluvial (Q-coal) y/o Deposito proluvial (Q-pro), unidades geomorfológicas Canal de flujo de detritos (C-fd) y/o Abanico de piedemonte (Ab), altura de agua 0.30 a 1.00 m y velocidad de agua 0.30 m a 1.00 m/s.
Bajo	Valores mínimos o nulos. precipitación anómala $RR < 12.4$, pendiente $> 35^\circ$, unidad geológica Granito Machupicchu (PET-mach-gr), unidades geomorfológicas Laderas de pendiente moderada en roca intrusiva (L-ri) & Montaña en roca intrusiva (M-ri), altura de agua menor 0.30 m y velocidad de agua < 0.30 m/s.

Fuente: Equipo técnico evaluador

3.9. PONDERACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE EVALUACIÓN

Según el Manual para la evaluación de riesgos originados por fenómenos naturales, Versión 02. Pag 33. (CENEPRED, 2014). Una vez identificado el área de influencia del peligro más recurrente generado por fenómeno de origen natural es necesario evaluar los parámetros que intervienen en la génesis (mecanismo generador) del fenómeno, los mismos que faciliten su evaluación.

Siguiendo la metodología para la determinación del parámetro de evaluación se realizó un trabajo de campo que comprendía a vuelo con dron, y recopilación de información histórica para realizar la simulación por inundación fluvial, de esta forma determinando la **altura (m) y velocidad del agua (m/s)** como los principales factores de medición del peligro, una vez determinado los parámetro de evaluación, se realizó la ponderación según el análisis multicriterio establecidos en el Manual para la evaluación de riesgos originados por fenómenos naturales, Versión 02. Pag 203. (CENEPRED, 2014).

Para la evaluación del peligro, se estableció rangos de alturas de inundación (m) y velocidad (m/s) en relación al daño que podrían ocasionar, dando como resultado los siguientes cuadros.

✓ Altura de agua (m)

Cuadro N°33: Matriz de comparación de pares del parámetro de evaluación altura de agua.

DESCRIPTORES	Mayor a 1.50 m	1.00 a 1.50 m	0.50 a 1.00 m	0.30 a 0.50 m	menor 0.30 m
Mayor a 1.50 m	1.00	3.00	5.00	7.00	8.00
1.00 a 1.50 m	0.33	1.00	3.00	5.00	7.00
0.50 a 1.00 m	0.20	0.33	1.00	3.00	5.00
0.30 a 0.50 m	0.14	0.20	0.33	1.00	3.00
menor 0.30 m	0.13	0.14	0.20	0.33	1.00
SUMA	1.80	4.68	9.53	16.33	24.00
1/SUMA	0.56	0.21	0.10	0.06	0.04

Fuente: Equipo técnico evaluador

Cuadro N°34: Matriz de normalización del parámetro de evaluación altura de agua.


DESCRIPTORES	Mayor a 1.50 m	1.00 a 1.50 m	0.50 a 1.00 m	0.30 a 0.50 m	menor 0.30 m	Vector priorización
Mayor a 1.50 m	0.555	0.642	0.524	0.429	0.333	0.497
1.00 a 1.50 m	0.185	0.214	0.315	0.306	0.292	0.262
0.50 a 1.00 m	0.111	0.071	0.105	0.184	0.208	0.136
0.30 a 0.50 m	0.079	0.043	0.035	0.061	0.125	0.069
menor 0.30 m	0.069	0.031	0.021	0.020	0.042	0.037

Fuente: Equipo técnico evaluador

Índice de consistencia y relación de consistencia del parámetro de evaluación altura de agua.

Índice de consistencia	0.068
Relación de consistencia (RC < 0.1)	0.061

Fuente: Equipo técnico evaluador


 LESLIE STELLA
 DE LA CRUZ MARCELO
 INGENIERA CIVIL
 Reg. CIP N° 151547

✓ **Velocidad de agua (m/s)**

Cuadro N°35: Matriz de comparación de pares del parámetro de evaluación velocidad de agua (m/s)

DESCRIPTORES	> 2.00 m/s	1.00 a 2.00 m/s	0.50 m a 1.00 m/s	0.30 m a 0.50 m/s	<0.30 m/s
> 2.00 m/s	1.00	3.00	5.00	7.00	8.00
1.00 a 2.00 m/s	0.33	1.00	3.00	5.00	7.00
0.50 m a 1.00 m/s	0.20	0.33	1.00	3.00	5.00
0.30 m a 0.50 m/s	0.14	0.20	0.33	1.00	3.00
<0.30 m/s	0.13	0.14	0.20	0.33	1.00
SUMA	1.80	4.68	9.53	16.33	24.00
1/SUMA	0.56	0.21	0.10	0.06	0.04

Fuente: Equipo técnico evaluador

Cuadro N°36: Matriz de normalización del parámetro de evaluación velocidad de agua (m/s)

DESCRIPTORES	> 2.00 m/s	1.00 a 2.00 m/s	0.50 m a 1.00 m/s	0.30 m a 0.50 m/s	<0.30 m/s	Vector priorización
> 2.00 m/s	0.555	0.642	0.524	0.429	0.333	0.497
1.00 a 2.00 m/s	0.185	0.214	0.315	0.306	0.292	0.262
0.50 m a 1.00 m/s	0.111	0.071	0.105	0.184	0.208	0.136
0.30 m a 0.50 m/s	0.079	0.043	0.035	0.061	0.125	0.069
<0.30 m/s	0.069	0.031	0.021	0.020	0.042	0.037

Fuente: Equipo técnico evaluador

Índice de consistencia y relación de consistencia del parámetro de evaluación velocidad de agua (m/s)

Índice de consistencia	0.068
Relación de consistencia (RC <0.1)	0.061

Fuente: Equipo técnico evaluador

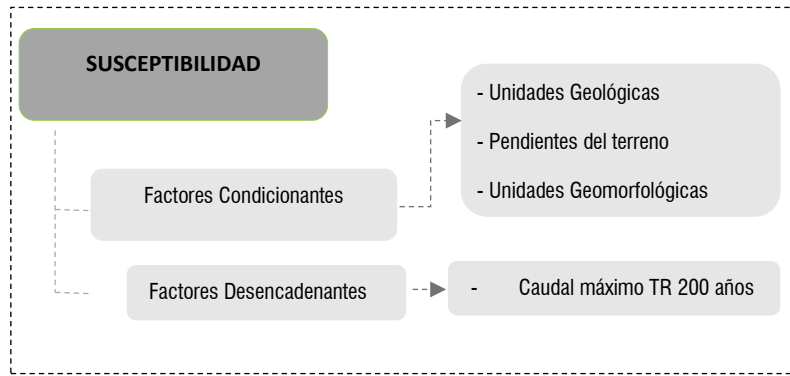
3.10. SUSCEPTIBILIDAD DEL ÁMBITO GEOGRÁFICO MATERIA DE ESTUDIO: FACTORES CONDICIONANTES Y DESENCADENANTE

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) (Manual evaluación de riesgos – versión 2, 2015).

El análisis de la susceptibilidad se ha desarrollado en base a las condiciones físicas del área de estudio desarrollada en el capítulo 2.3. a partir del cual se determinó los parámetros de factores condicionantes y el factor desencadenante. (ver figura N°66)


 LESLIE STELLA
 DE LA CRUZ MARCELO
 INGENIERA CIVIL
 Reg. CIP N° 151547

Figura N° 64: Determinación de la susceptibilidad



Fuente: ajustado de CENEPRED.

3.10.1. PONDERACIÓN DE FACTOR DESENCADENANTE

✓ **Ponderación de Descriptores del parámetro caudal máximo TR 200 años:**

Cuadro N°37: Matriz de comparación de pares del parámetro caudal máximo TR 200 años.

DESCRIPTORES	1200 m ³ /s ≤ Q	1000 m ³ /s ≤ Q < 1200 m ³ /s	750 m ³ /s ≤ Q < 1000 m ³ /s	400 m ³ /s ≤ Q < 750 m ³ /s	Q < 400 m ³ /s
1200 m ³ /s ≤ Q	1.00	2.00	3.00	5.00	7.00
1000 m ³ /s ≤ Q < 1200 m ³ /s	0.50	1.00	2.00	3.00	5.00
750 m ³ /s ≤ Q < 1000 m ³ /s	0.33	0.50	1.00	2.00	3.00
400 m ³ /s ≤ Q < 750 m ³ /s	0.20	0.33	0.50	1.00	2.00
Q < 400 m ³ /s	0.14	0.20	0.33	0.50	1.00
SUMA	2.18	4.03	6.83	11.50	18.00
1/SUMA	0.46	0.25	0.15	0.09	0.06

Fuente: Equipo técnico evaluador

Cuadro N°38: Matriz de normalización del parámetro caudal máximo TR 200 años.

DESCRIPTORES	1200 m ³ /s ≤ Q	1000 m ³ /s ≤ Q < 1200 m ³ /s	750 m ³ /s ≤ Q < 1000 m ³ /s	400 m ³ /s ≤ Q < 750 m ³ /s	Q < 400 m ³ /s	Vector Priorización
1200 m ³ /s ≤ Q	0.460	0.496	0.439	0.435	0.389	0.444
1000 m ³ /s ≤ Q < 1200 m ³ /s	0.230	0.248	0.293	0.261	0.278	0.262
750 m ³ /s ≤ Q < 1000 m ³ /s	0.153	0.124	0.146	0.174	0.167	0.153
400 m ³ /s ≤ Q < 750 m ³ /s	0.092	0.083	0.073	0.087	0.111	0.089
Q < 400 m ³ /s	0.066	0.050	0.049	0.043	0.056	0.053

Fuente: Equipo técnico evaluador

Índice de consistencia y relación de consistencia del parámetro caudal máximo TR 200 años.

Índice de consistencia	0.007
Relación de consistencia (RC < 0.1)	0.006

Fuente: Equipo técnico evaluador

3.10.2. PONDERACIÓN DE FACTORES CONDICIONANTES

Cuadro N°39: Ponderación de los parámetros condicionantes

DIMENSION	Pendientes del terreno	Unidades geológicas	Unidades Geomorfológicas
Pendientes del terreno	1	2	3
Unidades geológicas	0.50	1	2
Unidades Geomorfológicas	0.33	0.50	1
SUMA	2.21	4.08	6.83
1/SUMA	0.45	0.24	0.15

Fuente: Equipo técnico evaluador

Cuadro N°40.: Matriz de normalización de pares de los parámetros condicionantes

DIMENSION	Pendientes del terreno	Unidades geológicas	Unidades Geomorfológicas	Vector Priorización
Pendientes del terreno	0.55	0.57	0.50	0.539
Unidades geológicas	0.27	0.29	0.33	0.297
Unidades Geomorfológicas	0.18	0.14	0.17	0.164

Fuente: Equipo técnico evaluador

Índice (IC) y Relación de Consistencia (RC) obtenido del Proceso de Análisis Jerárquico para el parámetro

IC	0.005
RC	0.004

✓ Ponderación de descriptores del parámetro unidades geomorfológicas

Cuadro N°41: Matriz de comparación de pares del parámetro unidades geomorfológicas.

DESCRIPTORES	Cauce fluvial (C-f)	Terraza fluvial (T-f)	Abanico de piedemonte (Ab)	Canal de flujo de detritos (C-fd)	Laderas de pendiente moderada en roca intrusiva (L-ri) & Montaña en roca intrusiva (M-ri)
Cauce fluvial (C-f)	1.00	3.00	5.00	7.00	9.00
Terraza fluvial (T-f)	0.33	1.00	3.00	5.00	7.00
Abanico de piedemonte (Ab)	0.20	0.33	1.00	3.00	5.00
Canal de flujo de detritos (C-fd)	0.14	0.20	0.33	1.00	3.00
Laderas de pendiente moderada en roca intrusiva (L-ri) & Montaña en roca intrusiva (M-ri)	0.11	0.14	0.20	0.33	1.00
SUMA	1.79	4.68	9.53	16.33	25.00
1/SUMA	0.56	0.21	0.10	0.06	0.04

Fuente: Equipo técnico evaluador


 LESLIE STELLA
 DE LA CRUZ MARCELO
 INGENIERA CIVIL
 Reg. CIP N° 151547

Cuadro N°42: Matriz de normalización del parámetro unidades geomorfológicas.

DESCRIPTORES	Cauce fluvial (C-f)	Terraza fluvial (T-f)	Abanico de piedemonte (Ab)	Canal de flujo de detritos (C-fd)	Laderas de pendiente moderada en roca intrusiva (L-ri) & Montaña en roca intrusiva (M-ri)	Vector Priorización
Cauce fluvial (C-f)	0.560	0.642	0.524	0.429	0.360	0.503
Terraza fluvial (T-f)	0.187	0.214	0.315	0.306	0.280	0.260
Abanico de piedemonte (Ab)	0.112	0.071	0.105	0.184	0.200	0.134
Canal de flujo de detritos (C-fd)	0.080	0.043	0.035	0.061	0.120	0.068
Laderas de pendiente moderada en roca intrusiva (L-ri) & Montaña en roca intrusiva (M-ri)	0.062	0.031	0.021	0.020	0.040	0.035

Fuente: Equipo técnico evaluador

Índice de consistencia y relación de consistencia del parámetro unidades geomorfológicas.

Índice de consistencia	0.061
Relación de consistencia (RC <0.1)	0.054

Fuente: Equipo técnico evaluador.

✓ **Ponderación de descriptores del parámetro unidades geológicas**

Cuadro N°43: Matriz de comparación de pares del parámetro Unidades geológicas

DESCRIPTORES	Deposito fluvial (Q-fl)	Depósito de terraza fluvial (Q-tfl)	Deposito proluvial (Q-pro)	Deposito coluvio-aluvial (Q-coal)	Granito Machupicchu (PET-mach-gr)
Deposito fluvial (Q-fl)	1.00	3.00	5.00	7.00	8.00
Depósito de terraza fluvial (Q-tfl)	0.33	1.00	3.00	5.00	7.00
Deposito proluvial (Q-pro)	0.20	0.33	1.00	3.00	5.00
Deposito coluvio-aluvial (Q-coal)	0.14	0.20	0.33	1.00	3.00
Granito Machupicchu (PET-mach-gr)	0.13	0.14	0.20	0.33	1.00
SUMA	1.80	4.68	9.53	16.33	24.00
1/SUMA	0.56	0.21	0.10	0.06	0.04

Fuente: Equipo técnico evaluador

Cuadro N°44: Matriz de normalización de pares del parámetro Unidades geológicas.

DESCRIPTORES	Deposito fluvial (Q-fl)	Depósito de terraza fluvial (Q-tfl)	Deposito proluvial (Q-pro)	Deposito coluvio-aluvial (Q-coal)	Granito Machupicchu (PET-mach-gr)	Vector priorización
Deposito fluvial (Q-fl)	0.555	0.642	0.524	0.429	0.333	0.497
Depósito de terraza fluvial (Q-tfl)	0.185	0.214	0.315	0.306	0.292	0.262
Deposito proluvial (Q-pro)	0.111	0.071	0.105	0.184	0.208	0.136
Deposito coluvio-aluvial (Q-coal)	0.079	0.043	0.035	0.061	0.125	0.069
Granito Machupicchu (PET-mach-gr)	0.069	0.031	0.021	0.020	0.042	0.037

Fuente: Equipo técnico evaluador

Índice de consistencia y relación de consistencia del parámetro Unidades geológicas.

Índice de consistencia	0.068
Relación de consistencia (RC <0.1)	0.061

Fuente: Equipo técnico evaluador

✓ **Ponderación de descriptores del parámetro pendientes**

Cuadro N°45: Matriz de comparación de pares del parámetro pendientes del terreno.

DESCRIPTORES	0-5°	5-15°	15-25°	25-35°	>35°
0-5°	1.00	2.00	3.00	5.00	7.00
5-15°	0.50	1.00	2.00	3.00	5.00
15-25°	0.33	0.50	1.00	2.00	3.00
25-35°	0.20	0.33	0.50	1.00	2.00
>35°	0.14	0.20	0.33	0.50	1.00
SUMA	2.18	4.03	6.83	11.50	18.00
1/SUMA	0.46	0.25	0.15	0.09	0.06

Fuente: Equipo técnico evaluador

Cuadro N°46: Matriz de normalización del parámetro pendientes del terreno.

DESCRIPTORES	0-5°	5-15°	15-25°	25-35°	>35°	Vector Priorización
0-5°	0.460	0.496	0.439	0.435	0.389	0.444
5-15°	0.230	0.248	0.293	0.261	0.278	0.262
15-25°	0.153	0.124	0.146	0.174	0.167	0.153
25-35°	0.092	0.083	0.073	0.087	0.111	0.089
>35°	0.066	0.050	0.049	0.043	0.056	0.053

Fuente: Equipo técnico evaluador

Índice de consistencia y relación de consistencia del parámetro pendientes del terreno.

Índice de consistencia	0.007
Relación de consistencia (RC <0.1)	0.006

Fuente: equipo técnico evaluador


 LESLIE STELLA
 DE LA CRUZ MARCELO
 INGENIERA CIVIL
 Reg. CIP N° 151547

3.11. SÍNTESIS DEL ANÁLISIS DEL PELIGRO

Se ha analizado para el ámbito de estudio el peligro por inundación fluvial, debido a su ubicación con respecto al río Vilcanota, en ese sentido se ha considerado el escenario más extremo donde el factor desencadenante son las lluvias extremas en 24 horas $RR > 43$ en un TR de 200 años ocasionaría un caudal de 1250 m³/s, como factores condicionantes se han considerado la pendiente, geología y geomorfología, y como parámetros de evaluación la altura del agua (tirante) y velocidad del agua (m/s).

- ✓ **unidades geológicas en el ámbito de estudio:** depósito de terraza fluvial (Q-tfl), depósito proluvial (Q-pro) y Granito Machupicchu (PET-mach-gr).
- ✓ **unidades geológicas en el ámbito de estudio:** terraza fluvial (T-f), abanico de piedemonte (Ab) y laderas en pendiente moderada en roca intrusiva (L-ri).
- ✓ **pendientes predominantes en el ámbito de estudio:** predominan pendientes entre 0° a 15° y en menor proporción pendientes mayores a 15°.
- ✓ **Alturas de inundación en el ámbito de estudio:** menor a 0.5m
- ✓ **Velocidad de inundación:** menor a 0.30 m/s.

3.12. PROCEDIMIENTO PARA LA DEFINICIÓN DE ZONAS DE PELIGRO

La delimitación de las zonas de peligro (Bajo, Medio, Alto y Muy Alto) se realizó mediante un proceso de **zonificación espacial** que integra los resultados de la calificación de LA INUNDACION (cuantificada mediante la matriz de criterios mencionada anteriormente) con la cartografía temática del área de estudio.

El procedimiento específico se basó en los siguientes pasos, que deben describirse explícitamente en el capítulo:

1. Modelado y Mapeo de Parámetros:

- Se utilizaron *Sistemas de Información Geográfica (SIG)* para modelar y mapear espacialmente los parámetros técnicos relevantes para el fenómeno (profundidad de inundación en metros, velocidad de flujo en m/s, pendiente del terreno en grados, unidades geológicas, unidades geomorfológicas). Estos datos se obtuvieron mediante modelos hidráulicos (ej: HEC-RAS), análisis geológico y geomorfológicos.

2. Aplicación de Umbrales (Criterios de la Matriz):

- Los valores continuos obtenidos en los mapas de parámetros fueron reclasificados utilizando los umbrales (límites) definidos en la **Matriz Metodológica del CENEPRED** (cuadro 33).
- *Ejemplo:* Todas las áreas con profundidades modeladas entre 0.3m y 1m fueron reclasificadas digitalmente como "Peligro Medio".

3. Integración y Delimitación de Zonas:

- Se generó un mapa final de peligros mediante la agregación espacial de las reclasificaciones. Las zonas resultantes son polígonos que representan áreas geográficas con características homogéneas de intensidad del fenómeno.
- Se definieron límites cartográficos claros para cada categoría de peligro, justificando que el área que abarca la "Zona de Peligro Muy Alto" corresponde físicamente a las áreas donde la intensidad del fenómeno supera los umbrales máximos establecidos por la guía metodológica.

4. Validación y Transparencia:

- Se debe indicar que el proceso es transparente y reproducible, basado estrictamente en la metodología oficial del CENEPRED y los datos de campo/modelado utilizados.

El capítulo debe hacer referencia directa a la sección o anexo del manual del CENEPRED que sustenta este procedimiento de zonificación.

3.13. DEFINICIÓN DE ESCENARIO

Del análisis del registro de precipitaciones máximas de la estación meteorológica Machupicchu, que es la más cercana al ámbito de estudio, se ha considerado el escenario más crítico ya que son la mayor altura y velocidad del agua, a consecuencia de anomalías de precipitación se ha generado caudales máximos de 1250 m³/s en un TR de 200 años.

Escenario: En un TR de 200 años se generaría caudales máximos de 1250 m³/s en el cauce del río produciendo tirantes de agua con una altura mayor a 6.84m y velocidad de 20.2m/s que sobrepasarían la altura de gavión y muro de contención existente, que en pendientes menores a 5°, unidad geológica depósito fluvial (Q-fl), geomorfología Cauce fluvial (C-f) y/o Terraza fluvial (T-f), sobresaturaría el suelo y acumulando de agua generando una inundación afectando con alturas menores a 0.50m con velocidad menor a 0.30m/s las instalaciones de la empresa generación eléctrica Machupicchu S.A. – EGEMSA (KM122) ubicados cerca al cauce del río y la Población que vive y/o labora ahí, ocasionando posibles daños en la dimensión social, económica y ambiental.

3.14. NIVEL DE PELIGRO

Cuadro N°47: Niveles de Peligro

NIVEL	RANGO				
MUY ALTO	0.262	≤	P	≤	0.483
ALTO	0.141	≤	P	<	0.262
MEDIO	0.074	≤	P	<	0.141
BAJO	0.041	≤	P	<	0.074

Fuente: Equipo técnico evaluador


LESLY STELLA
DE LA CRUZ MARCELO
INGENIERA CIVIL
Reg. CIP N° 151557

MATRIZ DE PELIGRO

Cuadro48: Análisis jerárquico para la obtención de los valores del peligro.

SUSCEPTIBILIDAD													
Factor desencadenante				Factor condicionante								Valor SU	Peso SU
CAUDAL MAXIMO M3/S		Valor FD	Peso FD	PENDIENTE DE TERRENO		UNIDAD GEOLÓGICA		UNIDAD GEOMORFOLÓGICA		Valor FC	Peso FC		
Ppar	Pdesc			Ppar	Pdesc	Ppar	Pdesc	Ppar	Pdesc				
1.000	0.444	0.444	0.300	0.539	0.444	0.297	0.497	0.164	0.503	0.486	0.700	0.462	0.400
1.000	0.262	0.262	0.300	0.539	0.262	0.297	0.262	0.164	0.260	0.261	0.700	0.262	0.400
1.000	0.153	0.153	0.300	0.539	0.153	0.297	0.136	0.164	0.134	0.139'	0.700	0.147	0.400
1.000	0.089	0.089	0.300	0.539	0.089	0.297	0.069	0.164	0.068	0.075	0.700	0.082	0.400
1.000	0.053	0.053	0.300	0.539	0.053	0.297	0.037	0.164	0.035	0.041	0.700	0.048	0.400

EVALUACIÓN DEL FENOMENO						VALOR PELIGRO
Parámetro de evaluación				VALOR FE	PESO FE	
ALTURA DEL AGUA (m)		VELOCIDAD DE AGUA (m/s)				
Ppar	Ppar	Ppar	Ppar			
0.500	0.497	0.500	0.497	0.497	0.600	0.483
0.500	0.262	0.500	0.262	0.262	0.600	0.262
0.500	0.136	0.500	0.136	0.136	0.600	0.141
0.500	0.069	0.500	0.069	0.069	0.600	0.074
0.500	0.037	0.500	0.037	0.037	0.600	0.041

Fuente: Equipo técnico evaluador

3.14.1. ESTRATIFICACIÓN DEL PELIGRO

Para fines de la Evaluación de Riesgos, las zonas de peligro pueden estratificarse en cuatro niveles: bajo, media, alta y muy alta, cuyas características y su valor correspondiente se detallan a continuación.

Cuadro N°49: Estratificación del nivel de peligros

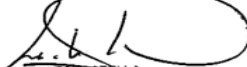
NIVELES DE PELIGRO	DESCRIPCIÓN	RANGO
MUY ALTO	Un evento en un TR de 200 años se generaría caudales máximos de 1250m ³ /s, que ocasionaría en terrenos con pendiente menor a 5°, unidad geológica Deposito fluvial (Q-fl) y unidades geomorfológicas Cauce fluvial (C-f), inundación fluvial con una altura mayor a 1.5m con una velocidad de inundación mayor a 2m/s.	0.262 < P ≤ 0.483
ALTO	Un evento en un TR de 200 años se generaría caudales máximos de 1250m ³ /s, que ocasionaría en terrenos con pendiente entre 5° a 15°, unidad geológica Deposito de terraza fluvial (Q-tfl) y unidades geomorfológicas Terraza fluvial (T-f), inundación fluvial con una altura entre 1m a 1.5m con una velocidad de inundación entre 1 a 2m/s.	0.141 < P ≤ 0.262
MEDIO	Un evento en un TR de 200 años se generaría caudales máximos de 1250m ³ /s, que ocasionaría en terrenos con pendiente entre 15° a 35°, unidad geológica Deposito proluvial (Q-pro) y/o Deposito coluvio-aluvial (Q-coal), unidades geomorfológicas Abanico de piedemonte (Ab) y/o Canal de flujo de detritos (C-fd), inundación fluvial con una altura entre 0.3m a 1m con una velocidad de inundación entre 0.3 a 1m/s..	0.074 < P ≤ 0.141
BAJO	Un evento en un TR de 200 años se generaría caudales máximos de 1250m ³ /s, que ocasionaría en terrenos con pendiente mayor a 35°, unidad geológica Granito Machupicchu (PET-mach-gr) y unidades geomorfológicas Laderas de pendiente moderada en roca intrusiva (L-ri) & Montaña en roca intrusiva (M-ri), ocasionaría inundación fluvial con una altura menor a 0.3m o no podría inundarse y en caso darse este sería con una velocidad de inundación menor a 0.3m/s.	0.041 ≤ P ≤ 0.074

Fuente: Equipo técnico evaluador

3.14.2. ANÁLISIS DE ELEMENTOS EXPUESTOS

Siguiendo la metodología del análisis de peligro se han identificado los elementos expuestos antes el peligro más recurrente según metodología descrita en el Manual para la evaluación de riesgos originados por fenómenos naturales, Versión 02. Pag 28. (CENEPRED, 2014)., se han identificado los siguientes elementos expuesto ante inundaciones.

Elemento	Coordenadas		Distancia del cauce del río Vilcanota	Función operativa y estado situacional
	Este	Norte		
Almacén C.H.M.	764721.417	8542242.38	71.59m	<p>La función operativa principal del almacén de la Central Hidroeléctrica Machupicchu (CHM), gestionada por EGEMSA, es la gestión logística y el suministro de materiales, repuestos y equipos necesarios para la operación continua y el mantenimiento de la central.</p> <p>Funciones Operativas Clave:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Gestión de Inventario: El almacén es responsable de controlar y mantener un inventario adecuado de piezas críticas, suministros y herramientas requeridas para las actividades diarias y de emergencia. La empresa realiza inventarios físicos periódicos de sus activos fijos y bienes de control para asegurar la precisión del registro. - Soporte al Mantenimiento: Proporciona los materiales necesarios para los programas de mantenimiento diario, semanal y planificado, asegurando que la central opere de manera óptima y minimizando tiempos de inactividad. - Recepción y Despacho: Se encarga de la recepción de bienes adquiridos a proveedores, verificando su estado y registrándolos adecuadamente. Posteriormente, despacha los insumos a las diferentes divisiones operativas y de mantenimiento de la central según sus requerimientos. - Acondicionamiento de Materiales: En ocasiones, el almacén o un espacio brindado por la central se utiliza para el acondicionamiento final de equipos antes de su instalación o montaje en la planta. - Optimización de Recursos: Contribuye a optimizar el uso efectivo de los recursos materiales disponibles, orientándolos prioritariamente a los aspectos operativos y de mantenimiento de la CHM y la represa de Sibinacocha, que asegura el suministro de agua en épocas de estiaje. - Control y Seguridad: Mantiene procedimientos estrictos de control de acceso, almacenamiento seguro y manejo de materiales, incluyendo la identificación de peligros y la evaluación de riesgos asociados a la seguridad y salud ocupacional. <p>Estado situacional: El almacén y almacén C.H.M se encuentra emplazado sobre depósitos de terraza fluvial (Q-tfl), correspondientes a antiguos niveles del cauce del río Vilcanota, actualmente elevados respecto al lecho activo. Durante la visita de campo no se evidenciaron procesos activos de erosión, socavación basal ni inestabilidad del terreno en su entorno inmediato. En la condición actual, no presenta afectación significativa asociada a la dinámica fluvial.</p>
Almacén	764670.505	8542281.62	16.17m	
Patio de llaves (Quillabamba)	764385.923	8542225.54	164.36m	El Patio de Llaves es un componente esencial de las subestaciones eléctricas asociadas a la Central


 LESLIE STELLA
 DE LA CRUZ MARCELO
 INGENIERA CIVIL
 Reg. CIP N° 151547

				<p>Hidroeléctrica Machupicchu (CHM), y su función operativa principal es actuar como un centro de maniobra, control, protección y conexión para la energía eléctrica generada.</p> <p>Funciones Operativas Clave:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Evacuación de Energía: Recibe la energía generada por los transformadores de potencia de la central y la prepara para su transmisión. - Elevación de Tensión: Ajusta los niveles de voltaje (típicamente a 138 kV) para que la energía pueda ser transmitida de manera eficiente a través de las líneas de alta tensión hacia la Subestación Cachimayo y Quencoro en la ciudad del Cusco, y de ahí al Sistema Eléctrico Interconectado Nacional (SEIN). - Maniobra y Conmutación: Permite a los operadores realizar maniobras seguras de apertura y cierre de circuitos utilizando equipos como interruptores de potencia y seccionadores. Esto es fundamental para redirigir el flujo de energía, aislar equipos para mantenimiento o reparación sin interrumpir completamente el servicio, y gestionar la disponibilidad del suministro. - Protección del Sistema: Alberga equipos de protección cruciales, como relés de protección y pararrayos, que detectan fallas (cortocircuitos, sobretensiones) y aíslan automáticamente la sección afectada para proteger el resto de la central y la red de transmisión. - Control y Monitoreo: Es un punto clave para el monitoreo del estado de la red eléctrica y los niveles de voltaje, permitiendo el control remoto o local de la operación de la central y la subestación asociada <p>Estado situacional: El patio de llaves se localiza geológicamente sobre depósitos proluviales (Q-pro) y geomorfológicamente en un abanico de piedemonte, conformado por materiales de origen torrencial. En la inspección de campo no se identificaron evidencias de erosión activa, remoción en masa ni reactivación de canales que comprometan la estabilidad del área. Por lo tanto, en la actualidad no presenta afectación significativa.</p>
Patio de llaves 138Kv	764377.847	8542199.80	184.14m	<p>La función operativa principal del Patio de Llaves de 138 kV de la Central Hidroeléctrica Machupicchu (CHM) es la de recibir, conmutar, proteger y evacuar la energía eléctrica generada por las unidades de la central hacia el Sistema Eléctrico Interconectado Nacional (SEIN).</p> <p>Funciones Operativas Clave:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Evacuación de Energía: Es el punto de salida de la electricidad generada por la central. La energía sale de los transformadores elevadores de la planta y entra al patio de llaves, donde se conecta a las líneas de transmisión de alta tensión (138 kV). - Aislamiento y Conmutación: Mediante el uso de interruptores de potencia y seccionadores, los operadores de EGEMSA pueden aislar circuitos o equipos específicos para realizar tareas de mantenimiento, reparaciones o inspecciones sin afectar el funcionamiento del resto de la central o la red. - Protección del Sistema: El patio de llaves contiene equipos de protección esenciales, como relés, transformadores de medida (corriente y tensión) y pararrayos. Estos dispositivos detectan condiciones anormales de operación, como sobrecargas,

				<p>cortocircuitos o sobretensiones, y actúan automáticamente para despejar la falla, minimizando daños a los equipos y garantizando la seguridad.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Transmisión de Energía: Facilita la conexión a las líneas de transmisión L-1001 (Machupicchu – Cachimayo) y L-1002 (Machupicchu – Quencoro), que transportan la energía hacia las subestaciones de Cusco y posteriormente al SEIN. - Monitoreo y Control: Permite el monitoreo continuo de parámetros eléctricos críticos (voltaje, corriente, potencia, etc.) y, a través de sistemas de control y adquisición de datos (SCADA), habilita la operación remota y el registro de eventos operativos. <p>Estado situacional: El patio de llaves se localiza geológicamente sobre depósitos proluviales (Q-pro) y geomorfológicamente en un abanico de piedemonte, conformado por materiales de origen torrencial. En la inspección de campo no se identificaron evidencias de erosión activa, remoción en masa ni reactivación de canales que comprometan la estabilidad del área. Por lo tanto, en la actualidad no presenta afectación significativa.</p>
Sala de mandos	764326.696	8542219.86	182.78m	<p>La Sala de Mandos (también conocida como Sala de Control o Sala de Operador) de la Central Hidroeléctrica Machupicchu (CHM) es el centro neurálgico de la operación y el monitoreo en tiempo real de toda la planta de generación.</p> <p>Su función operativa principal es la supervisión, control y optimización remota e integrada de los procesos de generación eléctrica para garantizar un funcionamiento eficiente, seguro y estable de la central.</p> <p>Funciones Operativas Clave:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Monitoreo y Supervisión en Tiempo Real: Los operadores monitorean constantemente los parámetros críticos de la central a través de sistemas de control y adquisición de datos (SCADA) redundantes. Esto incluye el estado de las compuertas, el caudal del agua, la velocidad de las turbinas, la temperatura de los equipos, los niveles de voltaje y la potencia generada. - Control de la Generación de Energía: Desde la sala de mandos se controla el flujo de agua a través de las turbinas para gestionar la producción de energía eléctrica. Los operadores ajustan la carga de la central para satisfacer la demanda del Sistema Eléctrico Interconectado Nacional (SEIN) o las especificaciones del Centro de Control de Carga (COES Nacional). - Maniobra de Equipos: Permite la operación remota de equipos clave, como interruptores, seccionadores, válvulas y compuertas, tanto en la central principal como en instalaciones asociadas, como la Represa del km 107 y el Patio de Llaves de 138 kV. - Respuesta a Emergencias y Gestión de Alarmas: La sala de control es responsable de recibir, gestionar y responder a alarmas y eventos técnicos. Los operadores deben diagnosticar rápidamente fallas o condiciones anormales y tomar acciones correctivas inmediatas para aislar problemas y minimizar el impacto en la generación o la seguridad. - Sincronización de Unidades: Se encarga de sincronizar los generadores con la red eléctrica nacional durante el arranque y la parada de las

				<p>unidades, asegurando una conexión estable y segura al SEIN.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Registro y Análisis de Datos: Toda la información operativa se registra en bases de datos (servidores HIS) para su posterior análisis, planificación del mantenimiento y cumplimiento de reportes regulatorios. - Comunicación Continua: Mantiene comunicación constante con el Centro de Control de EGEMSA en Cusco y con el COES Nacional a través de redes de fibra óptica y sistemas de radiocomunicación, para coordinar la operación integrada del sistema eléctrico. <p>Estado situacional: La sala de mandos se emplaza sobre depósitos proluviales (Q-pro), asociados a un abanico de piedemonte, caracterizado por materiales heterométricos poco consolidados. Durante la evaluación de campo no se observaron procesos geomorfológicos activos ni signos de inestabilidad del terreno. En consecuencia, no se registra afectación relevante en la condición actual.</p>
Taller de mantenimiento	764791.762	8542291.85	17.96m	<p>Funciones Operativas: La función operativa del Taller de Mantenimiento de la Central Hidroeléctrica Machupicchu (CHM) es garantizar la disponibilidad, fiabilidad y eficiencia de toda la maquinaria y equipo electromecánico de la planta a través de la ejecución de programas de mantenimiento preventivo, correctivo y predictivo.</p> <p>Funciones operativas clave: Mantenimiento preventivo: Se encarga de la planificación y ejecución de inspecciones periódicas, lubricación, ajustes, limpieza y otras tareas programadas. Esto busca anticiparse a posibles fallas y evitar paradas no planificadas en la generación. Mantenimiento correctivo: Realiza la reparación o reemplazo de equipos y componentes que han fallado o presentan un mal funcionamiento. El equipo técnico del taller atiende las averías para devolver la maquinaria a su estado operativo lo más rápido posible. Mantenimiento predictivo: Utiliza tecnología de monitoreo para predecir cuándo podría ocurrir una falla. Esto permite programar las reparaciones antes de que se produzca una avería catastrófica, optimizando los recursos y reduciendo los tiempos de inactividad. Gestión del equipo electromecánico: El taller gestiona el mantenimiento de una amplia gama de equipos, que incluyen: Turbinas y generadores: Inspección y reparación de los componentes principales que transforman la energía potencial del agua en electricidad. Sistemas auxiliares: Reparación de sistemas de enfriamiento, sistemas hidráulicos, sistemas de lubricación y otros equipos complementarios esenciales para la operación de la central. Equipos de maniobra y control: Mantenimiento de interruptores de potencia, transformadores, sistemas SCADA y otros componentes eléctricos que regulan la salida de energía. Montaje y desmontaje de equipos: Participa en la instalación y puesta en servicio de nuevos equipos, así como en el desmontaje de componentes para su reparación o reemplazo. Seguridad ocupacional: El personal del taller trabaja bajo estrictos protocolos de seguridad para protegerse y</p>

				<p>garantizar que el mantenimiento se realice sin riesgos para la operación de la planta.</p> <p>Estado situacional: El taller de mantenimiento se ubica sobre depósitos de terraza fluvial (Q-tfl), conformados por materiales aluviales antiguos. En la visita de campo no se evidenciaron procesos de erosión fluvial activa ni socavación que afecten la infraestructura. En su estado actual, no presenta afectación significativa.</p>
Habitaciones	765027.973	8542238.45	26.48m	<p>No tiene función operativa en la producción de energía eléctrica. Su función operativa es proveer alojamiento indispensable para el personal que trabaja en la central, garantizando su presencia constante y disponibilidad inmediata, especialmente para las operaciones que funcionan las 24 horas del día, los 7 días de la semana.</p> <p>Estado situacional: Las habitaciones se encuentran emplazadas sobre depósitos de terraza fluvial (Q-tfl). Durante la inspección de campo no se identificaron indicios de erosión, socavación ni inestabilidad del terreno en el área evaluada. Por lo tanto, no presentan afectación significativa en la actualidad.</p>
Grifo	764664.781	8542238.75	59.64m	<p>Funciones Operativa: La función operativa principal de un "grifo" en las inmediaciones o como parte de la infraestructura de soporte de la Central Hidroeléctrica Machupicchu (CHM) es: Suministro de Combustible: Proveer diésel u otros combustibles necesarios para la maquinaria auxiliar, vehículos de transporte, equipos de mantenimiento (grupos electrógenos de emergencia, cargadores frontales, camiones) y la logística general requerida para la operación remota de la central.</p> <p>Estado situacional: El grifo se localiza sobre depósitos de terraza fluvial (Q-tfl), correspondientes a antiguos niveles del cauce. En campo no se observaron procesos activos de erosión lateral ni retroceso de taludes que comprometan la instalación. En la condición actual, no se registra afectación relevante.</p>
Cocina - comedor	765010.704	8542260.98	13.14m	<p>Funciones Operativa: La función operativa de la Cocina y Comedor en la Central Hidroeléctrica Machupicchu (CHM), similar a las habitaciones, es de soporte logístico esencial para la operación continua de la central. No están involucrados directamente en la generación de electricidad, pero son críticos para el bienestar y la disponibilidad del personal. Su función operativa principal es proveer servicios de alimentación al personal que labora en las instalaciones, garantizando su nutrición, salud y capacidad para desempeñar sus funciones las 24 horas del día.</p> <p>Estado situacional: La infraestructura de cocina y comedor se emplaza sobre depósitos de terraza fluvial (Q-tfl). Durante la visita de campo no se evidenciaron procesos geomorfológicos activos que afecten la estabilidad del terreno. En consecuencia, no presenta afectación significativa en la actualidad.</p>

Auditorio - oficina	764762.207	8542244.25	76.46m	<p>Funciones Operativa: La función operativa del Auditorio y las Oficinas en la Central Hidroeléctrica Machupicchu (CHM) es proveer la infraestructura administrativa, de coordinación y formación necesaria para soportar la gestión general y las operaciones de la planta. Al igual que otras áreas de soporte, no generan electricidad directamente, pero son esenciales para la eficiencia y el cumplimiento normativo.</p> <p>Estado situacional: El auditorio y las oficinas se ubican sobre depósitos de terraza fluvial (Q-tfl), actualmente desconectados de la dinámica fluvial directa. En la inspección de campo no se identificaron signos de erosión ni inestabilidad del terreno. Por ello, no presentan afectación significativa en la condición actual.</p>
Colegio	764846.941	8542256.22	47.40m	<p>No tienen ninguna función operativa en la generación de energía eléctrica, pero su función principal es la de brindar educación a niños y adolescentes que residen en el ámbito de estudio.</p> <p>Estado situacional: El colegio se encuentra emplazado sobre depósitos de terraza fluvial (Q-tfl). Durante la evaluación de campo no se observaron procesos de erosión lateral, socavación ni remoción en masa que afecten la infraestructura. En la actualidad, no se registra afectación significativa.</p>
Gimnasio	764874.605	8542282.81	22.33m	<p>La función operativa de un gimnasio en la Central Hidroeléctrica Machupicchu (CHM), si bien no contribuye directamente a la producción de energía, es una instalación de soporte logístico y de bienestar social clave para el personal que reside y trabaja en la central.</p> <p>Su función principal es mantener la salud física y mental del personal, lo cual redundará en la eficiencia operativa general de la planta.</p> <p>Estado situacional: El gimnasio se localiza geológicamente sobre depósitos de terraza fluvial (Q-tfl). En la inspección de campo no se evidenciaron procesos activos de inestabilidad ni afectación directa por la dinámica del río. Por lo tanto, no presenta afectación relevante en la condición actual.</p>
Grass sintético	765078.360	8542259.03	3.80m	<p>La función operativa de un área con Grass sintético (césped artificial) en la Central Hidroeléctrica Machupicchu (CHM) está relacionada con el ornato, el bienestar del personal y la gestión de infraestructuras de soporte, no con la generación de energía eléctrica.</p> <p>Su función principal es de uso recreativo o paisajístico, proporcionando un espacio de esparcimiento y ocio para el personal que reside o trabaja en la central, mejorando su calidad de vida y el entorno laboral.</p> <p>Estado situacional: El área de grass sintético se emplaza sobre depósitos de terraza fluvial (Q-tfl). Durante la visita de campo no se identificaron procesos de erosión, socavación ni inestabilidad del terreno. En consecuencia, no presenta afectación significativa en la actualidad.</p>
Losa deportiva	764736.241	8542255.16	63.36m	<p>La función operativa de una losa deportiva en la Central Hidroeléctrica Machupicchu (CHM) es de soporte logístico y bienestar social para el personal de la planta, no de generación eléctrica. Su propósito es mejorar la calidad de vida y la salud de los trabajadores.</p>

				<p>Estado situacional: La losa deportiva se encuentra ubicada sobre depósitos de terraza fluvial (Q-tfl). En campo no se observaron evidencias de erosión fluvial activa ni deterioro del terreno que comprometa su estabilidad. En la condición actual, no presenta afectación significativa.</p>
Losa polideportiva	764839.174	8542286.52	21.41m	<p>La función operativa de una losa polideportiva en la Central Hidroeléctrica Machupicchu (CHM) es idéntica a la de una losa deportiva o un área con grass sintético: es una instalación de soporte logístico y de bienestar social, no una parte del proceso de generación de energía. Su propósito principal es servir como un espacio multifuncional para la recreación, el deporte y el esparcimiento del personal que trabaja y reside en la central.</p> <p>Estado situacional: La losa polideportiva se emplaza sobre depósitos de terraza fluvial (Q-tfl). Durante la inspección de campo no se identificaron procesos geomorfológicos activos que afecten la infraestructura. Por ello, no presenta afectación relevante en la actualidad.</p>
Campo deportivo	764817.845	8542258.42	45.46m	<p>La función operativa de un campo deportivo en la Central Hidroeléctrica Machupicchu (CHM) es, al igual que otras instalaciones recreativas como el gimnasio o la losa polideportiva, una función de soporte logístico y de bienestar social, no directamente relacionada con la generación de energía eléctrica. Su propósito principal es servir como un espacio para la recreación, el deporte y el esparcimiento del personal que trabaja y reside en la central.</p> <p>Estado situacional: El campo deportivo se localiza sobre depósitos de terraza fluvial (Q-tfl). La evaluación de campo no evidenció signos de erosión lateral, socavación ni inestabilidad del terreno. En consecuencia, no se registra afectación significativa en la condición actual.</p>
Pozo compostaje	764880.467	8542292.99	15.12m	<p>La función operativa de un pozo de compostaje (o sistema de compostaje) en la Central Hidroeléctrica Machupicchu (CHM) es una función de gestión ambiental y sostenibilidad, no directamente relacionada con la generación de energía eléctrica. Su propósito principal es el manejo eficiente de los residuos sólidos orgánicos generados en las instalaciones de la central, específicamente en la cocina y el comedor del campamento, transformándolos en un recurso útil (abono o compost) y evitando su disposición inadecuada en el sensible entorno natural del Santuario Histórico de Machupicchu.</p> <p>Estado situacional: El pozo de compostaje se encuentra emplazado sobre depósitos de terraza fluvial (Q-tfl). Durante la inspección de campo no se observaron procesos activos de erosión ni inestabilidad del terreno en su entorno inmediato. En la actualidad, no presenta afectación significativa.</p>
Seguridad	764789.026	8542238.82	72.00m	<p>La función operativa de la caseta de seguridad (también conocida como garita de control o puesto de vigilancia) en la Central Hidroeléctrica Machupicchu (CHM) es garantizar la seguridad física y la protección de las instalaciones críticas, el personal y los equipos, mediante el control de acceso y la vigilancia perimetral.</p> <p>Estado situacional:</p>

				La infraestructura de seguridad se ubica sobre depósitos de terraza fluvial (Q-tfl). En la visita de campo no se identificaron evidencias de procesos geomorfológicos activos que comprometan la estabilidad del área. Por lo tanto, no se registra afectación relevante en la condición actual.
Módulos	764726.339	8542294.61	21.17m	<p>La función operativa principal de un módulo es la conversión de la energía hidráulica del agua en energía eléctrica para su inyección al Sistema Eléctrico Interconectado Nacional (SEIN).</p> <p>Estado situacional: Los módulos se encuentran emplazados sobre depósitos de terraza fluvial (Q-tfl). Durante la evaluación de campo no se evidenciaron procesos de erosión, socavación ni remoción en masa en el área evaluada. En consecuencia, no presentan afectación significativa en la actualidad.</p>

Fuente: Equipo evaluador

Cuadro N°50: Obras de protección existente

Ítem	Medida de protección existente	Longitud [m]	Función de la medida
2	Tramo 1A-2 Muro Existente [Altura: 6.0 metros]	15.0	<p>La función principal de este muro es actuar como una barrera o defensa ribereña para prevenir inundaciones, controlar la erosión y estabilizar las riberas.</p> <p>Estas estructuras cumplen varios propósitos clave:</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Prevención de inundaciones: Proporcionan una barrera física que impide que el exceso de agua se desborde hacia áreas habitables o infraestructuras cercanas durante crecidas del río. ✓ Control de la erosión: Contienen el suelo de las riberas, evitando que la fuerza del agua arrastre sedimentos y altere el curso natural del río o degrade el paisaje circundante. ✓ Protección de infraestructuras: Salvaguardan edificios, carreteras, puentes y otras propiedades públicas o privadas que se encuentran cerca del cauce del río. ✓ Estabilización del terreno: Ayudan a mantener la forma del terreno en áreas con pendientes o desniveles pronunciados adyacentes al río, previniendo deslizamientos de tierra y derrumbes. ✓ Desvío de escombros: Pueden desviar el hielo o los escombros arrastrados por la corriente lejos de estructuras vulnerables, protegiéndolas de daños hidrostáticos e hidrodinámicos. <p>En resumen, los muros de contención son estructuras esenciales de ingeniería civil diseñadas para resistir la presión lateral del agua y del suelo, garantizando la seguridad y estabilidad de las áreas ribereñas.</p> <p>Estado situacional: El muro de concreto se encuentra la parte del borde de la terraza fluvial (Q-tfl), cumpliendo la función de defensa ribereña frente a los procesos de erosión lateral y eventuales crecidas del río Vilcanota. Esta estructura actúa como elemento de protección y estabilización del terreno, limitando el retroceso del talud y el desborde hacia las áreas adyacentes. Durante la visita de campo no se identificaron daños estructurales, socavación basal ni pérdida de funcionalidad del muro. En la condición actual, no presenta afectación significativa y cumple adecuadamente su función de protección.</p>
3	Tramo 2A-1 Mantenimiento de Gaviones [Altura Existente: 6m]	304	<p>En la Central Hidroeléctrica Machupicchu, la función principal de los gaviones en el río Urubamba (también conocido como Vilcanota) es la defensa ribereña y la protección de la infraestructura crítica de la central contra los peligros hidrológicos y geológicos de la zona.</p> <p>Específicamente, los gaviones cumplen los siguientes propósitos:</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Protección contra la erosión fluvial: El río Urubamba es un río de montaña con caudales variables y a veces torrenciales, especialmente durante la temporada de lluvias. Los muros de gaviones se instalan en las orillas para contener el suelo y evitar que la fuerza del agua erosione las márgenes, lo que

Ítem	Medida de protección existente	Longitud [m]	Función de la medida
			<p>podría socavar los cimientos de los edificios, canales o caminos de acceso de la central.</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Estabilización de taludes: La central se encuentra en un área geológicamente compleja, con pendientes pronunciadas y riesgo de deslizamientos de tierra y caída de rocas. Los gaviones se utilizan como muros de contención por gravedad para estabilizar estos taludes, previniendo derrumbes que podrían dañar las instalaciones o interrumpir las operaciones. ✓ Mitigación de desastres naturales: La región ha sufrido eventos destructivos en el pasado, como los aluviones de 1998 que dejaron la central inoperativa temporalmente. Los gaviones son una parte fundamental de las medidas de mitigación de riesgos, diseñadas para resistir el impacto de crecidas excepcionales y el arrastre de sedimentos o escombros. ✓ Flexibilidad y drenaje: La naturaleza permeable y flexible de los gaviones les permite adaptarse a los asentamientos del terreno y aliviar la presión hidrostática del agua subterránea y del río, características cruciales para la estabilidad a largo plazo en un entorno dinámico como el valle del Urubamba. <p>En resumen, los gaviones son elementos estructurales esenciales para garantizar la seguridad física y la continuidad operativa de la Central Hidroeléctrica Machupicchu, protegiéndola de la dinámica natural del río y las laderas circundantes.</p> <p>Estado situacional: El muro de gaviones se localiza en el borde de la terraza fluvial (Q-tfl), funcionando como estructura de defensa ribereña y estabilización de márgenes frente a la dinámica fluvial del río Vilcanota. En la inspección de campo se observaron sectores puntuales con erosión localizada, de extensión reducida, sin comprometer la estabilidad global ni la continuidad estructural del sistema de gaviones. No se evidenciaron procesos activos de socavación generalizada ni fallas estructurales mayores. En consecuencia, en la condición actual el muro de gaviones no presenta afectación significativa y mantiene su función de protección.</p>

Fuente: Equipo evaluador

Cuadro N°51: Vías locales en el área de estudio

Ítem	Tipo de vía	Longitud [m]	Función principal y estado actual
1	Riel de tren	1781.96m	<p>El riel de tren en la zona de la Central Hidroeléctrica Machupicchu tiene una función crucial como parte de la ruta de acceso a Machu Picchu Pueblo (Aguas Calientes), utilizado principalmente para el transporte de turistas y locales, así como de carga. El estado actual es operativo, aunque ha experimentado suspensiones temporales debido a eventos climáticos como deslizamientos de tierra (aludes).</p> <p>Estado situacional: El riel de tren se encuentra emplazado sobre depósitos de terraza fluvial (Q-tfl), correspondientes a antiguos niveles del cauce del río Vilcanota. Durante la evaluación de campo no se identificaron evidencias de erosión activa, socavación ni inestabilidad del terreno que comprometan directamente la infraestructura ferroviaria en el tramo evaluado. Si bien esta vía ha sido históricamente afectada de manera indirecta por eventos climáticos extremos en sectores aledaños, en la condición actual el riel de tren no presenta afectación significativa asociada a la dinámica pluvial.</p>
2	Vías afirmadas	769.38m	<p>Las vías afirmadas en el área de la Central Hidroeléctrica Machupicchu son carreteras sin asfaltar que forman parte de la ruta alterna para acceder a Machu Picchu Pueblo (Aguas Calientes). Su función principal es permitir el transporte de pasajeros y carga desde y hacia la zona, y actualmente se encuentran en un proceso de mejoramiento y asfaltado para convertirse en una vía completamente pavimentada.</p> <p>Estado situacional: Las vías afirmadas se localizan sobre depósitos de terraza fluvial (Q-tfl), desarrollados sobre superficies relativamente planas y elevadas respecto al cauce activo. En la inspección de campo no se observaron procesos activos de erosión fluvial, socavación ni inestabilidad del terreno que afecten su trazado en el área evaluada. En consecuencia, en la actualidad las vías afirmadas no presentan afectación significativa relacionada con la dinámica del río.</p>

Fuente: Equipo evaluador



LESLY STELLA
DE LA CRUZ MARCELO
INGENIERA CIVIL
Reg. CIP N° 151547

✓ Estado situacional de la infraestructuras y obras existente en el ámbito de estudio

En el presente Ítem se describe el estado situacional de las estructuras y obras que el equipo evaluador pudo identificar en la visita técnica realizada el 21 y 22 de octubre dentro y fuera del ámbito de estudio, tal como se evidencia en los siguientes formatos de Análisis de trabajo seguro (ATS).

Figura N° 65: Análisis de trabajo seguro (ATS)

ANÁLISIS DE TRABAJO SEGURO (ATS)

ORDEN DE TRABAJO: N° - SISTEMA Y/O NOMBRE: **Mapa Geológico**

TAREA: **Mapa Geológico**

AREALUGAR: **Zona Exterior Campanita**

FECHA: **1-10-2025**

PERSONAL: APELLIDOS Y NOMBRES: **Manuel Melgarejo, Daniel Rivera Pineda**

ECUPOS Y HERRAMIENTAS: **Picota, brújula, lupa, cámara**

PASOS DE LA TAREA	PELIGROS	SITUACION DE RIESGO		CONTROLES		
		Riesgo/probabilidad	Daño/consecuencia	FUENTE	MEDIO	RECEPTOR
Trabajo exterior	Lluvia	Caídas Agua	Grupa, resaca			Preparar ropa impermeable
Caminata en exposición solar	Radiación Solar	Sobrexposición a la radiación solar	10 quemaduras a la piel			Uso de bloqueador
Mapa Geológico y Geomorfológico	Tierras o Terreno a desnivel	Caídas	Golpes y fracturas		Señalización	Uso de chaleco amarillo
Reconocimiento del río	Tránsito en la orilla del río	Caída al río	Ahogamiento, golpes			Caminar por zonas alejadas al cauce

PROFESIONAL DE MANTENIMIENTO: **WALTER LUCÍAS CAJURO**

FECHA Y HORA: **10/10/25**

PROFESIONAL DE SEGURIDAD: **Manuel Melgarejo**

FECHA Y HORA: **10/10/25**

FIRMA DEL OPERADOR DE CASA DE MÁQUINAS: **Manuel Melgarejo**

FECHA Y HORA: **10/10/25**

FECHA Y HORA: **10/10/25**

ANÁLISIS DE TRABAJO SEGURO (ATS)

ORDEN DE TRABAJO: N° - SISTEMA Y/O NOMBRE: **Mapa Geológico y Reconocimiento de Quebrada**

TAREA: **Mapa Geológico y Reconocimiento de Quebrada**

AREALUGAR: **Zona Exterior al Campanita**

FECHA: **22-10-2025**

PERSONAL: APELLIDOS Y NOMBRES: **Helger Lara, Marcos Tenky, Daniel García Pardo**

ECUPOS Y HERRAMIENTAS: **Picota, brújula, lupa, cámara**

PASOS DE LA TAREA	PELIGROS	SITUACION DE RIESGO		CONTROLES		
		Riesgo/probabilidad	Daño/consecuencia	FUENTE	MEDIO	RECEPTOR
Trabajo exterior	Lluvia	Caídas Agua	Grupa, resaca			Ropa impermeable
Caminata en exposición solar	Radiación Solar	Sobrexposición a radiación solar	Irritación en la piel			Uso bloqueador
Mapa geológico geomorfológico	Terreno a desnivel	Caídas	golpes y fracturas		Señalización	Uso Chaleco Amarillo
Reconocimiento de río - quebrada, y fotos	Tránsito en la orilla del río	Caída al río	Ahogamiento y golpes			Caminar por zonas alejadas al cauce

PROFESIONAL DE MANTENIMIENTO: **WALTER LUCÍAS CAJURO**

FECHA Y HORA: **22/10/25**

PROFESIONAL DE SEGURIDAD: **Manuel Melgarejo**

FECHA Y HORA: **22/10/25**

FIRMA DEL OPERADOR DE CASA DE MÁQUINAS: **Manuel Melgarejo**

FECHA Y HORA: **22/10/25**

FECHA Y HORA: **22/10/25**

Fuente: Equipo técnico evaluador, proporcionado por EGEMSA.

LESLEY STENLA
DE LA CRUZ MARCELO
INGENIERA CIVIL
Reg. CIP N° 151547

- **Patio de llaves y sala de mandos**

El "patio de llaves" de la Central Hidroeléctrica Machu Picchu es el área donde se encuentra la subestación de alta tensión de 138kV, que incluye transformadores y equipos eléctricos para la distribución de la energía generada en la central, el equipo evaluador realizando un trabajo de inspección técnica el 21 y 22 de octubre de 2025, contraste que este viene operando con normalidad.

Figura N° 66: Patio de llaves y sala de mandos



Fuente: Equipo técnico evaluador.


LESLY STELLA
DE LA CRUZ MARCELO
INGENIERA CIVIL
Reg. CIP N° 151547

- **Obras existentes en el ámbito d estudio para prevención de riesgos por inundación**
a. **Muro de concreto**

El equipo evaluador ha identificado un muro de concreto de 15 metros de longitud, 6m de alto y 0.80m de ancho, la corriente de agua del rio Vilcanota ha provocado un desgaste de las bases del muro, afectando su estabilidad física debido a la presencia de socavamientos y grietas, en ese sentido el equipo evaluador planteara medidas estructurales en el Capítulo 7.

También se ha identificado la presencia de cerco de enmallado metálico sobre la construcción del muro de concreto con oxido por lo cual se recomienda realizar el mantenimiento y limpieza, a fin de conservar en buen estado la malla.

El muro se ubica en las coordenadas WGS84 Zona 18S (765089.13 m E, 8542277.46 m S).

Figura N° 67: Muro de concreto con cerco de enmallado metálico.



Fuente: Equipo técnico evaluador.

b. Gaviones

El equipo evaluador ha identificado la presencia de gaviones 304 metros de longitud, 6m de alto y 1m de ancho, se ha evidenciado que en algunos sectores los gaviones muestran inclinación y socavamiento por la corriente de agua del rio Vilcanota y una densa vegetación por lo cual se puede deducir que estas obras no han recibido mantenimiento adecuado y para su conservación, en ese sentido el equipo evaluador planteara medidas estructurales en el Capítulo 7.

Los gaviones se ubican entre las coordenadas WGS84 Zona 18S (765081.20 m E, 8542278.41 m S) y (764785.00 m E, 8542313.00 m S)

Figura N° 68: Gaviones.



Fuente: Equipo técnico evaluador.


LESLY STELLA
DE LA CRUZ MARCELO
INGENIERA CIVIL
Reg. CIP N° 151547

Figura N° 69: Gaviones.



Fuente: Equipo técnico evaluador.

3.14.2.1. Áreas de conservación

El Santuario Histórico de Machupicchu es el área de conservación principal donde se encuentra la Central Hidroeléctrica Machupicchu, operando dentro de los límites de este espacio protegido. A unos 8 kilómetros, en el distrito de Santa Teresa, se ubica la Área de Conservación Privada (ACP) Predio Collpapampa Huadquiña-Mesada Chico, que también forma parte del corredor biológico del oso de anteojos que se extiende hasta el Santuario.

Santuario Histórico de Machupicchu

- ✓ Conservación de biodiversidad: Dada su ubicación entre los Andes y la Amazonía, el Santuario presenta una gran riqueza de ecosistemas y especies, como el oso de anteojos, el gallito de las rocas y más de 300 especies de orquídeas.
- ✓ Restauración ecológica: Se llevan a cabo proyectos para restaurar zonas degradadas y preservar los bosques, que son vitales para la regulación del ciclo del agua que utiliza la central hidroeléctrica.
- ✓ Operación de la central: La empresa EGEMSA ha implementado medidas para minimizar el impacto ambiental, como el tratamiento de aguas y el reciclaje de residuos, para operar la central dentro de esta área natural protegida.
- ✓ Centro de Conservación de Plantas: Dentro del Santuario, existe un Centro de Conservación de Plantas y un jardín botánico, contribuyendo a la protección de la flora local.

ACP Predio Collpapampa Huadquiña-Mesada Chico


- ✓ Corredor biológico: Conectado al Santuario, ayuda a proteger la biodiversidad en una porción del bosque húmedo montañoso, preservando el hábitat para especies como el oso de anteojos.

Áreas regionales cercanas

- ✓ ACR Chuyapi Urusayhua: Aunque se encuentra a una distancia mayor, esta área de conservación regional protege los bosques de Yunga y los recursos hídricos en la provincia de La Convención, dentro del mismo departamento.
- ✓ ACR Choquequirao: Limita con el Santuario Histórico de Machupicchu y también forma parte del corredor biológico de la región, contribuyendo a la protección del ecosistema.

3.14.2.2. Características ambientales y de gestión

La **Empresa de Generación Eléctrica Machupicchu S.A. (EGEMSA)** opera bajo un modelo de gestión enfocado en la sostenibilidad y la preservación del entorno natural, especialmente dado que su principal activo, la **Central Hidroeléctrica Machupicchu**, se ubica dentro del Santuario Histórico de Machupicchu.


LESLY STELLA
DE LA CRUZ MARCELO
INGENIERA CIVIL
Reg. CIP N° 151547

Sus principales características ambientales y de gestión son:

Gestión Estratégica y Certificaciones

- **Sistema de Gestión Integrado (SGI):** La empresa opera bajo estándares internacionales, contando actualmente con la certificación **ISO 14001** para su Sistema de Gestión Ambiental.
- **Política Ambiental:** Se enfoca en identificar, evaluar y controlar continuamente los aspectos e impactos ambientales, con el fin de prevenir o mitigar la contaminación por emisiones, residuos y efluentes.
- **Energía Renovable:** EGEMSA destaca por generar energía limpia y renovable aprovechando los recursos hídricos del río **Vilcanota**.

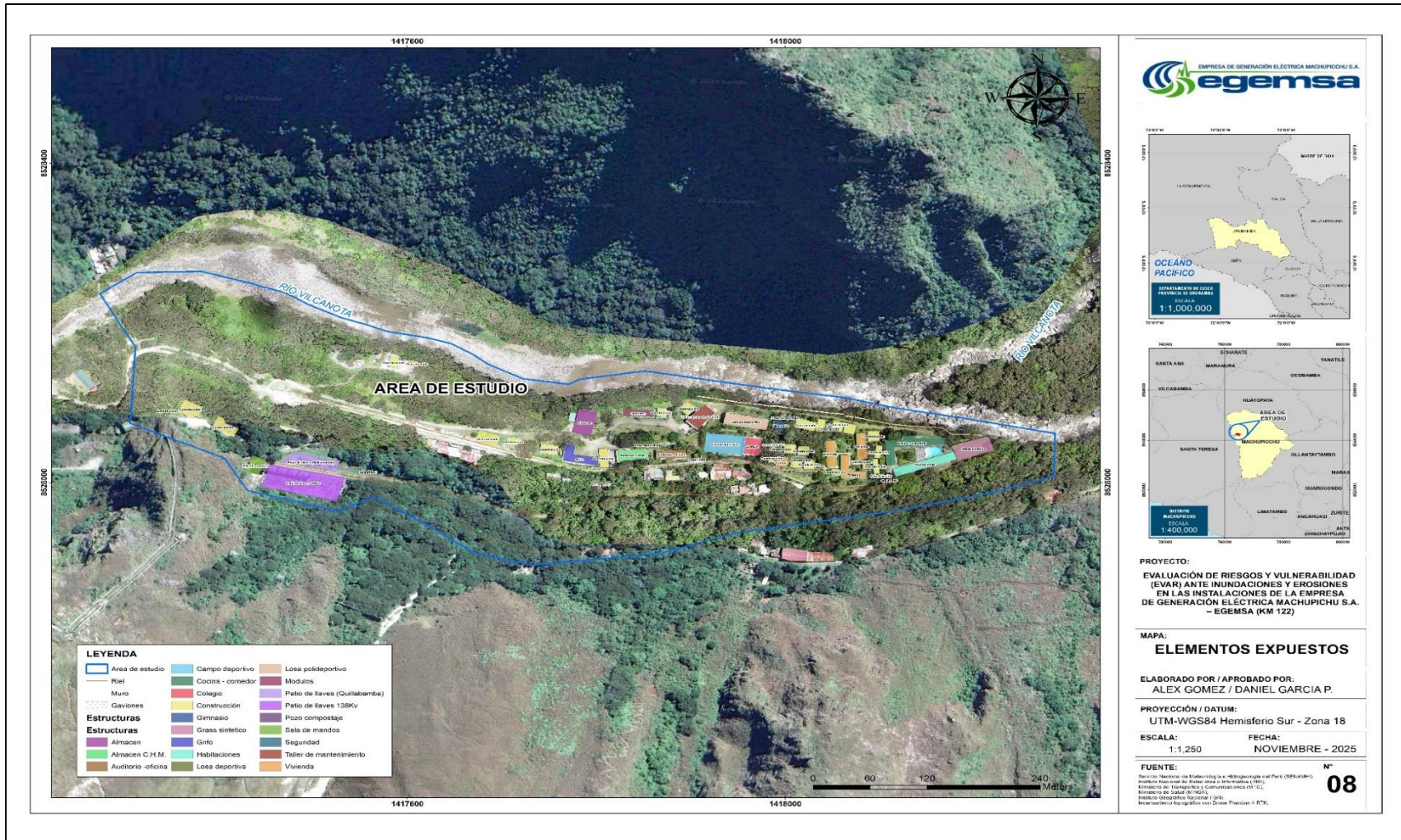
Medidas de Conservación y Control

- **Mantenimiento del Caudal Ecológico:** En su bocatoma (km 107), la represa está diseñada para mantener un caudal ecológico que garantice la preservación de la vida silvestre y el ecosistema fluvial del río Vilcanota.
- **Armonía con el Entorno:** Sus planes de operación y rehabilitación incluyen procedimientos de ingeniería centrados en no afectar el patrimonio arqueológico ni la biodiversidad de la zona (que incluye especies como el oso de anteojos y el gallito de las rocas).
- **Control de Impactos:** La gestión ambiental aborda desafíos críticos de la zona como la modificación del paisaje, la prevención de deslizamientos y el manejo de residuos sólidos y líquidos para evitar la alteración de la calidad del agua.


Sostenibilidad y Compromiso Social

- **Reporte de Sostenibilidad:** Publica anualmente un reporte bajo los estándares del **Global Reporting Initiative (GRI)**, detallando su desempeño ambiental y social.
- **Plan Maestro:** Participa y se alinea con el **Plan Maestro del Santuario** para asegurar que la generación eléctrica sea compatible con la conservación de este patrimonio de la humanidad.

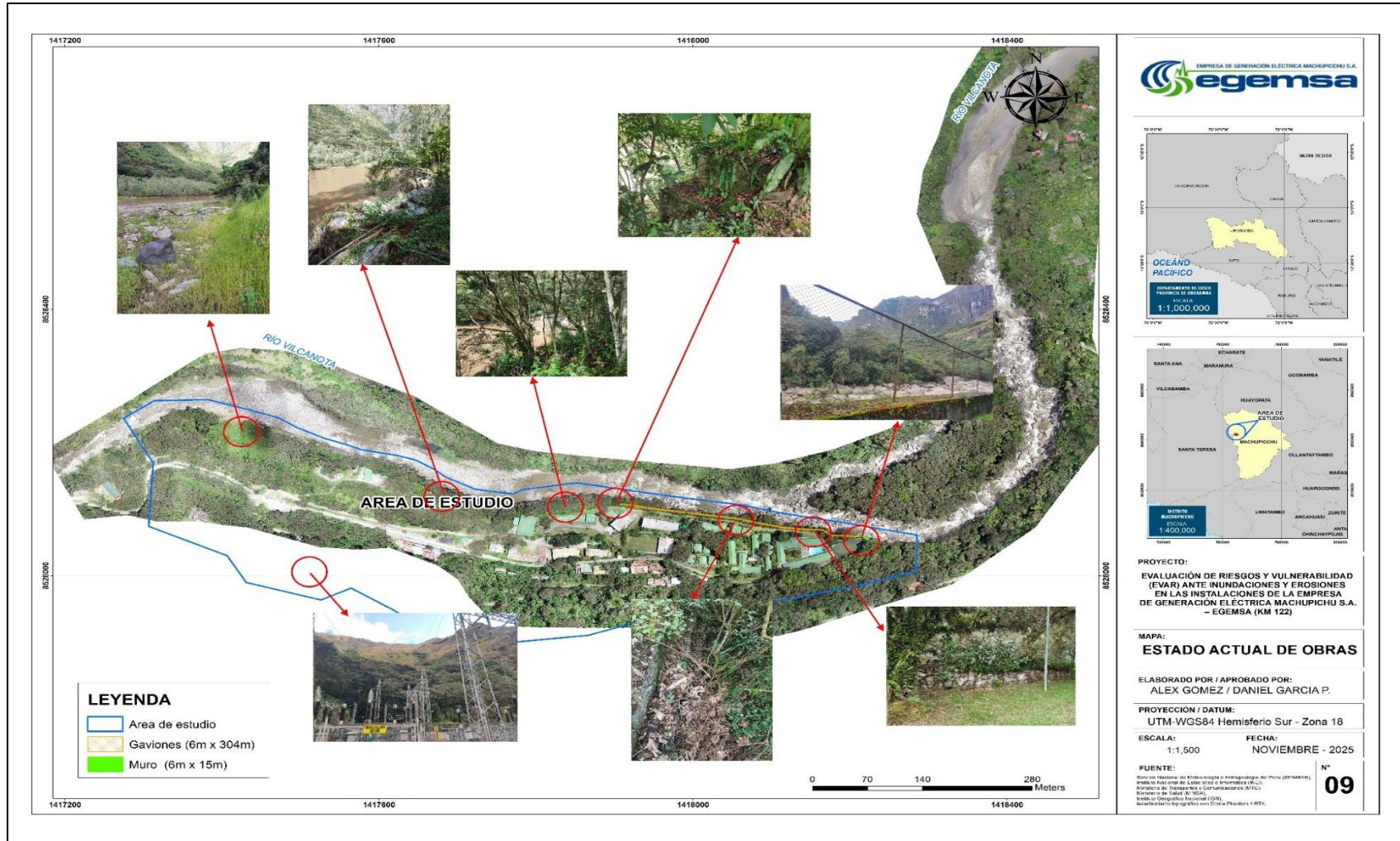
Mapa N° 8: Mapa de elementos expuestos



Fuente: Equipo técnico evaluador


LESLY STELLA
DE LA CRUZ MARCELO
INGENIERA CIVIL
Reg. CIP N° 154.517

Mapa N° 9: Mapa de estado actual de obras



Fuente: Equipo técnico evaluador

LESLY STELLA
DE LA CRUZ MARCELO
INGENIERA CIVIL
Reg. CIP N° 154517

4. ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD

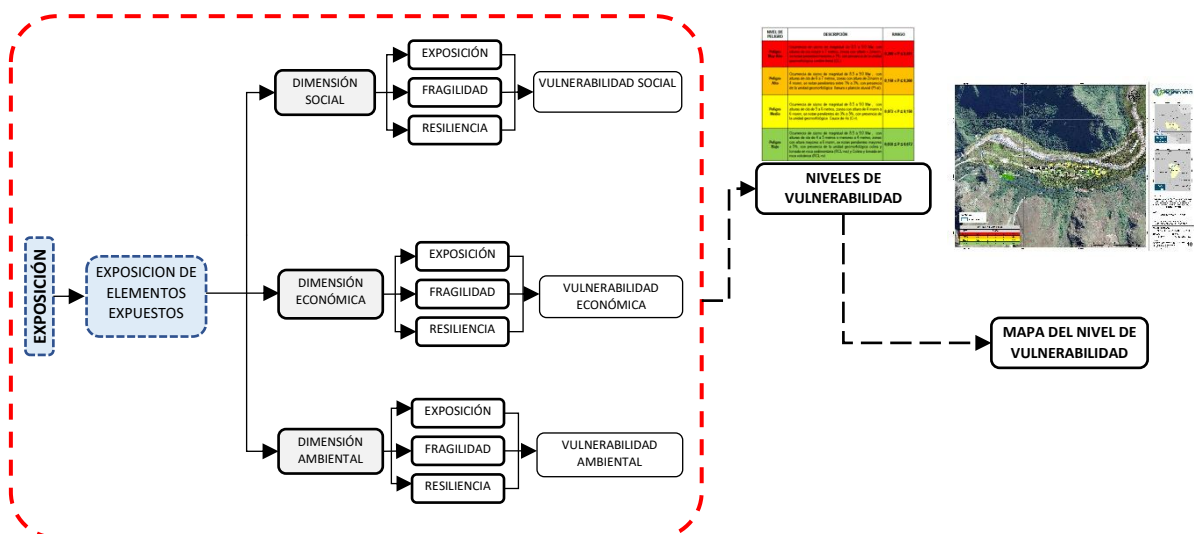
En el marco de la Ley N° 29664 del Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres y su Reglamento (D.S. N°048-2011-PCM) se define la vulnerabilidad como la susceptibilidad de la población, la estructura física o las actividades socioeconómicas, de sufrir daños por acción de un peligro o amenaza. El crecimiento poblacional y los procesos de urbanización, las tendencias en la ocupación del territorio, el proceso de empobrecimiento de importantes segmentos de la población, la utilización de sistemas organizacionales inadecuados y la presión sobre los recursos naturales, han hecho aumentar en forma continua la vulnerabilidad de la población frente a una amplia diversidad de fenómenos de origen natural. Una reflexión sobre el tema del riesgo nos muestra claramente que en muchas ocasiones no es posible actuar sobre el peligro o amenaza o es muy difícil hacerlo; bajo este enfoque es factible comprender que para reducir el riesgo no habría otra alternativa que disminuir la vulnerabilidad de los elementos expuestos, esto tiene relación con la gestión prospectiva y correctiva, dos de los tres componentes de la Gestión del Riesgo de Desastres.

Bajo esta definición se realizó un trabajo de campo en el ámbito de la Central Hidroeléctrica para identificar los elementos expuestos, fragilidad y resiliencia, para el análisis de la vulnerabilidad en sus 3 dimensiones, dimensión social, económica y ambiental. del trabajo de campo realizado se elaboró la base datos, para el componente social, económico y ambiental.

4.1. METODOLOGÍA DEL ANÁLISIS DE LA VULNERABILIDAD

Para el análisis de los niveles de vulnerabilidad en las instalaciones de la empresa de generación eléctrica Machupicchu S.A. – EGEMSA (KM122), se ha seguido los criterios establecidos en el Manual para la evaluación de riesgos originados por fenómenos naturales, Versión 02. Pag 142. (CENEPRED, 2014).

Gráfico N° 14: Metodología general para determinar la Vulnerabilidad



Fuente: Adaptada de CENEPRED

4.2. ANÁLISIS DE LAS DIMENSIONES DE LA VULNERABILIDAD

Para el análisis de la vulnerabilidad se realizó la identificación de los parámetros para cada dimensión en relación a las características sociales, económicas y ambientales, determinándose parámetros de exposición, fragilidad y resiliencia de la población vulnerable, de esta forma determinando los descriptores para cada parámetro siguiendo los criterios en el Manual para la evaluación de riesgos originados por fenómenos naturales, Versión 02. Pag 28. (CENEPRED, 2014)., donde se ha identificado el peligro más recurrente a partir del análisis en el capítulo 3.5.

4.2.1. FACTORES DE LA VULNERABILIDAD

4.2.1.1. Exposición

La Exposición, está referida a las decisiones y prácticas que ubican al ser humano y sus medios de vida en la zona de impacto de un peligro. La exposición se genera por una relación no apropiada con el ambiente, que se puede deber a procesos no planificados de crecimiento demográfico, a un proceso migratorio desordenado, al proceso de urbanización sin un adecuado manejo del territorio y/o a políticas de desarrollo económico no sostenibles. A mayor exposición, mayor vulnerabilidad.

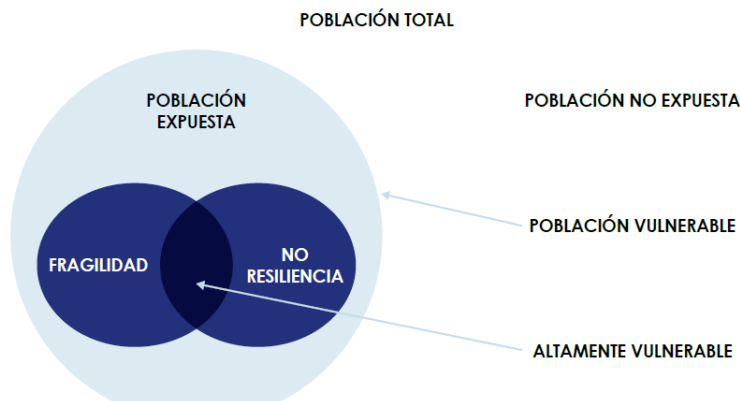
4.2.1.2. Fragilidad

La Fragilidad, está referida a las condiciones de desventaja o debilidad relativa del ser humano y sus medios de vida frente a un peligro. En general, está centrada en las condiciones físicas de una comunidad o sociedad y es de origen interno, por ejemplo: formas de construcción, no seguimiento de normativa vigente sobre construcción y/o materiales, entre otros. A mayor fragilidad, mayor vulnerabilidad.

4.2.1.3. Resiliencia

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.

Figura N° 70: Distribución de la población en términos de vulnerabilidad



Fuente: CENEPRED.


LESLY STELLA
DE LA CRUZ MARCELO
INGENIERA CIVIL
Reg. CIP N° 151547

4.2.1.4. Proceso de construcción de cada componente

A continuación, se describe cómo deberían construirse y detallarse estos componentes en un informe técnico siguiendo la metodología estándar de evaluación de riesgos (EVAR) del CENEPRED.

1. Proceso de Determinación de la Exposición

La exposición se refiere a la presencia de personas, bienes materiales, medios de sustento, ecosistemas y recursos ambientales en lugares que podrían verse afectados por la inundación fluvial.

✓ **En él informa se ha detallado:**

Identificación y Mapeo de Elementos Expuestos: Se debe explicar cómo se identificaron y georreferenciaron los elementos clave.

Fuentes de Información: Especificar el uso de datos del INEI (censos de población y vivienda), planos de la ubicación de infraestructura Proporcionado por EGEMS, mapas de peligro, simulación de inundación.

Cruce Cartográfico: se ha utilizado la herramienta SIG (Sistemas de Información Geográfica) Arc GIS, mediante el cual se superpusieron los mapas de elementos expuestos con los mapas de susceptibilidad o delimitación del peligro por inundación fluvial.

Resultados Cuantificados: en el capítulo de elementos expuestos se ha descrito mediante cuadros las infraestructuras, personas, vías, que se encuentran dentro del área de estudio.

Para el área de estudio mediante en el análisis se ha determinado los factores de exposición como:

- Cantidad de personas
- Distancia de la construcción con respecto al cauce del río
- Impacto ambiental en especies de flora y fauna

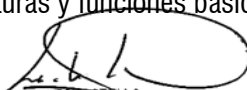
2. Proceso de Calificación de la Fragilidad

La fragilidad es la predisposición intrínseca de un elemento expuesto a sufrir daños debido a sus características físicas, intrínsecas y operacionales, ante la ocurrencia de un peligro determinado.

- Nivel de organización
- Material de construcción
- Estado de conservación
- Disposición final de residuos sólidos

3. Proceso de Medición de la Resiliencia

La resiliencia se refiere a la capacidad de un sistema, comunidad o sociedad expuesta a un peligro para resistir, absorber, adaptarse y recuperarse de sus efectos de manera eficiente, mediante la preservación y restauración de sus estructuras y funciones básicas.


LESLY STELLA
DE LA CRUZ MARCELO
INGENIERA CIVIL
Reg. CIP N° 151547

Para este factor se han identificado los siguientes parámetros para las 3 dimensiones:

- Capacitación en riesgos de desastres
- Existencia de obras complementarias para contra inundaciones
- Cumplimiento de la normativa del Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE)
- Seguridad y mantenimiento de las estructuras
- Conocimiento en actividades de segregación

Cuadro N°52: Ponderación de las dimensiones

DIMENSION	Dimensión Económica	Dimensión Social	Dimensión Ambiental
Dimensión Económica	1	2	3
Dimensión Social	0.50	1	2
Dimensión Ambiental	0.33	0.50	1
SUMA	2.21	4.08	6.83
1/SUMA	0.45	0.24	0.15

Fuente: Equipo técnico evaluador

Cuadro N°53.: Matriz de normalización de pares del parámetro Cantidad de personas

DIMENSION	Dimensión Económica	Dimensión Social	Dimensión Ambiental	Vector Priorización
Dimensión Económica	0.55	0.57	0.50	0.539
Dimensión Social	0.27	0.29	0.33	0.297
Dimensión Ambiental	0.18	0.14	0.17	0.164

Fuente: Equipo técnico evaluador

Índice (IC) y Relación de Consistencia (RC) obtenido del Proceso de Análisis Jerárquico para el parámetro

IC	0.005
RC	0.004

4.2.2.DIMENSIÓN SOCIAL

Siguiendo los criterios del Manual para la evaluación de riesgos originados por fenómenos naturales, Versión 02. Pag 124. (GENEPRED, 2014), Se determina la población expuesta dentro del área de influencia del fenómeno de origen natural, identificando la población vulnerable y no vulnerable, para posteriormente incorporar el análisis de la fragilidad social y resiliencia social en la población vulnerable. Esto ayuda a identificar los niveles de vulnerabilidad social.

El Manual para la Evaluación de Riesgos originados por fenómenos naturales”, 2da Versión. Pag 15. (GENEPRED, 2014), indica que el manual es un instrumento técnico orientador, en relación a ello el equipo CONSULTOR en base a los CRITERIOS PROFESIONALES han establecido los parámetros de acuerdo a los **aspectos sociales** específicos existentes en la zona de estudio.

Cuadro N°54: Parámetro de la dimensión social.

Dimensión social		
Exposición	Fragilidad	Resiliencia
<ul style="list-style-type: none"> Cantidad de personas en la instalación de la Central Hidroeléctrica 	<ul style="list-style-type: none"> Nivel de organización 	<ul style="list-style-type: none"> Capacitación en riesgo de desastres

Fuente: Equipo técnico evaluador

a. Exposición social

Cantidad de personas en las instalaciones de la Central Hidroeléctrica

Cuadro N°55: Matriz de comparación de pares del parámetro Cantidad de personas

Cantidad de personas en la instalación de la Central Hidroeléctrica	más de 125 personas	de 100 a 125 personas	de 75 a 100 personas	de 50 a 75 personas	Menos de 50 personas
más de 125 personas	1.00	2.00	3.00	4.00	8.00
de 100 a 125 personas	0.500	1.00	2.00	3.00	4.00
de 75 a 100 personas	0.333	0.500	1.00	2.00	3.00
de 50 a 75 personas	0.250	0.333	0.500	1.00	2.00
Menos de 50 personas	0.125	0.250	0.333	0.50	1.00
SUMA	2.21	4.08	6.83	10.50	18.00
1/SUMA	0.45	0.24	0.15	0.10	0.06


Fuente: Equipo técnico evaluador

Cuadro N°56: Matriz de normalización de pares del parámetro Cantidad de personas

Cantidad de personas en la instalación de la Central Hidroeléctrica	más de 125 personas	de 100 a 125 personas	de 75 a 100 personas	de 50 a 75 personas	Menos de 50 personas	Vector Priorización
más de 125 personas	0.453	0.490	0.439	0.381	0.444	0.441
de 100 a 125 personas	0.226	0.245	0.293	0.286	0.222	0.254
de 75 a 100 personas	0.151	0.122	0.146	0.190	0.167	0.155
de 50 a 75 personas	0.113	0.082	0.073	0.095	0.111	0.095
Menos de 50 personas	0.057	0.061	0.049	0.048	0.056	0.054

Fuente: Equipo técnico evaluador

Índice (IC) y Relación de Consistencia (RC) obtenido del Proceso de Análisis Jerárquico para el parámetro


 LESLIE STELLA
 DE LA CRUZ MARCELO
 INGENIERA CIVIL
 Reg. CIP N° 151547

IC	0.009
RC	0.008

b. Fragilidad social

Nivel de organización

Cuadro N°57: Matriz de comparación de pares del parámetro nivel de organización.

Nivel de organización	Muy malo	Malo	Regular	Bueno	Muy bueno
Muy malo	1.00	3.00	4.00	6.00	7.00
Malo	0.333	1.00	3.00	4.00	6.00
Regular	0.250	0.333	1.00	2.00	4.00
Bueno	0.167	0.250	0.500	1.00	2.00
Muy bueno	0.143	0.167	0.250	0.50	1.00
SUMA	1.89	4.75	8.75	13.50	20.00
1/SUMA	0.53	0.21	0.11	0.07	0.05

Fuente: Equipo técnico evaluador

Cuadro N°58: Matriz de normalización de pares del parámetro nivel de organización.

Nivel de organización	Muy malo	Malo	Regular	Bueno	Muy bueno	Vector Priorización
Muy malo	0.528	0.632	0.457	0.444	0.350	0.482
Malo	0.176	0.211	0.343	0.296	0.300	0.265
Regular	0.132	0.070	0.114	0.148	0.200	0.133
Bueno	0.088	0.053	0.057	0.074	0.100	0.074
Muy bueno	0.075	0.035	0.029	0.037	0.050	0.045

Fuente: Equipo técnico evaluador

Índice (IC) y Relación de Consistencia (RC) obtenido del Proceso de Análisis Jerárquico para el parámetro

IC	0.039
RC	0.035

c. Resiliencia social

Capacitación en riesgo de desastres

Cuadro N°59: Matriz de comparación de pares del parámetro capacitación en riesgos de desastres

Capacitación en de riesgos	nunca	escasamente	regular	Bueno	Muy bueno
nunca	1.00	3.00	4.00	6.00	7.00
escasamente	0.333	1.00	3.00	4.00	6.00
regular	0.250	0.333	1.00	2.00	4.00
Bueno	0.167	0.250	0.500	1.00	2.00
Muy bueno	0.143	0.167	0.250	0.50	1.00
SUMA	1.89	4.75	8.75	13.50	20.00
1/SUMA	0.53	0.21	0.11	0.07	0.05

Fuente: Equipo técnico evaluador


 LESLY STELLA
 DE LA CRUZ MARCELO
 INGENIERA CIVIL
 Reg. CIP N° 151547

Cuadro N°60: Matriz de normalización de pares del parámetro capacitación en riesgos de desastres

Capacitación en de riesgos	nunca	escasamente	regular	Bueno	Muy bueno	Vector Priorización
Nunca	0.528	0.632	0.457	0.444	0.350	0.482
escasamente	0.176	0.211	0.343	0.296	0.300	0.265
Regular	0.132	0.070	0.114	0.148	0.200	0.133
Bueno	0.088	0.053	0.057	0.074	0.100	0.074
Muy bueno	0.075	0.035	0.029	0.037	0.050	0.045

Fuente: Equipo técnico evaluador

Índice (IC) y Relación de Consistencia (RC) obtenido del Proceso de Análisis Jerárquico para el parámetro

IC	0.039
RC	0.035

4.2.3.DIMENSIÓN ECONÓMICA

Siguiendo los criterios del Manual para la evaluación de riesgos originados por fenómenos naturales, Versión 02. Pag 129. (CENEPRED, 2014), Se determina las actividades económicas e infraestructura expuesta dentro del área de influencia del fenómeno de origen natural, identificando los elementos expuestos vulnerables y no vulnerables, para posteriormente incorporar el análisis de la fragilidad económica y resiliencia económica. Esto ayuda a identificar los niveles de vulnerabilidad económica.

El Manual para la Evaluación de Riesgos originados por fenómenos naturales”, 2da Versión. Pag 15. (CENEPRED, 2014), indica que el manual es un instrumento técnico orientador, en relación a ello el equipo CONSULTOR en base a los CRITERIOS PROFESIONALES han establecido los parámetros de acuerdo a los aspectos económicos específicos existentes en la zona de estudio.

Ver cuadro N°61 parámetros de la dimensión económica.

Cuadro N° 61. Parámetro de la dimensión económica.

Dimensión económica		
Exposición	Fragilidad	Resiliencia
<ul style="list-style-type: none"> Distancia hacia el área inundada 	<ul style="list-style-type: none"> Material estructural de paredes Estado de conservación 	<ul style="list-style-type: none"> Cumplimiento de la normatividad de Reglamento Nacional de edificaciones Protocolos de seguridad y mantenimiento Obras complementarias para reducir inundación

Fuente: Equipo técnico evaluador

a. Exposición económica

Distancia hacia el área inundada

Cuadro N°62: Matriz de comparación de pares del parámetro distancia.

Distancia hacia el área inundada	Muy cercano o dentro del área inundada (De 0 a 10 m)	Cercano (De 10 a 20 m)	Regular (De 20 a 30 m)	Lejano (De 30 a 50 m)	Muy lejano fuera del área inundada (Mayor a 50 m)
Muy cercano o dentro del área inundada (De 0 a 10 m)	1.00	3.00	4.00	6.00	7.00
Cercano (De 10 a 20 m)	0.333	1.00	3.00	4.00	6.00
Regular (De 20 a 30 m)	0.250	0.333	1.00	2.00	4.00
Lejano (De 30 a 50 m)	0.167	0.250	0.500	1.00	2.00
Muy lejano fuera del área inundada (Mayor a 50 m)	0.143	0.167	0.250	0.50	1.00
SUMA	1.89	4.75	8.75	13.50	20.00
1/SUMA	0.53	0.21	0.11	0.07	0.05

Fuente: Equipo técnico evaluador

Cuadro N°63: Matriz de normalización de pares del parámetro distancia.

Distancia hacia el área inundada	Muy cercano o dentro del área inundada (De 0 a 10 m)	Cercano (De 10 a 20 m)	Regular (De 20 a 30 m)	Lejano (De 30 a 50 m)	Muy lejano fuera del área inundada (Mayor a 50 m)	Vector Priorización
Muy cercano o dentro del área inundada (De 0 a 10 m)	0.528	0.632	0.457	0.444	0.350	0.482
Cercano (De 10 a 20 m)	0.176	0.211	0.343	0.296	0.300	0.265
Regular (De 20 a 30 m)	0.132	0.070	0.114	0.148	0.200	0.133
Lejano (De 30 a 50 m)	0.088	0.053	0.057	0.074	0.100	0.074
Muy lejano fuera del área inundada (Mayor a 50 m)	0.075	0.035	0.029	0.037	0.050	0.045

Fuente: Equipo técnico evaluador

Índice (IC) y Relación de Consistencia (RC) obtenido del Proceso de Análisis Jerárquico para el parámetro

IC	0.039
RC	0.035


 LESLIE STELLA
 DE LA CRUZ MARCELO
 INGENIERA CIVIL
 Reg. CIP N° 151547

a. Fragilidad económica

✓ **Material de construcción**

Cuadro N°64: Matriz de comparación de pares del parámetro material de construcción.

Material de construcción	Mixto precario	Quincha	Adobe y/o madera	Ladrillo sin recubrimiento	ladrillo con recubrimiento, concreto armado y/o acero
Mixto precario	1.00	2.00	3.00	4.00	8.00
Quincha	0.500	1.00	2.00	3.00	4.00
Adobe y/o madera	0.333	0.500	1.00	2.00	3.00
Ladrillo sin recubrimiento	0.250	0.333	0.500	1.00	2.00
ladrillo con recubrimiento, concreto armado y/o acero	0.125	0.250	0.333	0.50	1.00
SUMA	2.21	4.08	6.83	10.50	18.00
1/SUMA	0.45	0.24	0.15	0.10	0.06

Fuente: Equipo técnico evaluador

Cuadro N°65: Matriz de normalización de pares del parámetro material de construcción.

Material de construcción	Mixto precario	Quincha	Adobe y/o madera	Ladrillo sin recubrimiento	ladrillo con recubrimiento, concreto armado y/o acero	Vector Priorización
Mixto precario	0.453	0.490	0.439	0.381	0.444	0.441
Quincha	0.226	0.245	0.293	0.286	0.222	0.254
Adobe y/o madera	0.151	0.122	0.146	0.190	0.167	0.155
Ladrillo sin recubrimiento	0.113	0.082	0.073	0.095	0.111	0.095
ladrillo con recubrimiento, concreto armado y/o acero	0.057	0.061	0.049	0.048	0.056	0.054

Fuente: Equipo técnico evaluador

Índice (IC) y Relación de Consistencia (RC) obtenido del Proceso de Análisis Jerárquico para el parámetro

IC	0.009
RC	0.008

✓ **Estado de conservación de la infraestructura**

Cuadro N°66: Matriz de comparación de pares del parámetro estado de conservación

Estado de conservación	Muy malo	Malo	Regular	Bueno	Muy bueno
Muy malo	1.00	3.00	4.00	6.00	7.00
Malo	0.333	1.00	3.00	4.00	6.00
Regular	0.250	0.333	1.00	2.00	4.00
Bueno	0.167	0.250	0.500	1.00	2.00
Muy bueno	0.143	0.167	0.250	0.50	1.00
SUMA	1.89	4.75	8.75	13.50	20.00
1/SUMA	0.53	0.21	0.11	0.07	0.05

Fuente: Equipo técnico evaluador

Cuadro N°67: Matriz de normalización de pares del parámetro estado de conservación

Estado de conservación	Muy malo	Malo	Regular	Bueno	Muy bueno	Vector Priorización
Muy malo	0.528	0.632	0.457	0.444	0.350	0.482
Malo	0.176	0.211	0.343	0.296	0.300	0.265
Regular	0.132	0.070	0.114	0.148	0.200	0.133
Bueno	0.088	0.053	0.057	0.074	0.100	0.074
Muy bueno	0.075	0.035	0.029	0.037	0.050	0.045

Fuente: Equipo técnico evaluador

Índice (IC) y Relación de Consistencia (RC) obtenido del Proceso de Análisis Jerárquico para el parámetro

IC	0.039
RC	0.035

a. Resiliencia económica

Cumplimiento de la normativa de reglamento nacional de edificaciones

Cuadro N°68: Matriz de comparación de pares del parámetro cumplimiento del RNE.

Cumplimiento	Desconoce	No cumple	Conoce, pero no cumple	Cumple parcialmente	Cumple en totalidad
Desconoce	1.00	3.00	4.00	6.00	7.00
No cumple	0.333	1.00	3.00	4.00	6.00
Conoce, pero no cumple	0.250	0.333	1.00	2.00	4.00
Cumple parcialmente	0.167	0.250	0.500	1.00	2.00
Cumple en totalidad	0.143	0.167	0.250	0.50	1.00
SUMA	1.89	4.75	8.75	13.50	20.00
1/SUMA	0.53	0.21	0.11	0.07	0.05

Fuente: Equipo técnico evaluador

Cuadro N°69: Matriz de normalización de pares del parámetro cumplimiento del RNE.

Cumplimiento	Desconoce	No cumple	Conoce, pero no cumple	Cumple parcialmente	Cumple en totalidad	Vector Priorización
Desconoce	0.528	0.632	0.457	0.444	0.350	0.482
No cumple	0.176	0.211	0.343	0.296	0.300	0.265
Conoce, pero no cumple	0.132	0.070	0.114	0.148	0.200	0.133
Cumple parcialmente	0.088	0.053	0.057	0.074	0.100	0.074
Cumple en totalidad	0.075	0.035	0.029	0.037	0.050	0.045

Fuente: Equipo técnico evaluador

Índice (IC) y Relación de Consistencia (RC) obtenido del Proceso de Análisis Jerárquico para el parámetro

IC	0.039
RC	0.035


 LESLIE STELLA
 DE LA CRUZ MARCELO
 INGENIERA CIVIL
 Reg. CIP N° 151547

✓ **Obras complementarias para reducir inundación**

Cuadro N°70: Descriptores para el análisis del parámetro protocolos de seguridad y mantenimiento

CODIGO	DESCRIPTOR
OBC01	Ninguna obra complementaria
OBC02	Vallas
OBC03	Vallas y Gaviones
OBC04	Vallas, gaviones y drenes
OBC05	Gaviones, Enrocados, Mampostería, Drenes, Vallas, Enmallados y anclajes

Fuente: Equipo técnico evaluador

Cuadro N°71: Matriz de comparación de pares del parámetro obras

Obras complementarias	OBC01	OBC02	OBC03	OBC04	OBC05
OBC01	1.00	2.00	3.00	4.00	8.00
OBC02	0.500	1.00	2.00	3.00	4.00
OBC03	0.333	0.500	1.00	2.00	3.00
OBC04	0.250	0.333	0.500	1.00	2.00
OBC05	0.125	0.250	0.333	0.50	1.00
SUMA	2.21	4.08	6.83	10.50	18.00
1/SUMA	0.45	0.24	0.15	0.10	0.06

Fuente: Equipo técnico evaluador

Cuadro N°72: Matriz de normalización de pares del parámetro obras

Obras complementarias	OBC01	OBC02	OBC03	OBC04	OBC05	Vector Priorización
OBC01	0.453	0.490	0.439	0.381	0.444	0.441
OBC02	0.226	0.245	0.293	0.286	0.222	0.254
OBC03	0.151	0.122	0.146	0.190	0.167	0.155
OBC04	0.113	0.082	0.073	0.095	0.111	0.095
OBC05	0.057	0.061	0.049	0.048	0.056	0.054

Fuente: Equipo técnico evaluador

Índice (IC) y Relación de Consistencia (RC) obtenido del Proceso de Análisis Jerárquico para el parámetro

IC	0.009
RC	0.008

✓ **Protocolos de seguridad y mantenimiento**

Cuadro N°73: Descriptores para el análisis del parámetro protocolos de seguridad y mantenimiento

CODIGO	DESCRIPTOR
PSM01	No tiene
PSM02	Desconoce los protocolos no realiza manteamiento
PSM03	Conoce superficialmente, realiza mantenimiento en plazos de tiempos muy largos
PSM04	Cumple de forma incompleta el RISST realiza mantenimiento esporádicamente.
PSM05	Cumple el RISST y realiza mantenimiento periódico

Fuente: Equipo técnico evaluador


 LESLIE STELLA
 DE LA CRUZ MARCELO
 INGENIERA CIVIL
 Reg. CIP N° 151547

Cuadro N°74: Matriz de comparación de pares del parámetro obras

Seguridad y mantenimiento	PSM01	PSM02	PSM03	PSM04	PSM05
PSM01	1.00	2.00	3.00	4.00	8.00
PSM02	0.500	1.00	2.00	3.00	4.00
PSM03	0.333	0.500	1.00	2.00	3.00
PSM04	0.250	0.333	0.500	1.00	2.00
PSM05	0.125	0.250	0.333	0.50	1.00
SUMA	2.21	4.08	6.83	10.50	18.00
1/SUMA	0.45	0.24	0.15	0.10	0.06

Fuente: Equipo técnico evaluador

Cuadro N°74.1: Matriz de normalización de pares del parámetro obras

Seguridad y mantenimiento	PSM 01	PSM02	PSM03	PSM04	PSM05	Vector Priorización
PSM01	0.453	0.490	0.439	0.381	0.444	0.441
PSM02	0.226	0.245	0.293	0.286	0.222	0.254
PSM03	0.151	0.122	0.146	0.190	0.167	0.155
PSM04	0.113	0.082	0.073	0.095	0.111	0.095
PSM05	0.057	0.061	0.049	0.048	0.056	0.054

Fuente: Equipo técnico evaluador

Índice (IC) y Relación de Consistencia (RC) obtenido del Proceso de Análisis Jerárquico para el parámetro

IC	0.009
RC	0.008

4.2.4. DIMENSIÓN AMBIENTAL

Siguiendo los criterios del Manual para la evaluación de riesgos originados por fenómenos naturales, Versión 02. Pag 135. (CENEPRED, 2014), Se determina los recursos naturales renovables y no renovables expuestos dentro del área de influencia del fenómeno de origen natural, identificando los recursos naturales vulnerables y no vulnerables, para posteriormente incorporar el análisis de la fragilidad ambiental y resiliencia ambiental. Esto ayuda a identificar los niveles de vulnerabilidad ambiental.

El Manual para la Evaluación de Riesgos originados por fenómenos naturales”, 2da Versión. Pag 15. (CENEPRED, 2014), indica que el manual es un instrumento técnico orientador, en relación a ello el equipo CONSULTOR en base a los CRITERIOS PRORESIONALES han establecido los parámetros de acuerdo a los aspectos ambientales específicos existentes en la zona de estudio.

El impacto ambiental de una inundación fluvial en el ámbito de influencia directa de la Central Hidroeléctrica Machupicchu (CHM) es significativo y multifacético, afectando tanto al ecosistema natural como a la infraestructura operativa de la central.


 LESLIE STELLA
 DE LA CRUZ MARCELO
 INGENIERA CIVIL
 Reg. CIP N° 151547

Impactos Ambientales Directos:

- **Erosión Fluvial Acelerada:** El aumento drástico del caudal y la velocidad del río Urubamba incrementa la erosión de las riberas y el lecho del río. Esto puede socavar las bases de puentes (como el puente peatonal de Mandor), muros de contención y otras obras civiles en el área inmediata de la central, alterando la morfología del cauce.
- **Aumento de la Sedimentación:** Las inundaciones arrastran grandes cantidades de sedimentos, rocas y materia orgánica. Estos sedimentos pueden acumularse en las obras de captación y los desarenadores de la central, lo que afecta la eficiencia operativa y requiere costosos trabajos de limpieza y dragado.
- **Contaminación del Agua:** La inundación arrastra residuos sólidos (basura), materia orgánica en descomposición y posiblemente sustancias peligrosas (hidrocarburos, químicos) desde áreas urbanas o campamentos cercanos hacia el río. Esto compromete la calidad del agua, afectando los ecosistemas acuáticos y la salud pública local.
- **Impacto en la Biodiversidad Local:** La alteración abrupta del flujo natural del río y la turbidez del agua afectan directamente a las especies nativas que habitan en el Urubamba, causando fragmentación del hábitat y potencial mortandad de organismos acuáticos.

Ver parámetros para análisis de la dimensión ambiental en el Cuadro 75.

Cuadro N°75: Parámetro de la dimensión ambiental

Dimensión ambiental		
Exposición	Fragilidad	Resiliencia
<ul style="list-style-type: none">• Impacto ambiental de especies de flora y fauna	<ul style="list-style-type: none">• Disposición final de residuos sólidos	<ul style="list-style-type: none">• Conocimiento de segregación de residuos

Fuente: Equipo técnico evaluador

a. Exposición ambiental

Impacto ambiental en especies de flora y fauna

Cuadro N°76: Matriz de comparación de pares del parámetro

Impacto ambiental	Impacta a especies endémicas	Impacta a especies de flora y fauna	Impacta en baja intensidad	Impacta en baja intensidad	Mínima o ninguna
Impacta a especies endémicas	1.00	2.00	3.00	4.00	8.00
Impacta a especies de flora y fauna	0.500	1.00	2.00	3.00	4.00
Impacta regularmente	0.333	0.500	1.00	2.00	3.00
Impacta en baja intensidad	0.250	0.333	0.500	1.00	2.00
Mínima o ninguna	0.125	0.250	0.333	0.50	1.00
SUMA	2.21	4.08	6.83	10.50	18.00
1/SUMA	0.45	0.24	0.15	0.10	0.06

Fuente: Equipo técnico evaluador

Cuadro N°77: Matriz de normalización de pares del parámetro

Impacto ambiental	Impacta a especies endémicas	Impacta a especies de flora y fauna	Impacta en baja intensidad	Impacta en baja intensidad	Mínima o ninguna	Vector Priorización
Impacta a especies endémicas	0.453	0.490	0.439	0.381	0.444	0.441
Impacta a especies de flora y fauna	0.226	0.245	0.293	0.286	0.222	0.254
Impacta regularmente	0.151	0.122	0.146	0.190	0.167	0.155
Impacta en baja intensidad	0.113	0.082	0.073	0.095	0.111	0.095
Mínima o ninguna	0.057	0.061	0.049	0.048	0.056	0.054

Fuente: Equipo técnico evaluador

Índice (IC) y Relación de Consistencia (RC) obtenido del Proceso de Análisis Jerárquico para el parámetro

IC	0.009
RC	0.008


 LESLIE STELLA
 DE LA CRUZ MARCELO
 INGENIERA CIVIL
 Reg. CIP N° 151547

b. Fragilidad ambiental

Disposición final de residuos sólidos

Cuadro N°78: Matriz de comparación de pares del parámetro servicio de disposición final de residuos sólidos.

Disposición de RRSS	Dispone en cauces o quebradas	Quema los RRSS	Desechar en vías y/o calles	Desechar en botaderos	Clasifica y reutiliza los RRSS
Dispone en cauces o quebradas	1.000	2.000	3.000	4.000	8.000
Quema los RRSS	0.500	1.000	2.000	3.000	4.000
Desechar en vías y/o calles	0.333	0.500	1.000	2.000	3.000
Desechar en botaderos	0.250	0.333	0.500	1.000	2.000
Clasifica y reutiliza los RRSS	0.125	0.250	0.333	0.500	1.000
SUMA	2.210	4.080	6.830	10.50	18.00
1/SUMA	0.45	0.240	0.150	0.100	0.060

Fuente: Equipo técnico evaluador

Cuadro N°79: Matriz de normalización de pares del parámetro servicio de disposición final de residuos sólidos

Servicio de recojo de residuos sólidos	Dispone en cauces o quebradas	Quema los RRSS	Desechar en vías y/o calles	Desechar en botaderos	Clasifica y reutiliza los RRSS	Vector Priorización
Dispone en cauces o quebradas	0.453	0.490	0.439	0.381	0.444	0.441
Quema los RRSS	0.226	0.245	0.293	0.286	0.222	0.254
Desechar en vías y/o calles	0.151	0.122	0.146	0.190	0.167	0.155
Desechar en botaderos	0.113	0.082	0.073	0.095	0.111	0.095
Clasifica y reutiliza los RRSS	0.057	0.061	0.049	0.048	0.056	0.054

Fuente: Equipo técnico evaluador

Índice (IC) y Relación de Consistencia (RC) obtenido del Proceso de Análisis Jerárquico para el parámetro.

IC	0.009
RC	0.008


 LESLIE STELLA
 DE LA CRUZ MARCELO
 INGENIERA CIVIL
 Reg. CIP N° 151547

c. Resiliencia ambiental

Conocimiento de actividades de conservación ambiental

Cuadro N°80: Matriz de comparación de pares del parámetro conocimiento de conservación ambiental

Conocimiento de actividades de segregación	deficiente	básico	regular	bueno	muy bueno
deficiente	1.00	2.00	3.00	4.00	8.00
básico	0.500	1.00	2.00	3.00	4.00
regular	0.333	0.500	1.00	2.00	3.00
bueno	0.250	0.333	0.500	1.00	2.00
muy bueno	0.125	0.250	0.333	0.50	1.00
SUMA	2.21	4.08	6.83	10.50	18.00
1/SUMA	0.45	0.24	0.15	0.10	0.06

Fuente: Equipo técnico evaluador

Cuadro N°81: Matriz de normalización de pares del parámetro conocimiento de actividades de conservación ambiental.

Conocimiento de actividades de segregación	deficiente	básico	regular	bueno	muy bueno	Vector Priorización
deficiente	0.453	0.490	0.439	0.381	0.444	0.441
básico	0.226	0.245	0.293	0.286	0.222	0.254
regular	0.151	0.122	0.146	0.190	0.167	0.155
bueno	0.113	0.082	0.073	0.095	0.111	0.095
muy bueno	0.057	0.061	0.049	0.048	0.056	0.054

Fuente: Equipo técnico evaluador

Índice (IC) y Relación de Consistencia (RC) obtenido del Proceso de Análisis Jerárquico para el parámetro

IC	0.009
RC	0.008


 LESLY STELLA
 DE LA CRUZ MARCELO
 INGENIERA CIVIL
 Reg. CIP N° 151547

4.2.5. CÁLCULO DE LA VULNERABILIDAD

Para el cálculo de la vulnerabilidad el método multicriterio según el Manual para la evaluación de riesgos originados por fenómenos naturales, Versión 02. Pag 203. (CENEPRED, 2014), el cual consiste en la ponderación de los criterios, sub criterios y descriptores que permite incorporar criterios cuantitativos (infraestructura expuesta, pérdidas humanas, económicas, etc.) y cualitativos (programas de capacitación, creación y/o aplicación de la normatividad, etc.) que son considerados en la Gestión del Riesgo de Desastres.

El cálculo de la Vulnerabilidad es la Etapa de la evaluación de riesgos, en la que se analiza los factores de exposición, fragilidad y la resiliencia en función al nivel de peligrosidad determinada, se evalúa el nivel de vulnerabilidad y se elabora el mapa del nivel de vulnerabilidad de la unidad física, social o ambiental evaluada.

Para el cálculo de la vulnerabilidad Para el análisis de la vulnerabilidad ha realizado la ponderación de los criterios, sub criterios y descriptores se utilizó el Proceso de Análisis Jerárquico el cual es un método multicriterio que permite incorporar criterios cuantitativos (infraestructura expuesta, pérdidas humanas, económicas, etc.) y cualitativos (programas de capacitación, creación y/o aplicación de la normatividad, etc.) que son considerados en la Gestión del Riesgo de Desastres. La matriz que se forma es una matriz cuadrada es decir el mismo número de filas y columnas.

4.2.6. DETERMINACIÓN DEL NIVEL DE VULNERABILIDAD

Para determinar los niveles de la vulnerabilidad se ha seguido el paso 5 del análisis de riesgo del Manual para la evaluación de riesgos originados por fenómenos naturales, Versión 02. Pag 233-237. (CENEPRED, 2014). que corresponde al análisis de la vulnerabilidad en sus tres dimensiones, social, económica y ambiental.


Para el cálculo y determinación del nivel de la vulnerabilidad se ha automatizado una base de datos SIG a cada elemento que conforma instalaciones de la empresa de generación eléctrica Machupicchu S.A. – EGEMSA (KM122) en la tecnología de sistema de información geográfica ArcMap, donde se realizó el siguiente análisis matemático para calcular los niveles de vulnerabilidad.

$$\text{Vulnerabilidad} = \text{Social. Peso} + \text{Económica. Peso} + \text{Ambiental} = \text{Valor}$$

Cuadro N°82: Niveles de Vulnerabilidad

NIVEL	RANGO				
MUY ALTO	0.260	≤	V	≤	0.463
ALTO	0.143	≤	V	<	0.260
MEDIO	0.084	≤	V	<	0.143
BAJO	0.049	≤	V	<	0.084

Fuente: Equipo técnico evaluador



LESLY STELLA
DE LA CRUZ MARCELO
INGENIERA CIVIL
Reg. CIP N° 151547

Cuadro N°83: Calculo de los niveles de Vulnerabilidad

DIMENSION SOCIAL													
EXPOSICION SOCIAL (ES)				FRAGILIDAD SOCIAL (FS)				RESILIENCIA SOCIAL (RS)				Valor DS	Peso DS
Cantidad de personas en la instalación de la Central Hidroeléctrica		Valor ES	Peso ES	Nivel de organización		Valor FS	Peso FS	Capacitación en riesgo de desastres		Valor RS	Peso RS		
Ppar	Pdesc			Ppar	Pdesc			Ppar	Pdesc				
1.00	0.441	0.441	0.164	1.000	0.482	0.482	0.297	1.000	0.482	0.482	0.539	0.475	0.297
1.00	0.254	0.254	0.164	1.000	0.265	0.265	0.297	1.000	0.265	0.265	0.539	0.263	0.297
1.00	0.155	0.155	0.164	1.000	0.133	0.133	0.297	1.000	0.133	0.133	0.539	0.137	0.297
1.00	0.095	0.095	0.164	1.000	0.074	0.074	0.297	1.000	0.074	0.074	0.539	0.077	0.297
1.00	0.054	0.054	0.164	1.000	0.045	0.045	0.297	1.000	0.045	0.045	0.539	0.046	0.297

DIMENSION ECONOMICA																					
EXPOSICIÓN ECONÓMICA (EE)				FRAGILIDAD ECONÓMICA (FE)				RESILIENCIA ECONÓMICA (RE)								VALOR DE	PESO DE				
Distancia hacia el área inundada		Valor EE	Peso EE	Material de construcción		Estado de conservación		Valor FE		Peso FE		Obras complementarias contra inundación		Cumplimiento de la normativa de reglamento nacional de edificaciones				Seguridad y mantenimiento		Valor RE	Peso RE
Ppar	Pdesc			Ppar	Pdesc	Ppar	Pdesc	Ppar	Pdesc	Ppar	Pdesc	Ppar	Pdesc	Ppar	Pdesc			Ppar	Pdesc		
1.000	0.482	0.482	0.164	0.500	0.441	0.500	0.482	0.462	0.539	0.539	0.441	0.297	0.482	0.164	0.441	0.453	0.297	0.462	0.539		
1.000	0.265	0.265	0.164	0.500	0.254	0.500	0.265	0.260	0.539	0.539	0.254	0.297	0.265	0.164	0.254	0.257	0.297	0.260	0.539		
1.000	0.133	0.133	0.164	0.500	0.155	0.500	0.133	0.144	0.539	0.539	0.155	0.297	0.133	0.164	0.155	0.148	0.297	0.144	0.539		
1.000	0.074	0.074	0.164	0.500	0.095	0.500	0.074	0.085	0.539	0.539	0.095	0.297	0.074	0.164	0.095	0.089	0.297	0.084	0.539		
1.000	0.045	0.045	0.164	0.500	0.054	0.500	0.045	0.050	0.539	0.539	0.054	0.297	0.045	0.164	0.054	0.051	0.297	0.049	0.539		

DIMENSION AMBIENTAL														VALOR VULNERA.
EXPOSICION AMBIENTAL (EA)		FRAGILIDAD AMBIENTAL (FA)				RESILIENCIA AMBIENTAL (RA)				Valor DA	PESO DA			
Impacto ambiental en especies de flora y fauna		Valor EA	Peso EA	Disposición final de residuos sólidos		Valor FA	Peso FA	Conocimiento de actividades de segregación						
Ppar	Pdesc			Ppar	Pdesc			Ppar	Pdesc					
1.000	0.441	0.441	0.164	1.000	0.441	0.441	0.297	1.000	0.441	0.441	0.539	0.441	0.164	0.463
1.000	0.254	0.254	0.164	1.000	0.254	0.254	0.297	1.000	0.254	0.254	0.539	0.254	0.164	0.260
1.000	0.155	0.155	0.164	1.000	0.155	0.155	0.297	1.000	0.155	0.155	0.539	0.155	0.164	0.143
1.000	0.095	0.095	0.164	1.000	0.095	0.095	0.297	1.000	0.095	0.095	0.539	0.095	0.164	0.084
1.000	0.054	0.054	0.164	1.000	0.054	0.054	0.297	1.000	0.054	0.054	0.539	0.054	0.164	0.049

Fuente: Equipo técnico evaluador

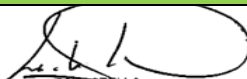

 LESLY STELLA
 DE LA CRUZ MARCELO
 INGENIERA CIVIL
 Reg. CIP N° 151547

4.2.7. ESTRATIFICACIÓN DE LA VULNERABILIDAD

Según el Manual para la evaluación de riesgos originados por fenómenos naturales, Versión 02. Pag 140. (CENEPRED, 2014). Para fines de la Evaluación de Riesgos, las zonas de vulnerabilidad pueden estratificarse en cuatro niveles: bajo, media, alta y muy alta, cuyas características y su valor correspondiente se detallan a continuación en función a las características sociales, económicas y ambientales de instalaciones de la empresa de generación eléctrica Machupicchu S.A. – EGEMSA (KM122).

Cuadro N°84: Estratificación de Vulnerabilidad

NIVEL	DESCRIPCIÓN	RANGOS
MUY ALTO	Este nivel está determinado por considerar que en el ámbito de estudio haya más de 125 personas en 1 día, el nivel de organización de la empresa sea muy malo, nunca hayan recibido capacitación de riesgos, la estructura este ubicada dentro del área inundada o a menos de 10m, el material constructivo sea precario, el estado de conservación sea muy malo, no hay obras complementarias para reducir la inundación, desconoce de la normativa del reglamento nacional de edificación, no realizan control de seguridad y mantenimiento de las instalaciones, estén impactando ambientalmente a especies endémicas, la disposición de residuos sólidos sea al cauce o quebradas y tengan un deficiente conocimiento sobre actividades de segregación.	$0,260 < V \leq 0,463$
ALTO	Este nivel está determinado por considerar que en el ámbito de estudio haya entre 100 125 personas en 1 día, el nivel de organización de la empresa sea malo, hayan recibido escasa capacitación de riesgos, la estructura este ubicada cerca al área inundada entre 10 a 20m, el material constructivo sea quincha, el estado de conservación sea malo, no hay obras complementarias solo mallas para evitar el acceso al río, no cumplen con la normativa del reglamento nacional de edificación, desconoce los protocolos no realiza mnteamiento de las instalaciones, estén impactando ambientalmente a la flora y fauna, la disposición de residuos sólidos sea la quema de RRSS y tengan un básico conocimiento sobre actividades de segregación.	$0,143 < V \leq 0,260$
MEDIO	Este nivel está determinado por considerar que en el ámbito de estudio haya entre 50 100 personas en 1 día, el nivel de organización de la empresa sea regular a bueno, hayan recibido de regular a muy buena capacitación de riesgos, la estructura está ubicada a una distancia regular del área inundada entre 20 a 53m, el material constructivo es de adobe y/o madera, ladrillo o bloqueta de cemento, el estado de conservación sea regular o bueno, hay complementarias como vallas, gaviones, muro de concreto, conoce pero no cumple o de manera parcial la normativa del reglamento nacional de edificación, Conoce superficialmente o incompleta el RISST, realiza mantenimiento en plazos de tiempo muy largos o esporádicamente las instalaciones, estén impactando regular o baja intensidad la flora y fauna, la disposición de residuos sólidos es a través de desechar a vías o botaderos y tiene entre regular a buen conocimiento sobre actividades de segregación.	$0,084 < V \leq 0,143$
BAJO	Este nivel está determinado por considerar que en el ámbito de estudio haya menos de 50 personas en 1 día, el nivel de organización de la empresa es muy bueno, recibe muy buena capacitación de riesgos, la estructura está ubicada lejos del área inundada a más de 30 metros, el material constructivo es ladrillo con/sin recubrimiento, concreto armado y/o acero, el estado de conservación es muy bueno, hay	$0,049 \leq V \leq 0,084$


 LESLIE STELLA
 DE LA CRUZ MARCELO
 INGENIERA CIVIL
 Reg. CIP N° 151547

complementarias como vallas, gaviones, muro de concreto, mampostería, drenes, enmallados para reducir el peligro, cumplen con totalidad la normativa del reglamento nacional de edificación, Cumple el RISST y realiza mantenimiento periódico mantenimiento de las instalaciones y obras, el impacto ambiental a la flora y fauna es mínimo, la disposición de residuos sólidos sea al cauce o quebradas y tengan un deficiente conocimiento sobre actividades de segregación.	
---	--

Fuente: Equipo técnico evaluador

4.2.7.1. Interpretación de los niveles de la vulnerabilidad

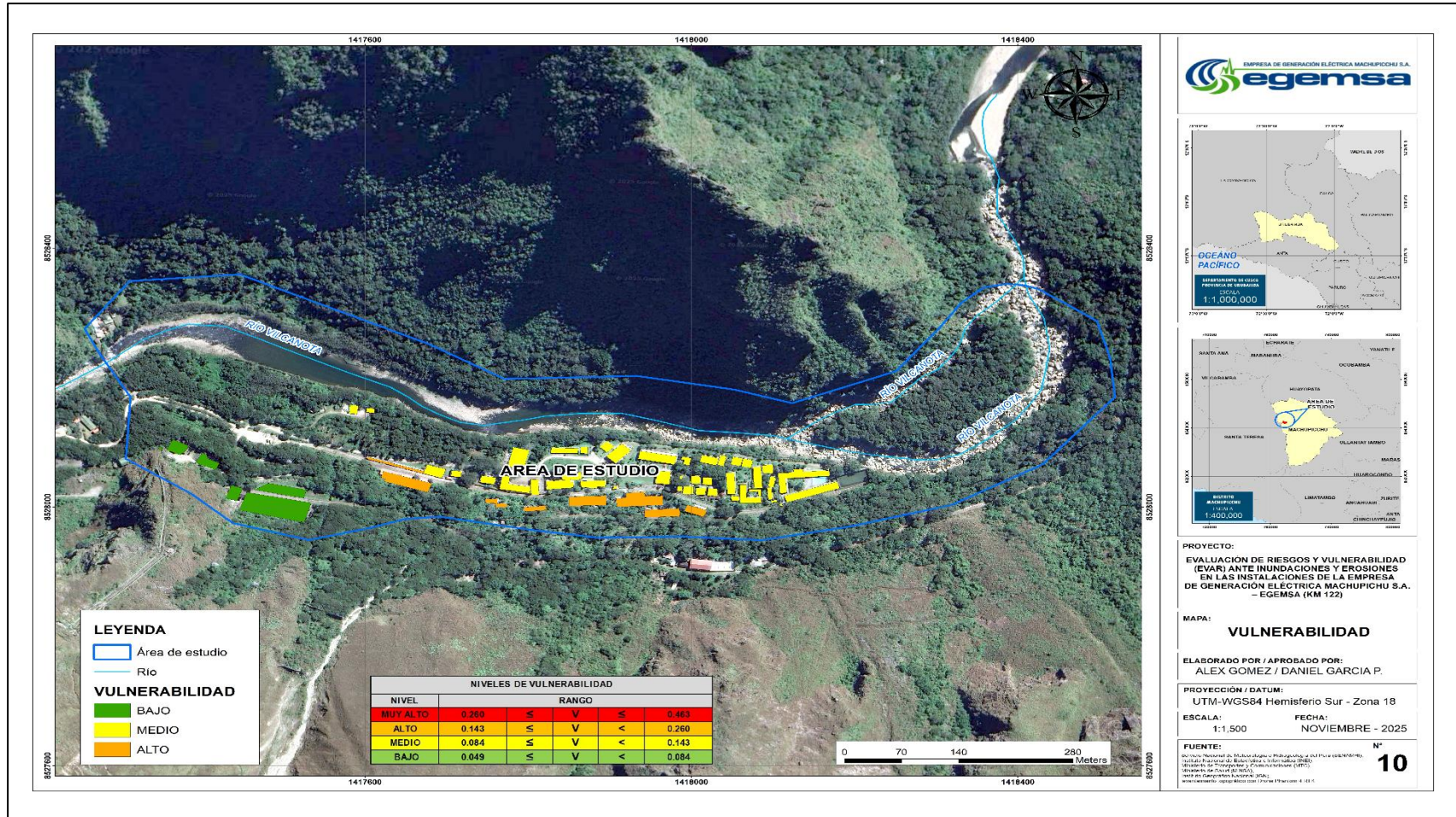
Si bien las guías metodológicas del CENEPRED no siempre proporcionan una tabla universal y exacta para todos los tipos de fenómenos, en este capítulo se ha realizado la interpretación de los niveles de forma cualitativa y se basa en la evaluación de factores específicos como la exposición, fragilidad y resiliencia de la dimensión económica, social, ambiental.

Cuadro N°85: Interpretación de resultados

Nivel de vulnerabilidad	Interpretación
Vulnerabilidad Baja	Indica una alta capacidad de resiliencia y baja susceptibilidad a sufrir daños. Los elementos expuestos (personas, infraestructura, vías de acceso) presentan características robustas o medidas de prevención y mitigación adecuadas. La comunidad está mejor preparada para asimilar y recuperarse del impacto de un evento adverso.
Vulnerabilidad Media:	Sugiere una susceptibilidad moderada. Existen ciertas debilidades en los elementos expuestos o en la capacidad de respuesta, pero también algunas capacidades para resistir o recuperarse del impacto. Se requieren acciones de prevención y reducción del riesgo para mejorar la seguridad.
Vulnerabilidad Alta (o Muy Alta)	Representa una alta susceptibilidad o fragilidad a sufrir daños significativos o la pérdida total de los elementos expuestos. Las condiciones físicas, sociales y/o económicas son deficientes (estructuras en mal estado, desconocen sobre temas de GRD, no existe obras de prevención o reducción). La capacidad de respuesta y recuperación es limitada.

4.2.8.MAPA DE ZONIFICACIÓN DEL NIVEL DE VULNERABILIDAD

Mapa N° 10: Vulnerabilidad



Fuente: Equipo técnico evaluador

LESLIE FRELLA
DE LA CRUZ MARCELO
INGENIERA CIVIL
Reg. CIP N° 154547

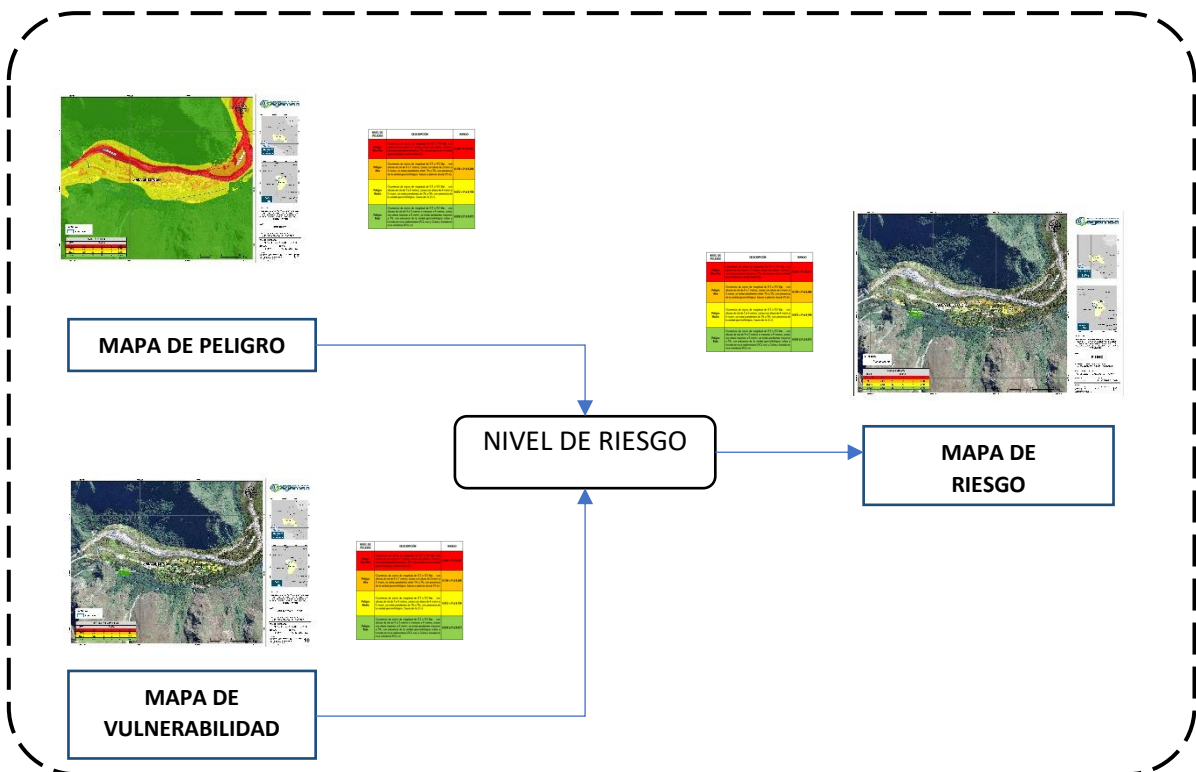
5. ANÁLISIS DE RIESGOS

Una vez identificados y analizados los peligros a los que está expuesta instalaciones de la empresa de generación eléctrica Machupicchu S.A. – EGEMSA (KM122), mediante el nivel de susceptibilidad y la evaluación de los respectivos parámetros de evaluación de los peligros ante inundaciones 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 calcular el nivel de riesgo del área en estudio.

5.1. METODOLOGÍA PARA LA DETERMINACIÓN DEL RIESGO

Para determinar el cálculo del riesgo del ámbito de estudio, se utiliza el siguiente procedimiento:

Gráfico N° 15: Metodología para determinar el nivel del riesgo



Fuente: Adaptado del Manual para la evaluación de Riesgos originados por Fenómenos Naturales – 2da Versión. CENEPRED.

5.2. PROCESO DE INTEGRACIÓN PELIGRO * VULNERABILIDAD

El proceso de integración Peligro – Vulnerabilidad es el paso final y crucial de la metodología del CENEPRED para la Evaluación de Riesgos (EVAR). El objetivo es determinar el nivel de riesgo de desastre, que es la probabilidad de que un peligro se convierta en un desastre, resultando en daños y pérdidas humanas, materiales e implicancias ambientales.

La integración se basa en el principio fundamental de que el riesgo es el resultado de la interacción entre el Peligro y la Vulnerabilidad:

$$\text{Riesgo} = \text{Peligro} \times \text{Vulnerabilidad}$$

Pasos del Proceso de Integración (Según el Manual CENEPRED), implica un cruce sistemático de la información generada en el análisis del peligro y vulnerabilidad.

5.2.1. CRUCE DE VARIABLES Y ELABORACIÓN DE MATRICES

La integración se realiza mediante una matriz de riesgos (también conocida como matriz de cruce) que combina los niveles de peligro con los niveles de vulnerabilidad según la metodología establecida en el Manual para la evaluación de riesgos originados por fenómenos naturales. Versión 02.

Para la obtención de los niveles de riesgo se han utilizado el cuadro de niveles de peligro y riesgos de donde se han obtenido los valores para poder realizar el cruce en la matriz de riesgos.

Cuadro N°86: Cuadros de niveles utilizados para la determinación de niveles de riesgos.

NIVELES DE PELIGRO					NIVELES DE VULNERABILIDAD						
NIVEL	RANGO				NIVEL	RANGO					
MUY ALTO	0.262	≤	P	≤	0.483	MUY ALTO	0.260	≤	V	≤	0.463
ALTO	0.141	≤	P	<	0.262	ALTO	0.143	≤	V	<	0.260
MEDIO	0.074	≤	P	<	0.141	MEDIO	0.084	≤	V	<	0.143
BAJO	0.041	≤	P	<	0.074	BAJO	0.049	≤	V	<	0.084

Fuente: Equipo técnico evaluador

Matriz del riesgo

En la matriz de riesgos se ha analizado el cuadro 86, donde ha hecho el cruce de los valores máximos obtenidos para cada nivel, de esa forma se ha determinado los niveles de riesgos tal como se muestra en el ítem 5.2.2.

Cuadro N°87: Matriz de Riesgo.

PMA	0.483	0.041	0.069	0.125	0.223
PA	0.262	0.022	0.038	0.068	0.121
PM	0.141	0.012	0.020	0.037	0.065
PB	0.074	0.006	0.011	0.019	0.034
		0.084	0.143	0.260	0.463
		VB	VM	VA	VMA

Fuente: Equipo técnico evaluador


 LESLIE STELLA
 DE LA CRUZ MARCELO
 INGENIERA CIVIL
 Reg. CIP N° 154547

5.2.2. NIVELES DE RIESGOS

Se han establecido los siguientes rangos para cada uno de los niveles de riesgo, como resultado del de la matriz de riesgo.

Cuadro N°88: Niveles de Riesgo

NIVELES DE RIESGO					
NIVEL	RANGO				
MUY ALTO	0.068	≤	R	≤	0.223
ALTO	0.020	≤	R	<	0.068
MEDIO	0.006	≤	R	<	0.020
BAJO	0.002	≤	R	<	0.006

Fuente: Equipo técnico evaluador

5.3. TABLA METODOLÓGICA DE LA ASIGNACIÓN DE CATEGORÍAS DE RIESGO

La metodología general se describe en el "Manual para la Evaluación de Riesgos originados por Fenómenos Naturales" (Versión 02) del CENEPRED:

Cuadro N°89: Metodología para asignación de categorías de los parámetros

Categoría de Riesgo	Descripción / Interpretación Metodológica
Muy Alto	Existe una alta probabilidad de que se presenten daños y pérdidas significativas (humanas, materiales, económicas, ambientales) si ocurre un evento peligroso, debido a una combinación de peligro muy probable y/o vulnerabilidad muy alta en los elementos expuestos.
Alto	Existe una probabilidad considerable de daños y pérdidas si ocurre un evento peligroso, resultado de niveles significativos de peligro y/o vulnerabilidad en los elementos expuestos.
Medio	La probabilidad de daños y pérdidas es moderada. Los impactos esperados son manejables con medidas de prevención y mitigación adecuadas, y la respuesta puede ser gestionada con recursos locales y/o regionales.
Bajo	La probabilidad de ocurrencia de daños es mínima o muy poco probable. El impacto esperado es limitado, indicando condiciones de peligro y vulnerabilidad controladas o muy bajas.

Fuente: Equipo técnico evaluador

5.4. ZONIFICACIÓN DEL RIESGO

Para fines de la Evaluación de Riesgos, las zonas de vulnerabilidad pueden estratificarse en cuatro niveles: bajo, media, alta y muy alta, cuyas características y su valor correspondiente se detallan en el siguiente cuadro. Ver cuadro 90.

Cuadro N°90: Zonificación de riesgo por inundación

Leyenda	Pérdidas y daños previsibles en caso de uso para uso de viviendas	Implicancias para el Ordenamiento Territorial
Riesgo muy	Las personas están en peligro tanto dentro como fuera de las instalaciones de la empresa de generación eléctrica Machupicchu S.A. – EGEMSA (KM122). Existen grandes probabilidades de destrucción repentina de infraestructuras. Los eventos se manifiestan con una intensidad relativamente débil, pero con una frecuencia elevada o con intensidad fuerte. En este caso, las personas están en peligro afuera de los edificios.	Zona de prohibición, no apta para la instalación, expansión o densificación de asentamientos humanos. Áreas ya edificadas deben ser reubicadas, o protegidas con importantes obras de protección, sistemas de alerta temprana y evacuación temporal.
Riesgo Alto	Las personas están en peligro afuera de la las instalaciones de la empresa de generación eléctrica Machupicchu S.A. – EGEMSA (KM122), pero no o casi no adentro. Se debe contar con daños en los edificios, pero no destrucción repentina de éstos, siempre y cuando su modo de construcción haya sido adaptado a las condiciones del lugar.	Zona de reglamentación, en la cual se puede permitir la de manera restringida, la expansión y densificación de asentamientos humanos, siempre y cuando existan y se respeten reglas de ocupación del suelo y normas de construcción apropiadas. Construcciones existentes que no cumplan con las reglas y normas deben ser reforzadas, protegidas o desalojadas y reubicadas.
Riesgo Alto	El peligro para las personas es regular y las instalaciones pueden sufrir daños moderados o leves, pero puede haber fuertes daños al interior de los mismos.	Zona de sensibilización, apta para asentamientos humanos y/o proyectos, en la cual la población debe ser sensibilizada ante la ocurrencia de este tipo de peligro, a nivel moderado y poco probable, para el conocimiento y aplicación de reglas de comportamiento apropiadas ante el peligro.
Riesgo Bajo	El peligro para las personas y las instalaciones de la empresa de generación eléctrica Machupicchu S.A. – EGEMSA (KM122) es bajo, con probabilidades de ocurrencia mínimas.	Zona de sensibilización, apta para asentamientos humanos y/o ejecución de proyectos, en la cual los usuarios del suelo deben ser sensibilizados ante la existencia de peligros muy poco probables, para que conozcan y apliquen reglas de comportamiento apropiadas ante la ocurrencia del.

Fuente: Equipo técnico evaluador

5.5. ESTRATIFICACIÓN DE RIESGOS

El proceso de estratificación del riesgo del CENEPRED se basa en una metodología cualitativa o semicuantitativa que integra variables de peligro y vulnerabilidad. La justificación de cada estrato debe estar detallada en el informe de evaluación correspondiente, utilizando evidencia de campo y criterios técnicos explícitos.

5.5.1. LAS VARIABLES CLAVE INTEGRADAS INCLUYE LA ESTRATIFICACIÓN:

Se describirá a continuación los parámetros utilizados en el análisis de

✓ **Peligro:**

- **Factores condicionantes:** Parámetros intrínsecos del área (geología, geomorfología y pendientes).
- **Factores desencadenantes:** Eventos o parámetros que activan el peligro (lluvias intensas).
- **Parámetro de evaluación:** Factores o variables que se utilizan para identificar, caracterizar y medir la existencia y naturaleza de un peligro potencial en un contexto específico (altura del agua en **m** y velocidad de agua en **m/s**).

✓ **Vulnerabilidad:**

Se analiza a través de los "elementos expuestos" (población, infraestructura, medios de vida, etc.) y considera dimensiones como:

- **Exposición:** Cantidad de personas en la instalación de la Central Hidroeléctrica, distancia de la infraestructura con respecto al cauce del río y el impacto ambiental del peligro en especies de flora y fauna.
- **Fragilidad:** Grado de resistencia de los elementos expuestos ante un peligro. incluye nivel de organización, material de construcción, estado de conservación, disposición final de residuos sólidos.
- **Resiliencia/Capacidad de respuesta:** La capacidad de un sistema o comunidad para absorber, adaptarse y recuperarse de los efectos de un evento, como capacitación en riesgo de desastres, obras complementarias contra inundación cumplimiento de la normativa de reglamento nacional de edificaciones, seguridad y mantenimiento, conocimiento de actividades de segregación.

Cuadro N°91: Estratificación de riesgo

NIVEL	DESCRIPCIÓN	RANGOS
MUY ALTO	<p>Un evento en un TR de 200 años se generaría caudales máximos de 1250m³/s, que ocasionaría en terrenos con pendiente menor a 5°, unidad geológica Deposito fluvial (Q-fl) y unidades geomorfológicas Cauce fluvial (C-f), inundación fluvial con una altura mayor a 1.5m con una velocidad de inundación mayor a 2m/s.</p> <p>Este nivel está determinado por considerar que en el ámbito de estudio haya más de 125 personas en 1 día, el nivel de organización de la empresa sea muy malo, nunca hayan recibido capacitación de riesgos, la estructura este ubicada dentro del área inundada o a menos de 10m, el material constructivo sea precario, el estado de conservación sea muy malo, no hay obras complementarias para reducir la inundación, desconoce de la normativa del reglamento nacional de edificación, no realizan control de seguridad y mantenimiento de las instalaciones, estén impactando ambientalmente a especies endémicas, la disposición de residuos sólidos sea al cauce o quebradas y tengan un deficiente conocimiento sobre actividades de segregación.</p>	0,068 < P ≤ 0,223
ALTO	<p>Un evento en un TR de 200 años se generaría caudales máximos de 1250m³/s, que ocasionaría en terrenos con pendiente entre 5° a 15°, unidad geológica Deposito de terraza fluvial (Q-tfl) y unidades geomorfológicas Terraza fluvial (T-f), inundación fluvial con una altura entre 1m a 1.5m con una velocidad de inundación entre 1 a 2m/s.</p> <p>Este nivel está determinado por considerar que en el ámbito de estudio haya entre 100 125 personas en 1 día, el nivel de organización de la empresa sea malo, hayan recibido escasa capacitación de riesgos, la estructura este ubicada cerca al área inundada entre 10 a 20m, el material constructivo sea quinchá, el estado de conservación sea malo, no hay obras complementarias solo mallas para evitar el acceso al río, no cumplen con la normativa del reglamento nacional de edificación, desconoce los protocolos no realiza mantenimiento de las instalaciones, estén impactando ambientalmente a la flora y fauna, la disposición de residuos sólidos sea la quema de RRSS y tengan un básico conocimiento sobre actividades de segregación.</p>	0,020 < P ≤ 0,068
MEDIO	<p>Un evento en un TR de 200 años se generaría caudales máximos de 1250m³/s, que ocasionaría en terrenos con pendiente entre 15° a 35°, unidad geológica Deposito proluvial (Q-pro) y/o Deposito coluvio-aluvial (Q-coal), unidades geomorfológicas Abanico de piedemonte (Ab) y/o Canal de flujo de detritos (C-fd), inundación fluvial con una altura entre 0.3m a 1m con una velocidad de inundación entre 0.3 a 1m/s.</p>	0,006 < P ≤ 0,020

	<p>Este nivel está determinado por considerar que en el ámbito de estudio haya entre 50 100 personas en 1 día, el nivel de organización de la empresa sea regular a bueno, hayan recibido de regular a muy buena capacitación de riesgos, la estructura está ubicada a una distancia regular del área inundada entre 20 a 53m, el material constructivo es de adobe y/o madera, ladrillo o bloqueta de cemento, el estado de conservación sea regular o bueno, hay complementarias como vallas, gaviones, muro de concreto, conoce pero no cumple o de manera parcial la normativa del reglamento nacional de edificación, Conoce superficialmente o incompleta el RISST, realiza mantenimiento en plazos de tiempo muy largos o esporádicamente las instalaciones, estén impactando regular o baja intensidad la flora y fauna, la disposición de residuos sólidos es a través de desechar a vías o botaderos y tiene entre regular a buen conocimiento sobre actividades de segregación.</p>	
<p>BAJO</p>	<p>Un evento en un TR de 200 años se generaría caudales máximos de 1250m³/s, que ocasionaría en terrenos con pendiente mayor a 35°, unidad geológica Granito Machupicchu (PET-mach-gr) y unidades geomorfológicas Laderas de pendiente moderada en roca intrusiva (L-ri) & Montaña en roca intrusiva (M-ri), ocasionaría inundación fluvial con una altura menor a 0.3m o no podría inundarse y en caso darse este sería con una velocidad de inundación menor a 0.3m/s.</p> <p>Este nivel está determinado por considerar que en el ámbito de estudio haya menos de 50 personas en 1 día, el nivel de organización de la empresa es muy bueno, recibe muy buena capacitación de riesgos, la estructura está ubicada lejos del área inundada a más de 30 metros, el material constructivo es ladrillo con/sin recubrimiento, concreto armado y/o acero, el estado de conservación es muy bueno, hay complementarias como vallas, gaviones, muro de concreto, mampostería, drenes, enmallados para reducir el peligro, cumplen con totalidad la normativa del reglamento nacional de edificación, Cumple el RISST y realiza mantenimiento periódico mantenimiento de las instalaciones y obras, el impacto ambiental a la flora y fauna es mínimo, la disposición de residuos sólidos sea al cauce o quebradas y tengan un deficiente conocimiento sobre actividades de segregación.</p>	<p>0,002 ≤ P ≤ 0,006</p>

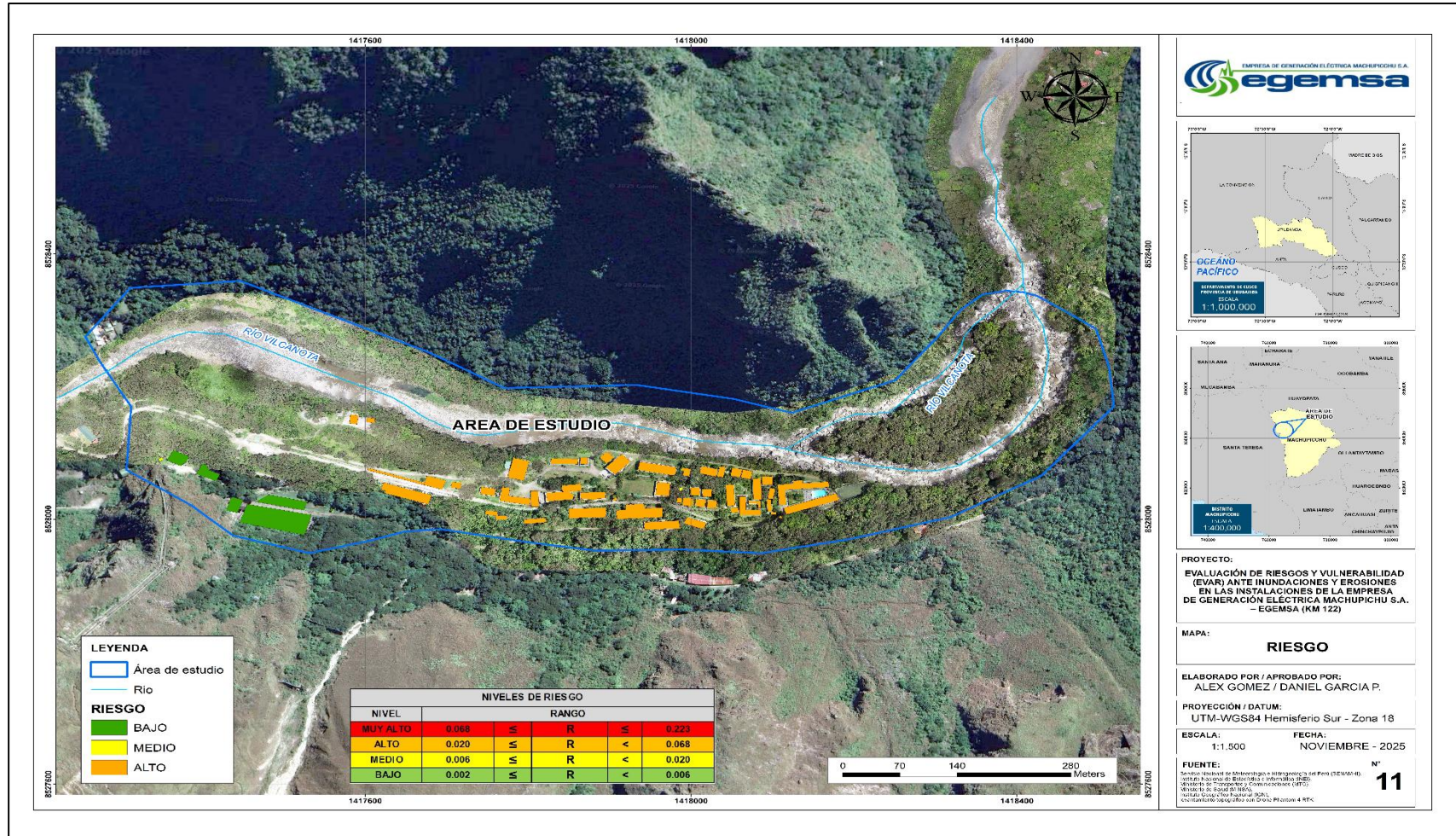
Fuente: Equipo técnico evaluador




LESLY STELLA
DE LA CRUZ MARCELO
INGENIERA CIVIL
Reg. CIP N° 154547

5.6. MAPA ZONIFICACIÓN RIESGOS

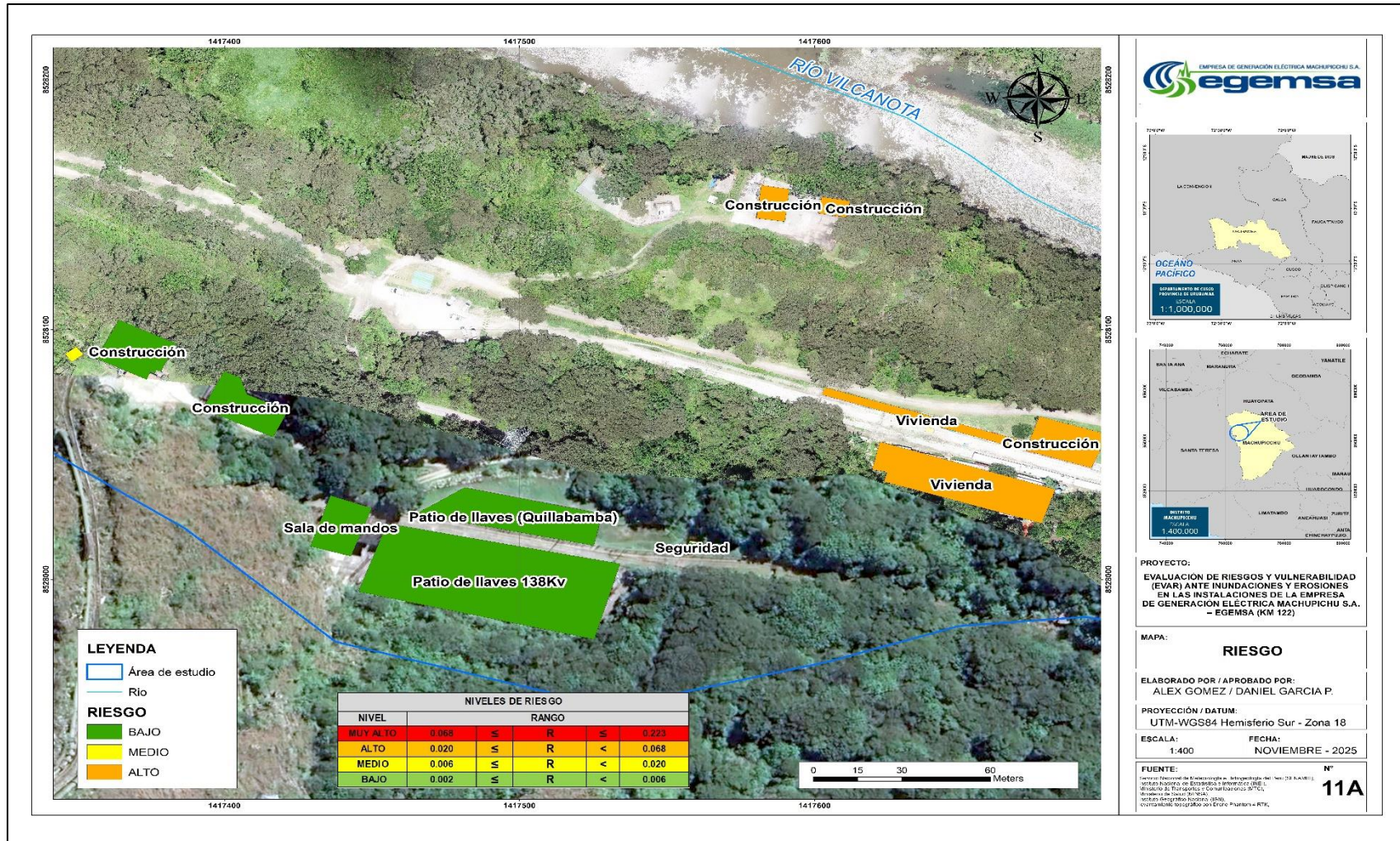
Mapa N° 11: Niveles de Riesgos



Fuente: Equipo técnico evaluador


LESLY STELLA
DE LA CRUZ MARCELO
INGENIERA CIVIL
Reg. CIP N° 154517

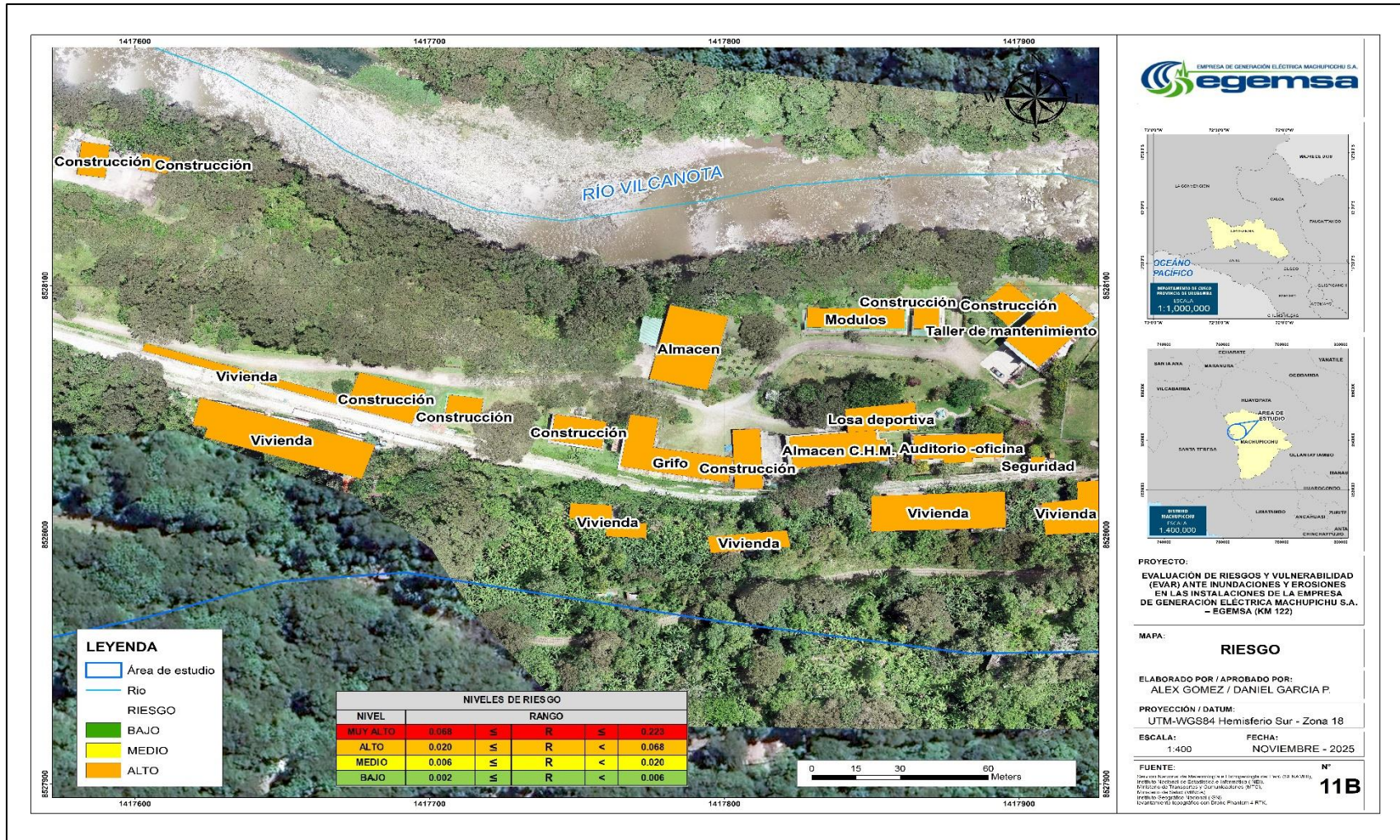
Mapa N° 11 A: Niveles de Riesgos



Fuente: Equipo técnico evaluador

LESLY STELLA
DE LA CRUZ MARCELO
INGENIERA CIVIL
Reg. CIP N° 154517

Mapa N° 11 B: Niveles de Riesgos



Fuente: Equipo técnico evaluador

LESLY STELLA
DE LA CRUZ MARCELO
INGENIERA CIVIL
Reg. CIP N° 154517

Cuadro N°92: Riesgos a nivel de infraestructura

Nombre	Valor Vulnerabilidad	Nivel Vulnerabilidad	Valor Peligro	Nivel Peligro	Valor Riesgo	Nivel Riesgo
Almacén	0.11649808	MEDIO	0.186216	ALTO	0.021694	ALTO
Almacén C.H.M.	0.11649808	MEDIO	0.186216	ALTO	0.021694	ALTO
Auditorio -oficina	0.11649808	MEDIO	0.186216	ALTO	0.021694	ALTO
Cocina - comedor	0.11649808	MEDIO	0.176216	ALTO	0.020529	ALTO
Colegio	0.11649808	MEDIO	0.186216	ALTO	0.021694	ALTO
Construcción	0.11649808	MEDIO	0.176216	ALTO	0.020529	ALTO
Gimnasio	0.11649808	MEDIO	0.186216	ALTO	0.021694	ALTO
Grifo	0.11649808	MEDIO	0.186216	ALTO	0.021694	ALTO
Habitaciones	0.11649808	MEDIO	0.176216	ALTO	0.020529	ALTO
Losa deportiva	0.11649808	MEDIO	0.186216	ALTO	0.021694	ALTO
Losa polideportiva	0.11649808	MEDIO	0.186216	ALTO	0.021694	ALTO
Módulos	0.11649808	MEDIO	0.186216	ALTO	0.021694	ALTO
Patio de llaves (Quillabamba)	0.06043251	BAJO	0.070743	BAJO	0.004275	BAJO
Patio de llaves 138Kv	0.06043251	BAJO	0.070743	BAJO	0.004275	BAJO
Sala de mandos	0.05786903	BAJO	0.070743	BAJO	0.004094	BAJO
Seguridad	0.12649808	MEDIO	0.164016	ALTO	0.020748	ALTO

Fuente: Equipo técnico evaluador

5.7. CÁLCULO DE LOS EFECTOS PROBABLES (CUALITATIVA Y CUANTITATIVA)

5.7.1. CUALITATIVA

Según la evaluación de riesgos de las instalaciones de la empresa de generación eléctrica Machupicchu S.A. – EGEMSA (KM122) se determinó algunas estructuras se encuentran en **riesgo MEDIO**, lo cual podría afectar al personal responsable de la operatividad y mantenimiento de las instalaciones con una posible afectación en la producción de energía, debido a su ubicación con respecto al cauce del río Vilcanota lo cual los hace más susceptibles ante la ocurrencia de un evento de inundación fluvial.

5.7.2. CUANTITATIVA

En esta parte de la evaluación, se estiman los efectos probables que podrían generarse en el área de influencia o posible afectación en las instalaciones de la empresa de generación eléctrica Machupicchu S.A. – EGEMSA (KM122).

El cuadro de daños y pérdidas probables se ha estimado en función al nivel de peligro, considerando la afectación de las estructuras. En las instalaciones de la empresa de generación eléctrica Machupicchu S.A. – EGEMSA (KM122), los niveles de riesgo obtenidos han sido BAJO Y MEDIO.

Para el análisis de daños y pérdidas, se ha decidido considerar únicamente el **riesgo medio**, ya que las áreas clasificadas en dicho nivel son las más susceptibles a daños ante una inundación fluvial, se recomienda tomar en cuenta el análisis costo beneficio para la implementación de medidas estructurales.

Cuadro N°93: Costos unitarios de infraestructura de edificaciones

Edificación	Muros y columnas	Techos	Pisos	Puertas y ventanas	Revestimientos	Baños	Instalaciones eléctricas y sanitarias	Costo parcial por m2
Edificación de adobe	223.81	135.38	31.86	37.20	66.36	10.32	40.37	545.30
Edificación de concreto armado	308.66	255.62	116.73	249.75	235.42	58.91	62.11	1287.20
Edificación de bloqueta y ladrillo	285.10	135.38	31.86	37.20	89.32	10.30	62.11	651.27
Edificación precaria	82.23	44.41	7.00	18.60	0.00	10.32	23.78	186.34

Fuente: CUADRO DE VALORES UNITARIOS OFICIALES DE EDIFICACION PARA LA SIERRA, Vigente desde el 01 al 30 de noviembre del 2025.

Según Criterio Cuantitativo (Edificaciones / Infraestructura) el Costo de reparación estimado es 15% del valor de la edificación, este porcentaje ha sido estimado por el equipo técnico evaluador según el nivel de riesgo obtenido para el área de estudio.

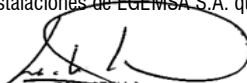
Cuadro N°94: Daños y perdidas probables

Efectos probables	Unidad	Cantidad	Costo Unit. (S./.)	Sub-total (S./.)	Daños probables (S./.) (15%)	Pérdidas probables (S./.)	
Instalaciones de la empresa de generación eléctrica Machupicchu S.A. – EGEMSA (KM122)							
Daños probables							
Estructuras existentes	m2	2920	651.27	1,901,708.40	285,256.26	1,376,251.26	
Cancha gras	m2	800	70.00	56,000.00	8,400.00		
Losa polideportiva techado	m2	565	600.00	339,000.00	50,850.00		
Losa deportiva	m2	235	180.00	42,300.00	6,345.00		
Colegio	m2	320	1,200.00	384,000.00	57,600.00		
Gimnasio implementado	m2	100	1,250.00	125,000.00	18,750.00		
Cocina comedor implementado	m2	750	2,400.00	1,800,000.00	270,000.00		
Taller de mantenimiento	m2	420	3,150.00	1,323,000.00	198,450.00		
Almacén	m2	600	700.00	420,000.00	63,000.00		
Almacén C.H.M.	m2	300	1,200.00	360,000.00	54,000.00		
Grifo	m2	460	1,800.00	828,000.00	124,200.00		
Módulos	m2	250	250.00	62,500.00	9,375.00		
Seguridad	m2	10	350.00	3,500.00	525.00		
Habitaciones	m2	700	1,500.00	1,050,000.00	157,500.00		
Auditorio - oficina	m2	300	1,600.00	480,000.00	72,000.00		
Pérdidas probables							
Reparación de infraestructura	m2	1310	610	799,100.00		7,224,743.85	
Afectación de la operatividad y mantenimiento de la central Hidroeléctrica							
Operatividad y mantenimiento (monto estimado de perdida por producción de energía por día) ¹	Día	5	1285128.77	6,425,643.85			
Total (S./.)						8,600,995.11	

Fuente:

- ✓ Equipo técnico evaluador
- ✓ CUADRO DE VALORES UNITARIOS OFICIALES DE EDIFICACION PARA LA SIERRA, Vigente desde el 01 al 30 de noviembre del 2025.
- ✓ Instituto Nacional de Recursos Naturales, Plan Nacional de Reforestación. Lima, diciembre 2025.
- ✓ https://www.agrorural.gob.pe/dmdocuments/bnsf/plan_nacional_de_reforestacion.pdf
- ✓ BRUGG Geobrugg, 2024, <https://www.geobrugg.com/en/Debris-flow-barriers-196766.html>.
- ✓ Generador de Precios Perú, CYPE Ingenieros, S.A., mayo 2025
https://peru.generadordeprecios.info/espacios_urbanos/Cimentaciones/Muros_de_contencion/Muros_de_gaviones/CCG020_Muro_de_gaviones_de_malla_electroso.html

¹ Según el "REPORTE DE SOSTENIBILIDAD 2022" (pág. 42) elaborado por EGEMSA S.A., se estima que la producción anual de energía de EGEMSA S.A. para el año 2022 ha sido de 1172.68 GWh, con lo cual se puede establecer que la producción diaria sería de 3.4 GWh aproximadamente. Así mismo según los precios actuales de mercado, se estima el monto de venta de un 1 KWh es de S/ 0.4 con lo cual, se estima que la paralización por un día en la producción de energía eléctrica equivaldría a un monto de pérdida de S/ 1,285,128.77 Dado que la afectación estimada en el presente estudio sería principalmente en las instalaciones que dan el soporte operativo y de mantenimiento a la producción de energía eléctrica, sin considerar daños a los equipos o maquinaria crítica, se estima una posible afectación de 1 a 5 días en las operaciones de la empresa. Este análisis se realiza con la finalidad de tener un estimado de las posibles pérdidas económicas que ocasionaría una posible inundación fluvial dentro de las instalaciones de EGEMSA S.A. que forman parte del presente estudio.


 LESLIE STELLA
 DE LA CRUZ MARCELO
 INGENIERA CIVIL
 Reg. CIP N° 151547

5.8. RESUMEN DE ESCENARIOS DE DAÑO

La clasificación se basa principalmente en la Guía para la evaluación de los efectos probables frente al impacto del peligro originado por fenómenos naturales, aprobada por Resolución Jefatural N° 080-2020-CENEPRED/J. A continuación, se presenta un cuadro resumen con los criterios generales utilizados en sus metodologías:

Según el criterio técnico del equipo evaluador según el análisis de acuerdo a los resultados del nivel de peligro, las instalaciones de la empresa de generación eléctrica Machupicchu S.A. – EGEMSA (KM122) se encuentran en un **nivel de daño Leve**, pero se recomienda tomar en cuenta el análisis costo beneficio para la aplicación de las medidas estructurales propuestas.

Nivel de Daño	Criterio Cualitativo General	Criterio Cuantitativo (Edificaciones / Infraestructura)	Impacto Socioeconómico General	Impacto operacional
Leve	La inundación se daría en zonas exteriores a estructuras importantes para el funcionamiento de la C.H.M. causando daños superficiales, menores, no estructurales. La funcionalidad no se ve comprometida o se restaura rápidamente.	Costo de reparación estimado entre 15% y 30% del valor de la edificación.	Afectación mínima al funcionamiento y a los servicios básicos; manejable con recursos locales.	Parada temporal (horas a días); reparaciones menores con recursos propios.
Moderado	La inundación se daría en zonas exteriores a estructuras importantes para el funcionamiento de la C.H.M. daños significativos que comprometen parcialmente la capacidad estructural. Se requiere reparación considerable para restaurar la seguridad y funcionalidad.	Costo de reparación estimado entre 30% y 60% del valor de la edificación.	Interrupción de servicios básicos; impacto considerable en medios de vida; requiere apoyo regional.	Parada prolongada (semanas a meses); requiere apoyo especializado y recursos externos para la reparación.
Severo	La inundación se daría en zonas exteriores a estructuras importantes para el funcionamiento de la C.H.M. daños graves o generalizados; alto deterioro estructural, riesgo de colapso total o parcial. La reparación es compleja, costosa o inviable.	Costo de reparación estimado entre 60% y 85% del valor de la edificación (el colapso es >85%).	Pérdidas humanas y materiales masivas; colapso de infraestructura crítica; requiere intervención nacional.	Parada a largo plazo o permanente; requiere reconstrucción mayor; impacto energético nacional significativo

Fuente: Equipo técnico evaluador


5.9. ANÁLISIS COSTO BENEFICIO

El método más ampliamente usado para seleccionar las inversiones alternativas diseñadas para lograr ciertos resultados socialmente deseables es el Análisis de Costo-Beneficio.

En forma simple, este tipo de análisis implica sumar todos los costos de los proyectos propuestos. Al resultado se le compara con las pérdidas probables que son consideradas como los beneficios del proyecto. Si los beneficios proyectados superan los costos del proyecto se argumenta que la decisión es viable.

Cuadro N°95: Presupuesto 01 - medidas estructurales considerando la alternativa 1 (con muro de concreto armado)

Ítem	Descripción	Und	Metrado	Precio (S./)	Parcial (S./)
1	TRABAJOS PRELIMINARES Y PROVISIONALES				11000.00
1.1	MOVILIZACIÓN Y DESMOVILIZACIÓN DE EQUIPO	Glb	1	10000	10000.00
1.2	CARTEL DE IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA	Glb	1	1000	1000.00
TRAMO 1A-1 (MURO DE CONCRETO ARMADO)					1803538.45
2	MOVIMIENTO DE TIERRAS				24662.50
2.1	TRAZO Y REPLANTEO	m2	2260	2.5	5650.00
2.2	EXCAVACIÓN DE MATERIAL DE TERRENO	m3	1900	6	11400.00
2.3	REFINE, NIVELACIÓN Y COMPACTACIÓN MANUAL	m2	1522.5	5	7612.50
3	MURO CONCRETO ARMADO				1344405.20
3.1	ENCOFRADO	m2	4509.5	55	248022.50
3.2	ACERO CORRUGADO FY=4200KG/CM2	kg	18.27	10	182.70
3.3	CONCRETO FC=210KG/CM2	m3	1827	600	1096200.00
4	ENROCADO				434470.75
4.1	CONCRETO CICLOPEO	m3	920.75	461	424465.75
4.2	GEOTEXTIL NO TEJIDO 200 GR/CM2	m2	667	15	10005.00
TRAMO 1A-2 (MANTENIMIENTO DE MURO DE CONCRETO EXISTENTE)					89857.88
5	MOVIMIENTO DE TIERRAS				1638.75
5.1	TRAZO Y REPLANTEO	m2	90	2.5	225
5.2	EXCAVACIÓN DE MATERIAL DE TERRENO	m3	176.25	6	1057.5
5.3	REFINE, NIVELACIÓN Y COMPACTACIÓN MANUAL	m2	71.25	5	356.25
6	CONCRETO ARMADO				21078.38
6.1	ENCOFRADO	m2	15	55	825
6.2	ACERO CORRUGADO FY=4200KG/CM2	kg	0.3375	10	3.375
6.3	CONCRETO FC=210KG/CM2	m3	33.75	600	20250
7	ENROCADO				67140.75
7.1	CONCRETO CICLOPEO	m3	143.25	461	66038.25
7.2	GEOTEXTIL NO TEJIDO 200 GR/CM2	m2	73.5	15	1102.5
TRAMO 2A-1 (MANTENIMIENTO DE MURO GAVIONES EXISTENTE)					123975.00
8	MANTENIMIENTO				123975.00
8.1	MANTENIMIENTO DE MURO DE GAVIONES	m2	1377.5	90	123975
TRAMO 2A-2 (MURO DE GAVIONES CON UÑA ANTISOCAVANTE Y ENROCADO)					1347921.00
9	MOVIMIENTO DE TIERRAS				
9.01	CONTROL DE NIVELES DURANTE LA EJECUCION DE OBRA	m2	1710	2.5	4275
9.02	EXCAVACION DE ZANJAS PARA GAVIONES DE PROTECCION	m3	855	6	5130


 LESLIE STELLA
 DE LA CRUZ MARCELO
 INGENIERA CIVIL
 Reg. CIP N° 154547

Ítem	Descripción	Und	Metrado	Precio (S./.)	Parcial (S./.)
9.03	EXCAVACION DE ZANJAS PARA COLCHON ANTISOCAVANTE	m3	1197	6	7182
9.04	RELLENO Y COMPACTACION DE BASE DE GAVIONES	m2	1710	60	102600
9.05	NIVELACION Y COMPACTACION DE BASE DE GAVIONES	m2	1710	5	8550
10	GAVIONES DE PROTECCION				0
10.01	CARGUIO Y TRASPORTE DE PIEDRAS PARA GAVIONES HASTA OBRA	m3	9720	45.2	439344
10.02	SUMINISTRO E INSTALACION DE GAVIONES COLCHON RENO	und	120	950	114000
10.03	SUMINISTRO E INSTALACION GAVIONES CAJA 5X1X1	und	120	980	117600
10.04	SUMINISTRO E INSTALACION GAVIONES CAJA 5X.51X1	und	140	1200	168000
10.05	NIVELACION Y TEJIDO DE CIERRE DE GAVIONES	m	180	15.5	2790
10.06	SUMINISTRO E INSTALACION DE GEOTEXTIL	m2	1710	15	25650
11	CONCRETO SIMPLE				0
11.01	CONCRETO FC=100 KG/CM2 + PIEDRA GRANDE	m3	1008	350	352800
	COSTO DIRECTO				S/ 3,376,292.33
	GASTOS GENERALES (15%)				S/ 506,443.85
	UTILIDAD (10%)				S/ 337,629.23
	SUB TOTAL				S/ 4,220,365.41
	IGV				S/ 759,665.77
	SUB TOTAL DE OBRAS CIVILES				S/ 4,980,031.18
	EXPEDIENTE TECNICO				S/ 747,004.68
	SUPERVISION DE EXPEDIENTE TECNICO				S/ 4,980.03
	SUPERVISOR DE OBRA				S/ 348,602.18
	PLAN DE MANTENIMIENTO DE INFRAESTRUCTURA				S/ 7,470.05
	MONTO DE INVERSION				S/ 6,088,088.12

Fuente: Equipo técnico evaluador

Cuadro N°96: Presupuesto 02 - medidas estructurales considerando la alternativa 2 (muro de gaviones con uña antisocavante y enrocado)

PRESUPUESTO DE MEDIDA ESTRUCTURAL EN TRAMOS DE INTERVENCIÓN DEL RÍO VILCANOTA					
Ítem	Descripción	Und	Metrado	Precio (S./.)	Parcial (S./.)
1	TRABAJOS PRELIMINARES Y PROVISIONALES				11000.00
1.1	MOVILIZACIÓN Y DESMOVILIZACIÓN DE EQUIPO	Glb	1	10000	10000.00
1.2	CARTEL DE IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA	Glb	1	1000	1000.00
TRAMO 1A-1 (MURO DE GAVIONES CON UÑA ANTISOCAVANTE Y ENROCADO)					1228942.50
2	MOVIMIENTO DE TIERRAS				
2.01	CONTROL DE NIVELES DURANTE LA EJECUCION DE OBRA	m2	2260	2.5	5650.00
2.02	EXCAVACION DE ZANJAS PARA GAVIONES DE PROTECCION	m3	1900	6	11400.00
2.03	EXCAVACION DE ZANJAS PARA COLCHON ANTISOCAVANTE	m3	950	6	5700.00
2.04	RELLENO Y COMPACTACION DE BASE DE GAVIONES	m2	2260	60	135600.00
2.05	NIVELACION Y COMPACTACION DE BASE DE GAVIONES	m2	2260	5	11300.00
3	GAVIONES DE PROTECCION				0.00
3.01	CARGUIO Y TRASPORTE DE PIEDRAS PARA GAVIONES HASTA OBRA	m3	8700	45.2	393240.00
3.02	SUMINISTRO E INSTALACION DE GAVIONES COLCHON RENO	und	110	950	104500.00
3.03	SUMINISTRO E INSTALACION GAVIONES CAJA 5X1X1	und	110	980	107800.00
3.04	SUMINISTRO E INSTALACION GAVIONES CAJA 5X.51X1	und	120	1200	144000.00


 LESLIE STELLA
 DE LA CRUZ MARCELO
 INGENIERA CIVIL
 Reg. CIP N° 151547

PRESUPUESTO DE MEDIDA ESTRUCTURAL EN TRAMOS DE INTERVENCIÓN DEL RÍO VILCANOTA					
Ítem	Descripción	Und	Metrado	Precio (S./)	Parcial (S./)
3.05	NIVELACION Y TEJIDO DE CIERRE DE GAVIONES	m	145	15.5	2247.50
3.06	SUMINISTRO E INSTALCION DE GEOTEXTIL	m2	667	15	10005.00
4	CONCRETO SIMPLE				0.00
4.01	CONCRETO FC=100 KG/CM2 + PIEDRA GRANDE	m3	850	350	297500.00
TRAMO 1A-2 (MANTENIMIENTO DE MURO DE CONCRETO EXISTENTE)					89857.88
5	MOVIMIENTO DE TIERRAS				1638.75
5.1	TRAZO Y REPLANTEO	m2	90	2.5	225
5.2	EXCAVACIÓN DE MATERIAL DE TERRENO	m3	176.25	6	1057.5
5.3	REFINE, NIVELACIÓN Y COMPACTACIÓN MANUAL	m2	71.25	5	356.25
6	CONCRETO ARMADO				21078.38
6.1	ENCOFRADO	m2	15	55	825
6.2	ACERO CORRUGADO FY=4200KG/CM2	kg	0.3375	10	3.375
6.3	CONCRETO FC=210KG/CM2	m3	33.75	600	20250
7	ENROCADO				67140.75
7.1	CONCRETO CICLOPEO	m3	143.25	461	66038.25
7.2	GEOTEXTIL NO TEJIDO 200 GR/CM2	m2	73.5	15	1102.5
TRAMO 2A-1 (MANTENIMIENTO DE MURO GAVIONES EXISTENTE)					123975.00
8	MANTENIMIENTO				123975.00
8.1	MANTENIMIENTO DE MURO DE GAVIONES	m2	1377.5	90	123975
TRAMO 2A-2 (MURO DE GAVIONES CON UÑA ANTISOCAVANTE Y ENROCADO)					1347921.00
9	MOVIMIENTO DE TIERRAS				
9.01	CONTROL DE NIVELES DURANTE LA EJECUCION DE OBRA	m2	1710	2.5	4275
9.02	EXCAVACION DE ZANJAS PARA GAVIONES DE PROTECCION	m3	855	6	5130
9.03	EXCAVACION DE ZANJAS PARA COLCHON ANTISOCAVANTE	m3	1197	6	7182
9.04	RELLENO Y COMPACTACION DE BASE DE GAVIONES	m2	1710	60	102600
9.05	NIVELACION Y COMPACTACION DE BASE DE GAVIONES	m2	1710	5	8550
10	GAVIONES DE PROTECCION				0
10.01	CARGUIO Y TRASPORTE DE PIEDRAS PARA GAVIONES HASTA OBRA	m3	9720	45.2	439344
10.02	SUMINISTRO E INSTALACION DE GAVIONES COLCHON RENO	und	120	950	114000
10.03	SUMINISTRO E INSTALCION GAVIONES CAJA 5X1X1	und	120	980	117600
10.04	SUMINISTRO E INSTALCION GAVIONES CAJA 5X.51X1	und	140	1200	168000
10.05	NIVELACION Y TEJIDO DE CIERRE DE GAVIONES	m	180	15.5	2790
10.06	SUMINISTRO E INSTALCION DE GEOTEXTIL	m2	1710	15	25650
11	CONCRETO SIMPLE				0
11.01	CONCRETO FC=100 KG/CM2 + PIEDRA GRANDE	m3	1008	350	352800
	COSTO DIRECTO				S/ 2,801,696.38
	GASTOS GENERALES (15%)				S/ 420,254.46
	UTILIDAD (10%)				S/ 280,169.64
	SUB TOTAL				S/ 3,502,120.47
	IGV				S/ 630,381.68
	SUB TOTAL DE OBRAS CIVILES				S/ 4,132,502.15
	EXPEDIENTE TECNICO				S/ 619,875.32
	SUPERVISION DE EXPEDIENTE TECNICO				S/ 4,132.50
	SUPERVISOR DE OBRA				S/ 289,275.15


 LESLIE STELLA
 DE LA CRUZ MARCELO
 INGENIERA CIVIL
 Reg. CIP N° 151547

PRESUPUESTO DE MEDIDA ESTRUCTURAL EN TRAMOS DE INTERVENCIÓN DEL RÍO VILCANOTA					
Ítem	Descripción	Und	Metrado	Precio (S/.)	Parcial (S/.)
	PLAN DE MANTENIMIENTO DE INFRAESTRUCTURA				S/ 6,198.75
	MONTO DE INVERSION				S/ 5,051,983.88

Fuente: Equipo técnico evaluador

Contextualización del análisis costo beneficio:

Según la información y el análisis del equipo técnico, se determinó el costo de daños y pérdidas probables en **S/ 8,600,995.11**, en cuanto al costo de mitigación probable, se han planteado 2 presupuestos en función a las dos alternativas propuesto para el tramo 1A-1, donde el costo para la implementación de la primera alternativa en el tramo 1A-1 y manteniendo las consideraciones en los otros tramos es de **S/6,088,088.12** , y el costo para la implementación de la segunda alternativa en el tramo 1A-1 y manteniendo las consideraciones en los otros tramos es de **S/5,051,983.88**.

Por lo tanto, el costo de la intervención de ambas propuestas no supera a los daños y pérdidas económicas probables, en ese sentido el equipo técnico evaluador sugiere que los responsables por parte de EGEMSA evalúen la implementación de alguna de las alternativas, ya que dichos proyectos son considerados viables desde el análisis costo beneficio para su ejecución progresiva.

5.9.1. BENEFICIOS DE LA APLICACIÓN DE MEDIDAS ESTRUCTURALES

El equipo evaluador ha planteado medidas estructurales en 4 tramos de la rivera del rio Vilcanota colindante a las instalaciones de la empresa de generación eléctrica Machupicchu S.A. – EGEMSA (KM122).


- **Tramo 1A-1: Implementación de protección con dos alternativas: muro de gaviones o muro de concreto armado.**
- **Tramo 1A-2 mantenimiento de Muro Existente y ampliación de zapata**
- **Tramo 2A-1 Mantenimiento de Gaviones existentes ampliando el colchón antisocavantes.**
- **Tramo 2A-2 Muro de gaviones**

La aplicación de estas medidas traería los siguientes beneficios:

a. Beneficios Económicos

Los beneficios económicos se centran en evitar las pérdidas catastróficas que ocurrirían si la central sufriera daños severos por inundación.

- **Evitar Pérdidas de Activos Críticos:** La protección de la infraestructura física, taller de mantenimiento, almacén, cocina, colegio, habitaciones, losas, módulos y otras infraestructuras de la central, cuyo valor asciende a millones de soles, es el principal beneficio económico.
- **Reducción de Costos de Reparación/Reconstrucción:** Se evitan los costos asociados a reparaciones extensas, que según el porcentaje estimado según la metodología CENEPRED para el área de estudio se ha estimado en un 15% del valor de la central.


LESLY STELLA
 DE LA CRUZ MARCELO
 INGENIERA CIVIL
 Reg. CIP N° 151547

- **Continuidad del Ingreso:** Al prevenir paradas operativas prolongadas, se asegura la generación de ingresos por la venta de energía, evitando pérdidas financieras.
- **Ahorro en Costos de Emergencia:** Se minimizan los gastos imprevistos en operaciones de rescate, limpieza y respuesta a desastres, que son costosos.

b. Beneficios Operacionales

Estos beneficios aseguran la fiabilidad y eficiencia de la generación de energía.

- **Continuidad Operativa:** La principal ventaja es garantizar que la central pueda seguir operando sin interrupciones causadas por desbordes del río Vilcanota/Urubamba, manteniendo su capacidad de generación (actualmente cerca de 90 MW).
- **Estabilidad del Sistema Eléctrico:** Al ser parte del Sistema Eléctrico Interconectado Nacional (SEIN), su operación estable contribuye a la seguridad y fiabilidad del suministro eléctrico en toda la región y el país.
- **Protección de Infraestructura Auxiliar:** el mantenimiento de los gaviones existentes aseguran la protección de elementos clave como el patio de llaves, la subestación de 138 Kv, y los campamentos de personal, que son vitales para la operación diaria de la central.

c. Beneficios Sociales

Estos se extienden más allá de la central, impactando a la comunidad local y nacional.

- **Seguridad y Protección de Vidas:** Se protege la vida del personal que trabaja y vive en el campamento de la hidroeléctrica, así como de las poblaciones aledañas aguas abajo que podrían verse afectadas indirectamente por una falla catastrófica.
- **Suministro Energético Fiable:** Una operación ininterrumpida garantiza el acceso continuo a la electricidad para miles de hogares, negocios y servicios públicos (hospitales, escuelas) en Cusco y el resto del Perú.
- **Sostenibilidad Ambiental:** Los muros de gaviones propuestos en el **tramo 1A-1**, al ser estructuras flexibles y permeables rellenas con piedra local, tienen un impacto ambiental menor que otras estructuras rígidas y ayudan a estabilizar las riberas del río, controlando la erosión, lo que es crucial en una zona de alto valor ecológico y turístico como Machupicchu. Sin embargo, la decisión final entre las dos alternativas propuestas será definida una vez realizada los estudios básicos.
- **Resiliencia Local:** Fortalece la resiliencia de la infraestructura crítica del país ante fenómenos naturales recurrentes, contribuyendo al desarrollo sostenible de la región.

6. CONTROL DE RIESGO

6.1. CONTROL DEL RIESGO

Aceptabilidad / Tolerabilidad

6.1.1. VALORACIÓN DE CONSECUENCIAS

Cuadro N°97: Valoración de consecuencias.

Valor	Nivel	Descripción
4	Muy Alta	Las consecuencias debido al impacto de un fenómeno natural son catastróficas.
3	Alta	Las consecuencias debido al impacto de un fenómeno natural pueden ser gestionadas con apoyo externo.
2	Medio	Las consecuencias debido al impacto de un fenómeno natural pueden ser gestionadas con los recursos disponibles.
1	Baja	Las consecuencias debido al impacto de un fenómeno natural pueden ser gestionadas sin dificultad.

Fuente: Equipo técnico evaluador

Según el cuadro anterior obtenemos que las consecuencias debido al impacto de un fenómeno natural pueden ser gestionados con apoyo externo, es decir, posee el **nivel 3 – MEDIO**.

6.1.2. VALORACIÓN DE FRECUENCIA DE OCURRENCIA

Cuadro N98: Valoración de la frecuencia de ocurrencia.

Valor	Nivel	Descripción
4	Muy Alta	Puede ocurrir en la mayoría de las circunstancias.
3	Alta	Puede ocurrir en periodos de tiempo medianamente largos según las circunstancias.
2	Medio	Puede ocurrir en periodos de tiempo largos según las circunstancias.
1	Baja	Puede ocurrir en circunstancias excepcionales.

Fuente: Equipo técnico evaluador

Según el cuadro anterior se obtiene que el evento de peligro por inundación fluvial puede ocurrir en periodos de tiempo largos según circunstancias, es decir, posee el **nivel 3 – ALTO**.


6.1.3. MATRIZ DE CONSECUENCIA Y DAÑOS

Cuadro N°99: Nivel de consecuencia y daños.

Consecuencias	Nivel	Zona de Consecuencias y daños			
Muy Alta	4	Alta	Alta	Muy Alta	Muy Alta
Alta	3	Media	Alta	Alta	Muy Alta
Media	2	Media	Media	Alta	Alta
Baja	1	Baja	Media	Media	Alta
	Nivel	1	2	3	4
	Frecuencia	Baja	Media	Alta	Muy Alta

Fuente: CENEPRED.

Según el cuadro anterior se obtiene que el nivel de consecuencia y daño es **–ALTA**.


 LESLIE STELLA
 DE LA CRUZ MARCELO
 INGENIERA CIVIL
 Reg. CIP N° 151547

6.1.4.MEDIDAS CUALITATIVAS DE CONSECUENCIA Y DAÑOS

Cuadro N°100: Medidas cualitativas de consecuencia y daños.

Valor	Nivel	Descripción
4	Muy Alta	Muerte de personas, enorme pérdida de bienes y financieros.
3	Alta	Lesiones grandes en personas, pérdida de la capacidad de producción, pérdida de bienes y financieros importantes.
2	Medio	Requiere tratamiento médico, pérdida de la capacidad de producción, pérdida de bienes y financieros altas.
1	Baja	Tratamiento de primeros auxilios, pérdida de la capacidad de producción, pérdida de bienes y financieros altas.

Fuente: CENEPRED.

De lo anterior se obtiene que las Medidas cualitativas de consecuencias y daño, estarán orientadas al tratamiento de **Lesiones grandes en personas, pérdida de la capacidad de producción, pérdida de bienes y financieros importantes**, por lo que se desprende que su grado es **nivel 3 – ALTA**.

6.1.5.ACEPTABILIDAD Y/O TOLERANCIA DEL RIESGO

Cuadro N°101: Nivel de aceptabilidad y/o Tolerancia.

Valor	Descriptor	Descripción
4	Inadmisible	Se debe aplicar inmediatamente medida de control físico y de ser posible transferir inmediatamente los riesgos.
3	Inaceptable	Se deben desarrollar actividades inmediatas y prioritarias para el manejo de riesgos
2	Tolerable	Se deben desarrollar actividades para el manejo de riesgos
1	Aceptable	El riesgo no presenta un peligro significativo

Fuente: CENEPRED.

Según el cuadro anterior se obtiene que la aceptabilidad y/o Tolerancia del Riesgo por inundación fluvial en el área de estudio es de **nivel 3 – El peligro es INACEPTABLE y se deben desarrollar actividades inmediatas y prioritarias para el manejo de riesgos**.

6.1.6.MATRIZ DE ACEPTABILIDAD Y/O TOLERANCIA DEL RIESGO

Cuadro N°102: Nivel de aceptabilidad y/o Tolerancia.

Riesgo Inaceptable	Riesgo Inaceptable	Riesgo Inadmisible	Riesgo Inadmisible
Riesgo Tolerable	Riesgo Inaceptable	Riesgo Inaceptable	Riesgo Inadmisible
Riesgo Tolerable	Riesgo Tolerable	Riesgo Inaceptable	Riesgo Inaceptable
Riesgo Aceptable	Riesgo Tolerable	Riesgo Tolerable	Riesgo Inaceptable

Fuente: CENEPRED.

La aceptabilidad y/o Tolerancia del Riesgo por inundación fluvial en el área de estudio es de **nivel 3 - INACEPTABLE**.


 LESLIE STELLA
 DE LA CRUZ MARCELO
 INGENIERA CIVIL
 Reg. CIP N° 151547

6.1.7. PRIORIDAD DE INTERVENCIÓN

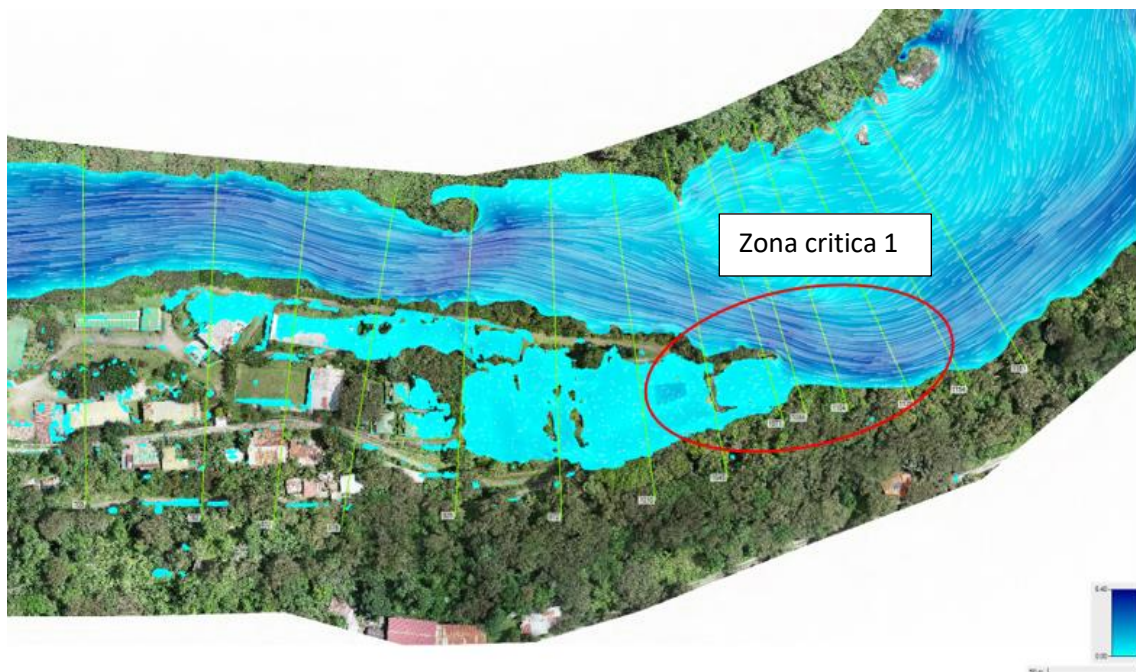
Cuadro N°103: Prioridad de Intervención

Valor	Descriptor	Nivel de priorización
4	Inadmisible	I
3	Inaceptable	II
2	Tolerable	III
1	Aceptable	IV

Fuente: CENEPRED.

Según el cuadro anterior se obtiene que el nivel de priorización es **(Inaceptable)**.

La prioridad de la intervención según la simulación por inundación fluvial, que condiciona los niveles de riesgo, se ha establecido para la zona crítica 1, donde se ha recomendado la aplicación de medida estructural de dos alternativas : muro de concreto armado o gaviones con uña antisocavante y enrocado, además se ha identificado condiciones físicas en las medidas estructurales existentes (muro, gaviones), para lo cual se ha detallado en el capítulo 7, las **características técnicas con respecto a las zonas donde se debe priorizar medidas.**



7. MEDIDAS DE PREVENCIÓN Y REDUCCIÓN DEL RIESGO

7.1. MEDIDAS DE PREVENCIÓN Y REDUCCIÓN DE RIESGOS DE DESASTRES

A partir del análisis de estudios realizados (Geológico, hidrológico, simulación de flujos y topográfico) y la evaluación de peligro, vulnerabilidad y niveles de riesgo se definió las medidas de orden estructural y no estructural.

A continuación, se describe la justificación y el detalle de las medidas estructurales y no estructurales, que pueden ser implementadas en la zona de estudio, sin embargo, su implementación deberá estar en función de un análisis costo-beneficio que permita establecer la factibilidad de estas, en función de diferentes criterios de orden económico, social, cultural, entre otros.

7.1.1. MEDIDAS DE ORDEN ESTRUCTURAL DE REDUCCIÓN DE RIESGOS

a. Resumen de la Necesidad del Uso de los Muros de Defensa ribereña

En el río **Vilcanota**, ubicado en el **distrito de Machupicchu, provincia de Urubamba y departamento del Cusco**, se ha identificado la necesidad de implementar **obras de defensa ribereña** debido a los procesos de **erosión** que afectan el **margen izquierdo del cauce**, adyacente a la **Central Hidroeléctrica Machupicchu II**.

Con la finalidad de mitigar los daños ocasionados por la pérdida progresiva de material de ribera y reducir el riesgo sobre las infraestructuras existentes, se propone la implementación y/o redimensionamiento de estructuras de protección tipo muros de gaviones y/o concreto armado, complementadas, de ser necesario, con elementos de protección del pie como enrocados o colchones antisocavantes. Estas estructuras permitirán estabilizar el margen del cauce, mejorar la capacidad de contención frente a eventos de crecida y garantizar la seguridad y operatividad de las instalaciones aledañas.

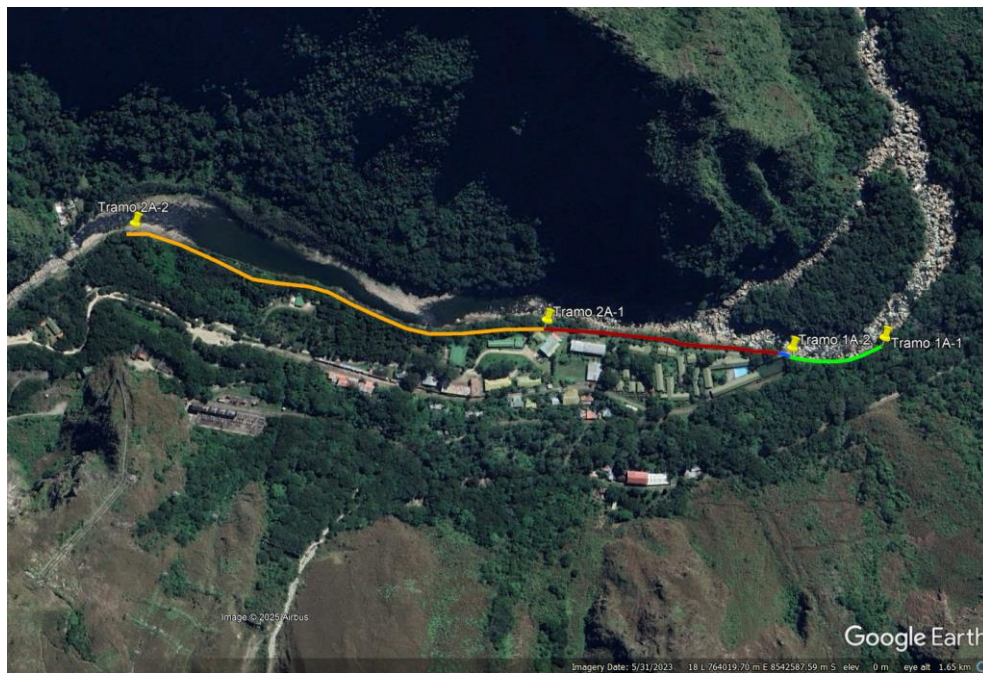
La imagen siguiente muestra la zona de evaluación y análisis hidráulico correspondiente al presente estudio, donde se identifican los sectores críticos de erosión y la ubicación propuesta de las medidas estructurales de defensa ribereña.



b. Sectorización de la necesidad de los muros de defensa

Para el desarrollo técnico del proyecto, se ha procedido a **sectorizar el tramo del río en estudio**, dividiéndolo en **cuatro [04] tramos** según las **características topográficas e hidrológicas** observadas en el margen evaluado.

Esta sectorización permite **diferenciar las condiciones geomorfológicas** del cauce y **definir criterios específicos de diseño** para cada tramo, optimizando la propuesta de protección ribereña.



Fuente: Elaboración propia para el estudio.


LESLY STELLA
DE LA CRUZ MARCELO
INGENIERA CIVIL
Reg. CIP N° 151547

Tramos Definidos para medidas estructurales:

- Tramo 1A-1: 0+000 – 0+145
- Tramo 1A-2: 0+145 – 0+160
- Tramo 2A-1: 0+160 – 0+464
- Tramo 2A-2: 0+854 – 1+034

Es importante señalar que:

- La Medida 1A-1 y 1A-2 se encuentran ubicadas fuera de la concesión de la CH Machupicchu
- Las Medidas 2A-1 (tiene 24.57m fuera de la concesión y 279.43 dentro de la concesión) y 2A-2 se encuentra en totalidad dentro de la concesión de la CH Machupicchu

Los tramos definidos para la propuesta de medidas estructurales, identificados mediante progresivas locales de proyecto (0+000 a 1+034), guardan correspondencia directa con las progresivas empleadas en el modelamiento hidráulico del cauce, las cuales se encuentran referidas al sistema de progresivas longitudinales del eje del río, a saber:

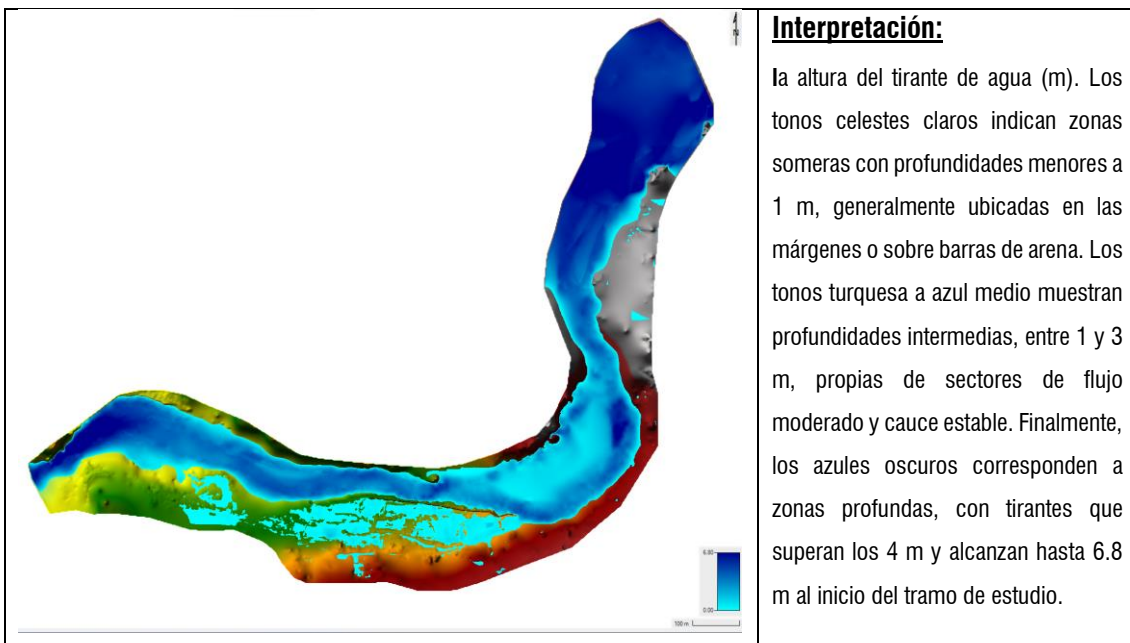
Tramos Definidos para modelamiento hidráulico:

- Tramo 1A-1: Progresiva 1181 a 1084
- Tramo 1A-2: Progresiva 1084 a 1071
- Tramo 2A-1: Progresiva 1071 a 782
- Tramo 2A-2: Progresiva 353 a 245

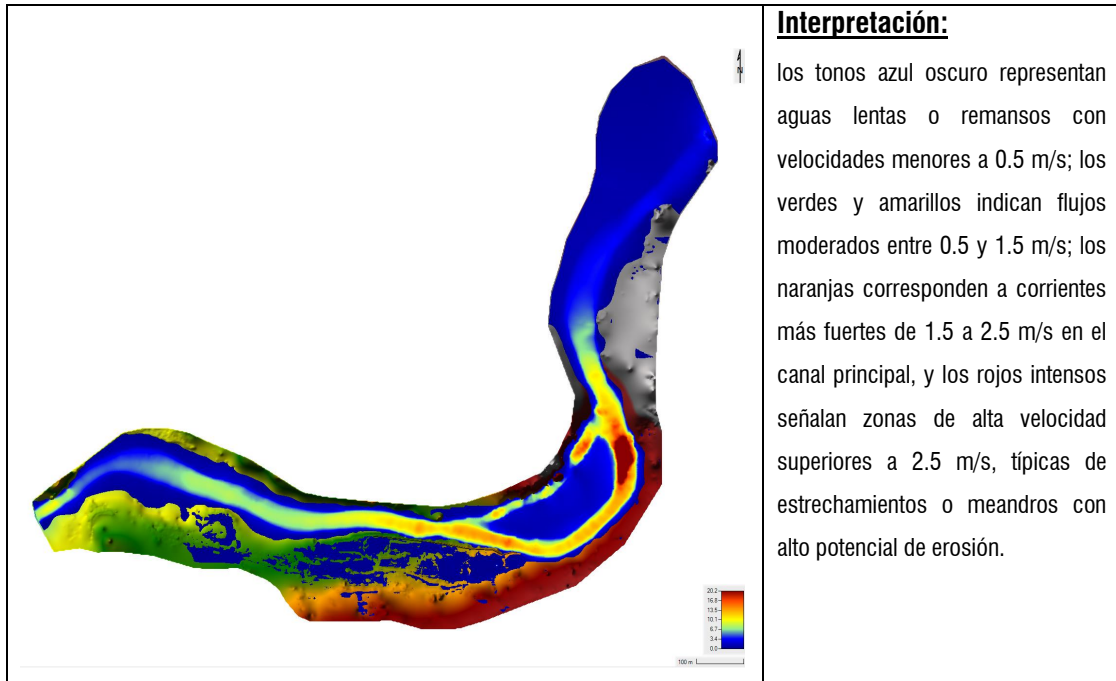
Esta equivalencia permite integrar de manera consistente los resultados del modelamiento hidráulico (tirantes, velocidades y zonas de desborde) con la localización y extensión de las intervenciones estructurales propuestas.

c. Características hidrológicas de los tramos (cauce y barreras naturales)

De acuerdo con el Informe Hidráulico, se tiene los siguientes análisis gráficos.



Fuente: Informe Hidráulico.



Fuente: Informe Hidráulico.

d. Resumen de las características de cada tramo

Para el desarrollo técnico del proyecto, se ha procedido a sectorizar el tramo del río en estudio, dividiéndolo en cuatro [04] tramos según las características topográficas e hidrológicas observadas en el margen evaluado.

Ítem	Sector	Longitud [m]	Alternativa	Base de muro [m]	Enrocado para evitar socavación [emín=0.50m]	Altura Mínima de Muro [Proyectado]
1	Tramo 1A-1	145	Alternativa 01 [Muro de concreto armado]	7.5	1.0	9.0
			Alternativa 02 [Muro de gaviones con uña antisocavante y enrocado]	7.5	1.0	9.0
2	Tramo 1A-2 Muro Existente [Altura: 6m]	15.0	[Mantenimiento de muro de concreto existente]	Ampliar zapata [talón]		1.50 m
				Enrocado de protección en la base L=2m, H=1m		
3	Tramo 2A-1 Mantenimiento de Gaviones [Altura Existente: 6m]	304	[Mantenimiento de muro de gaviones existente]	Mantenimiento de estructura de gavión existente		
4	Tramo 2A-2	180	[Muro de gaviones con uña antisocavante y enrocado]	6.5	1.0	8.0

e. Análisis y propuesta de tramos de intervención

Considerando los estudios técnicos proporcionados por las diferentes especialidades y en base a los resultados hidráulicos e hidrológicos obtenidos, se plantea la siguiente propuesta de estructuras de protección ribereña, distribuidas según los tramos definidos previamente.

Las **medidas estructurales propuestas** para los tramos críticos del río Vilcanota han sido concebidas y evaluadas para **operar bajo un escenario hidráulico extremo**, correspondiente a un **período de retorno de 200 años**, asociado a un **caudal de diseño del orden de 1 250 m³/s**.

1. Tramo 1A-1

a. Alternativa 01: Muro de concreto armado (0+000-0+145)

La presente alternativa corresponde al diseño de una estructura de defensa ribereña tipo muro de concreto armado, orientada a proteger la margen izquierda del cauce frente a procesos de erosión, socavación y desbordes asociados a eventos de crecida. Este tipo de solución estructural se caracteriza por su alta rigidez estructural, elevada capacidad resistente y control geométrico del cauce, permitiendo un adecuado desempeño hidráulico y estructural frente a sollicitaciones extremas. Asimismo, los muros de concreto armado presentan ventajas en términos de durabilidad, vida útil prolongada, menor deformabilidad y capacidad de integración con elementos de protección del pie, como enrocados o colchones antisocavantes, constituyéndose en una alternativa técnicamente eficiente para la estabilización de márgenes fluviales y la reducción del riesgo hidráulico en el área de intervención.

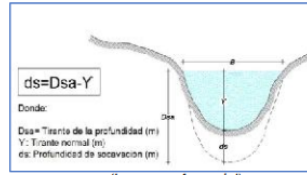
- Cálculo de la profundidad de socavación

Con la finalidad de garantizar la estabilidad hidráulica y estructural de la defensa ribereña propuesta, se realiza el cálculo de la profundidad de socavación potencial asociada a los caudales de diseño. Este análisis permite estimar el descenso máximo del lecho del cauce durante eventos de avenida, obteniéndose una profundidad de socavación del orden de 0.80 m, valor que constituye un criterio fundamental para definir la profundidad de cimentación del muro de concreto armado, la necesidad y extensión de elementos de protección del pie (colchón antisocavante o enrocado) y la altura efectiva del muro, asegurando un comportamiento estructural seguro frente a procesos erosivos y fenómenos de socavación local y general.

CÁLCULO DE LA PROFUNDIDAD DE SOCAVACIÓN

1. DATOS

B =	95 m	Espejo de agua
Q =	1250 m ³ /s	Caudal máximo
Y =	7.5 m	Tirante normal
K _{sa} =	2	Factor de corrección
f =	6	Factor de Lacey



(Imagen referencial)

Factor de Lacey

Factor f de Lacey	
Material	Valor de f
Rocas masicas (Diámetro 70cm)	40
Rocas	38
Pedrones y lajas	20
Piedras y lajas	6
Piedras pequeñas y gravas gruesas	4.7
Arenas gruesas	1.52
Arenas medias	1.3
Limos estandar	1
Limos finos	0.85

Fuente: Fórmula de Lacey (1930)

Factor de corrección K_{sa}

Factor de corrección K _{sa}	
Tramo recto/curvas moderadas	1.50
Ángulos rectos/curvas pronunciadas	2.00
Aguas arriba de las pilas	2.00
Aguas arriba de deflectores	2.50

Fuente: Fórmula de Lacey (1930)

Fórmula de Lacey $ds = 1.35 \left(\frac{q^2}{f} \right)^{1/3}$

q = Q/B = 13.2 m³/s/mm Caudal unitario

2. Cálculo de la altura de socavación

$ds = 1.35 \left(\frac{q^2}{f} \right)^{1/3}$
 ds = 4.1 m

Factor de corrección

$Dsa = ds * Ksa$

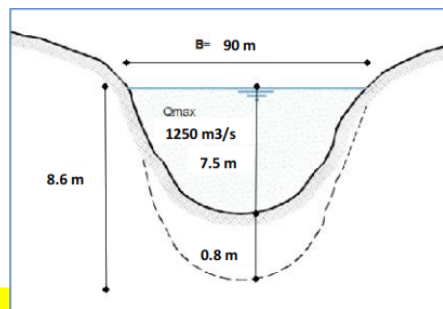
Dsa = 8.3 m

3. Cálculo de la profundidad de socavación

$Hs = Dsa - Y$

Hs = 0.8 m

Profundidad de socavación Hs = 0.8 m



(Imagen referencial)

- Cálculo de la altura de diseño del muro de concreto armado

Con el objetivo de definir una altura de diseño segura del muro de concreto armado, se evalúa el efecto combinado del tirante máximo de flujo, la profundidad de socavación estimada y el borde libre hidráulico asociado a la energía del flujo. A partir de una velocidad media de 3.0 m/s, se obtuvo una energía de velocidad de 0.46 m y un borde libre de 0.64 m, resultando una altura de diseño del muro del orden de 9.0 m, la cual permite garantizar un adecuado encauzamiento del flujo, prevenir desbordes y asegurar la estabilidad hidráulica y estructural de la defensa ribereña frente a eventos de avenida.

CÁLCULO DE LA ALTURA DE DISEÑO DEL MURO DE DEFENSA RIBEREÑA

1. DATOS

V =	3 m/s	Velocidad media del flujo
h =	8.3 m	Tirante normal máximo + Profundidad de socavación
g =	9.81 m/s ²	Gravedad
cp =	1.4	Coefficiente en función de la descarga máxima

Coefficiente Ψ cálculo del borde libre del muro - encausamiento

Caudal Máximo m ³ /seg.	Coefficiente Ψ
3000 - 4000	2.00
2000 - 3000	1.70
1000 - 2000	1.40
500 - 1000	1.20
100 - 500	1.10
1 - 100	1.00

Fuente: Valores recomendados por Huaccachi F., (2019)

2. CÁLCULO DE ALTURA DE DISEÑO DEL GAVIÓN

Cálculo de la energía de velocidad

$$e = \frac{V^2}{2 \cdot g}$$

e = 0.46

Cálculo de la energía de velocidad

$$BL = \Psi \cdot e$$

BL = 0.64 m

Cálculo de la altura del muro

$$H = h + BL$$

H = 8.9 m

La altura de diseño del muro

H = **9.0 m**

- Cálculo de enrocado de protección en la base

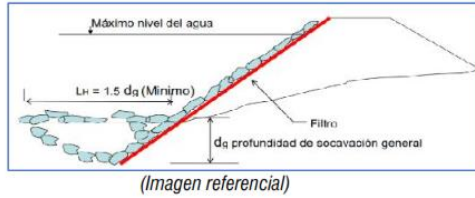
Con la finalidad de proteger la cimentación del muro de defensa ribereña frente a procesos de erosión y socavación inducidos por el flujo durante eventos de avenida, se realiza el cálculo del enrocado de protección en la base, considerando la profundidad de socavación estimada y las condiciones hidráulicas de diseño. Como resultado del análisis, se adopta un ancho de protección de 2.0 m y un diámetro medio del enrocado del orden de 0.60 m, valores que garantizan la estabilidad del material frente a las velocidades de flujo previstas y aseguran una adecuada disipación de energía, contribuyendo a la protección efectiva del pie de la estructura.

CÁLCULO DE ENROCADO DE PROTECCIÓN EN LA BASE

1. Cálculo de la longitud de la base del gavión

$d_g = 0.8 \text{ m}$ Profundidad de socavación

Ancho de base enrocado $A_u = 1.2 \text{ m}$
 Adoptamos una base de **$A_u = 2 \text{ m}$**



2. Cálculo del diámetro de enrocado de protección

a. Método de Maynard

$y = 7.5 \text{ m}$ Profundidad de flujo
 $V = 3 \text{ m/s}$ Velocidad media del flujo
 $C_1 = 0.3$ Profundidad de socavación
 $C_2 = 1.5$

Valores recomendados de coeficientes C_1 y C_2

C_1	0.28	Fondo plano
	0.28	Talud $W : 3H$
	0.32	Talud $W : 2H$
C_2	1.5	Tramos en curva
	1.25	Tramos rectos
	2.0	Extremos de espigones

Número de Froude
 $F = 0.52$

$$d_{50} = C_1 (yF^3)$$

Diámetro medio enrocado de protección
 $d_{50} = 0.32 \text{ m}$

$$F = C_2 \left(\frac{V}{\sqrt{gV}} \right)$$

b. Método de Isbach

$V = 3 \text{ m/s}$ Velocidad media del flujo
 $Y_r = 3 \text{ t/m}^3$ Densidad de roca
 $Y_a = 1 \text{ t/m}^3$ Densidad del agua

Número de Froude
 $K = 2.00$

$$K = \frac{Y_{roca} - Y_{agua}}{Y_{agua}}$$

Diámetro medio enrocado de protección
 $d_{50} = 0.88 \text{ m}$

$$D_{50} = \frac{0.58823V}{K}$$

Diámetro medio de enrocado

Método	$d_{50} \text{ (m)}$
Maynard	0.32
Isbach	0.88
Promedio	0.60

Adoptamos un diámetro medio de **0.6 m**

LESLIE STELLA
 DE LA CRUZ MARCELO
 INGENIERA CIVIL
 Reg. CIP N° 151547

- Cálculo estructural de muro de concreto armado

El presente cálculo estructural corresponde al diseño de un muro de defensa ribereña de concreto armado, destinado a garantizar la estabilidad hidráulica y geotécnica frente a los efectos combinados del empuje de tierras, empuje hidrostático y acciones inducidas por el caudal máximo de diseño. El análisis se desarrolló considerando una altura total del muro de 9.0 m, una altura hidráulica de 7.5 m y una profundidad de socavación estimada de 0.80 m, así como parámetros conservadores del suelo de cimentación ($\gamma = 2.0 \text{ t/m}^3$, $\phi = 30^\circ$, $c = 0$). A partir del predimensionamiento geométrico y la evaluación de fuerzas actuantes y resistentes, se verificaron los estados límite de estabilidad global, obteniéndose un factor de seguridad al volteo $FSV = 2.08$, valor que supera el mínimo recomendado ($FS > 2.0$), y un factor de seguridad al deslizamiento $FSD = 1.76$, mayor al valor admisible ($FS > 1.5$). Estos resultados confirman que la geometría final propuesta del muro cumple adecuadamente las condiciones de estabilidad frente a volteo y deslizamiento, asegurando un comportamiento estructural seguro bajo las solicitaciones de diseño y validando su aplicación como medida estructural efectiva de defensa ribereña.

CÁLCULO ESTRUCTURAL DE MURO DE DEFENSA RIBEREÑA

1. Datos geométricos

H = 9 m Altura total del muro

2. Datos hidráulicos

Hd = 7.5 m Altura del caudal máximo
Hs = 0.8 m Profundidad de socavación

3. Datos del terreno

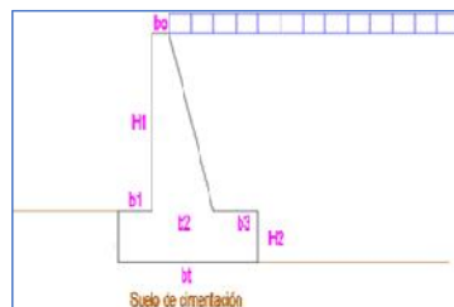
Ys = 2 t/m³ Peso unitario
 $\phi = 30^\circ$ Ángulo de fricción
C = 0 kg/cm² Cohesión

4. Datos del concreto

f'c = 210 kg/cm² Resistencia a la compresión
Yc = 2.4 t/m³ Peso unitario

5. Predimensionamiento

Parámetro	Valor	Und
b0	0.3	m
b1	1.6	m
b2	0.9	m
b3	4.5	m
bt	7	m
H2	1	m
H1	8	m



(Imagen referencial)

6. Coeficientes de empuje activo (Ka) y pasivo (Kp)

Ka = 0.33
Kp = 3

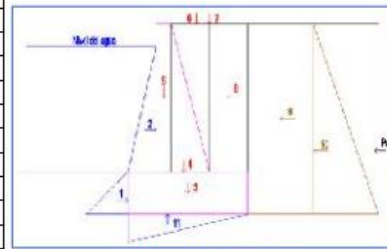
$$K_a = \tan^2\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\phi}{2}\right)$$

$$K_p = \tan^2\left(\frac{\pi}{4} + \frac{\phi}{2}\right)$$

LESLY STELLA
DE LA CRUZ MARCELO
INGENIERA CIVIL
Reg. CIP N° 154547

7. Fuerzas resistentes y actuantes sobre el muro

Fuerzas	FH (ton)	FV (ton)	d (m)	Mr (ton.m)	Mo (ton.m)
1	1.00		0.5	0.50	
2	28.13		3.5	98.44	
3		16.80	3.5	58.80	
4		2.88	3.5	10.08	
5		2.88	1.75	5.04	
6		2.40	2.3	5.52	
7		0.00	7	0.00	
8		36.00	4.75	171.00	
9	27.00		4.5		121.50
10	0.00		3		0.00
11		19.82	2.333333333		46.25
Σ =	56.13	80.78	36.63	349.38	167.75



(Imagen referencial)

8. Factor de seguridad al volteo

ΣMr= 349.38 ton.m
ΣMv= 167.75 ton.m

FSV = 2.08 > 2 (OK)

$$F_{sv} = \frac{\Sigma Mr}{\Sigma Mo}$$

$F_{sv} > 2$

9. Factor de seguridad al deslizamiento

ΣV= 80.78 ton
k1= 0.50
k2= 0.50
θ = 30.00 °
B= 7.00 m
C= 0.00 kg/cm2
Pp= 1.00 ton
Pa= 27.00 ton
α= 0.00 °

FSD = 1.76 > 1.5 (OK)

$$F_{sd} = \frac{(\Sigma V) \tan(k_1 \phi) + R k_2 C + P_p}{P_a \cos(\alpha)}$$

$F_{sd} > 1.5$

Donde:

F_{sd} = Factor de seguridad al deslizamiento

ΣV = Sumatoria de fuerzas verticales en Kn

k1 y k2 = $\frac{1}{2}$ a $\frac{3}{4}$

φ = Ángulo de fricción del suelo de cimentación

B = Ancho de la cimentación

C = Cohesión del suelo de cimentación

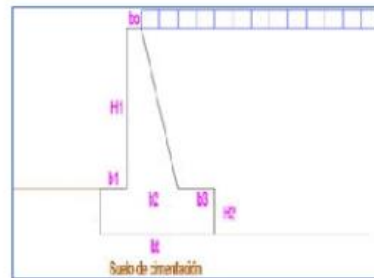
P_p = Empuje pasivo en Kn

P_a = Empuje activo en Kn

α = Ángulo de inclinación del terraplén en grados

5. Dimensiones finales del muro de defensa

Parámetro	Valor	Und
b0	0.5	m
b1	1.6	m
b2	0.9	m
b3	4.5	m
bt	7	m
H2	1	m
H1	8	m



(Imagen referencial)

- Estructura de concreto armado

Como resultado de los análisis hidráulicos, geotécnicos y estructurales desarrollados —que incluyen la estimación de la profundidad de socavación, la altura hidráulica de diseño, la geometría de la cimentación y la estabilidad global— se define la disposición geométrica final de la estructura de defensa ribereña tipo muro de concreto armado. La configuración adoptada considera una altura total de diseño del orden de 9.0 m, una altura hidráulica efectiva aproximada de 7.5 m, una zapata de cimentación de 7.0 m de ancho, y una profundidad de empotramiento de 1.0 m, garantizando un adecuado comportamiento frente a los empujes actuantes, el control de la socavación y la estabilidad estructural del sistema.

Protección antisocavante con enrocado

En el pie aguas abajo del muro se dispone una **protección antisocavante mediante enrocado**, conformada por material pétreo de tamaño medio **$D_m \approx 0.60$ m**, colocada sobre una longitud aproximada de **3.5 m**. Este elemento tiene como finalidad disipar la energía del flujo, proteger la base del muro frente a procesos de erosión local y controlar los efectos de una **profundidad de socavación estimada de hasta 0.80 m**, reduciendo el riesgo de exposición de la cimentación durante eventos de avenida.

Geotextil no tejido (200 g/m²)

Entre el enrocado de protección y el terreno natural se incorpora un geotextil no tejido de 200 g/m², el cual cumple funciones de filtro y separación, evitando la migración de finos del suelo hacia el enrocado, manteniendo la estabilidad hidráulica del sistema y favoreciendo el drenaje, lo que contribuye a disminuir presiones intersticiales y a prolongar la vida útil de la estructura.

Talud de relleno (1.5H:1V)

El relleno estructural posterior al muro se configura con un talud de pendiente 1.5H:1V, compatible con materiales de relleno compactado y condiciones geotécnicas habituales del área de estudio. Esta pendiente permite una adecuada transferencia de cargas hacia el terreno natural, mejora la estabilidad global del sistema muro–suelo y reduce la magnitud de los empujes actuantes sobre la pantalla del muro.

Talud de corte (2H:1V)

El talud de corte del terreno natural se ha definido con una pendiente 2H:1V, garantizando condiciones de estabilidad durante la excavación y la etapa de operación. Esta geometría minimiza el riesgo de deslizamientos superficiales y proporciona una transición segura entre el cauce y la estructura de defensa ribereña.

Funcionamiento integral

En conjunto, el **muro de concreto armado** ha sido diseñado para operar bajo un escenario hidráulico extremo correspondiente a un **período de retorno de 200 años**, asociado a un **caudal de diseño del orden de 1 250 m³/s**, para el cual se obtiene un **tirante máximo de flujo aproximado de 7.5 m** en el tramo de evaluación. El diseño incorpora una **profundidad de socavación estimada de 0.80 m**, la cual es controlada mediante el empotramiento de la zapata y la protección antisocavante con enrocado. La interacción entre la pantalla de concreto armado, la zapata de cimentación, el sistema de protección del pie, el geotextil filtrante y los taludes de relleno y corte permite **contener y encauzar el flujo sin desbordes**, disipar la energía hidráulica,

limitar los procesos erosivos y **garantizar la estabilidad hidráulica y estructural del sistema** frente a eventos de crecida de alta magnitud.

b. Alternativa 02: Muro de gaviones con uña antisocavante y enrocado (0+000-0+145)

La presente alternativa corresponde al diseño de una estructura de defensa ribereña tipo muro de gaviones, orientada a proteger la margen izquierda del cauce frente a procesos de erosión, socavación y desbordes asociados a eventos de crecida. Este tipo de solución estructural se caracteriza por su alta capacidad de disipación de energía, comportamiento flexible y permeabilidad, lo que permite un adecuado desempeño hidráulico y geotécnico incluso bajo condiciones de carga extrema. Asimismo, los muros de gaviones presentan ventajas en términos de durabilidad, facilidad constructiva, adaptabilidad al terreno y bajo mantenimiento, constituyéndose en una alternativa técnicamente eficiente y sostenible para la estabilización de márgenes fluviales y la reducción del riesgo hidráulico en el área de intervención.

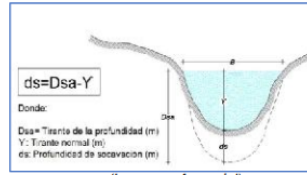
- ***Cálculo de la profundidad de socavación***

Con la finalidad de garantizar la estabilidad hidráulica y estructural de la defensa ribereña propuesta, se realiza el cálculo de la profundidad de socavación potencial asociada a los caudales de diseño. Este análisis permite estimar el descenso máximo del lecho del cauce durante eventos de avenida, obteniéndose una profundidad de socavación del orden de 0.80 m, la cual constituye un criterio fundamental para definir la profundidad de cimentación y la altura efectiva del muro de gaviones, asegurando un comportamiento seguro de la estructura frente a procesos erosivos.

CÁLCULO DE LA PROFUNDIDAD DE SOCAVACIÓN

1. DATOS

B =	95 m	Espejo de agua
Q =	1250 m ³ /s	Caudal máximo
Y =	7.5 m	Tirante normal
K _{sa} =	2	Factor de corrección
f =	6	Factor de Lacey



(Imagen referencial)

Factor de Lacey

Factor f de Lacey	
Material	Valor de f
Rocas masicas (Diametro 70cm)	40
Rocas	38
Pedrones y lajas	20
Piedras y lajas	6
Piedras pequeñas y gravas gruesas	4.7
Arenas gruesas	1.52
Arenas medias	1.3
Limos estandar	1
Limos finos	0.85

Fuente: Fórmula de Lacey (1930)

Factor de corrección K_{sa}

Factor de corrección K _{sa}	
Tramo recto/curvas moderadas	1.50
Ángulos rectos/curvas pronunciadas	2.00
Aguas arriba de las pilas	2.00
Aguas arriba de deflectores	2.50

Fuente: Fórmula de Lacey (1930)

Fórmula de Lacey $ds = 1.35 \left(\frac{q^2}{f} \right)^{1/3}$

q = Q/B = 13.2 m³/s/mm Caudal unitario

2. Cálculo de la altura de socavación

$ds = 1.35 \left(\frac{q^2}{f} \right)^{1/3}$
 ds = 4.1 m

Factor de corrección

$Dsa = ds * Ksa$

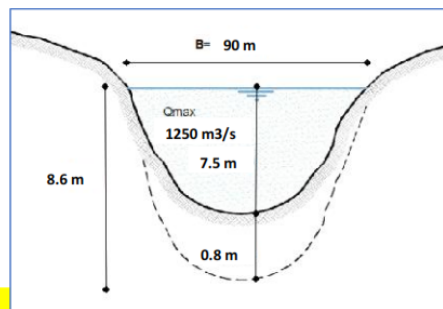
Dsa = 8.3 m

3. Cálculo de la profundidad de socavación

$Hs = Dsa - Y$

Hs = 0.8 m

Profundidad de socavación Hs = **0.8 m**



(Imagen referencial)

- **Cálculo de la altura de diseño del gavión**

Con el objetivo de definir una altura de diseño segura del muro de gaviones, se evalúa el efecto combinado del tirante máximo de flujo, la profundidad de socavación estimada y el borde libre hidráulico asociado a la energía del flujo. A partir de una velocidad media de 3.0 m/s, se obtuvo una energía de velocidad de 0.46 m y un borde libre de 0.64 m, resultando una altura de diseño del muro del orden de 9.0 m, valor que garantiza un adecuado encauzamiento del flujo y la estabilidad de la estructura frente a eventos de avenida.

CÁLCULO DE LA ALTURA DE DISEÑO DEL MURO DE DEFENSA RIBEREÑA

1. DATOS

V =	3 m/s	Velocidad media del flujo
h =	8.3 m	Tirante normal máximo + Profundidad de socavación
g =	9.81 m/s ²	Gravedad
cp =	1.4	Coefficiente en función de la descarga máxima

Coefficiente Ψ cálculo del borde libre del muro - encausamiento

Caudal Máximo m3/seg.	Coefficiente Ψ
3000 - 4000	2.00
2000 - 3000	1.70
1000 - 2000	1.40
500 - 1000	1.20
100 - 500	1.10
1 - 100	1.00

Fuente: Valores recomendados por Huaccachi F., (2019)

2. CÁLCULO DE ALTURA DE DISEÑO DEL GAVIÓN

Cálculo de la energía de velocidad

$$e = \frac{V^2}{2 \cdot g}$$

e = 0.46

Cálculo de la energía de velocidad

$$BL = \Psi \cdot e$$

BL = 0.64 m

Cálculo de la altura del muro

$$H = h + BL$$

H = 8.9 m

La altura de diseño del muro

H = **9.0 m**

- Cálculo de la base del gavión

Con la finalidad de asegurar la estabilidad al deslizamiento, volteo y socavación del muro de gaviones, se realiza el cálculo de la longitud de la base considerando el tirante máximo de diseño y la profundidad de socavación estimada. Como resultado del análisis, se adopta una base del muro de 7.5 m, dimensiones que garantizan una adecuada protección del pie de la estructura y un comportamiento estable frente a eventos de avenida.

CÁLCULO DE LA BASE Y COLCHÓN DEL GAVIÓN

1. DATOS

Hd =	7.5 m	Altura del caudal máximo
V =	30%	Porcentaje de vacíos
Sr =	2.67 t/m ³	Peso específico del elemento
Ø =	1 °	Inclinación de la estructura con la horizontal
Hs =	0.8 m	Profundidad de socavación


2. Cálculo de la longitud de la base del gavión

$$B = \frac{1}{2}(1 + H_T)$$

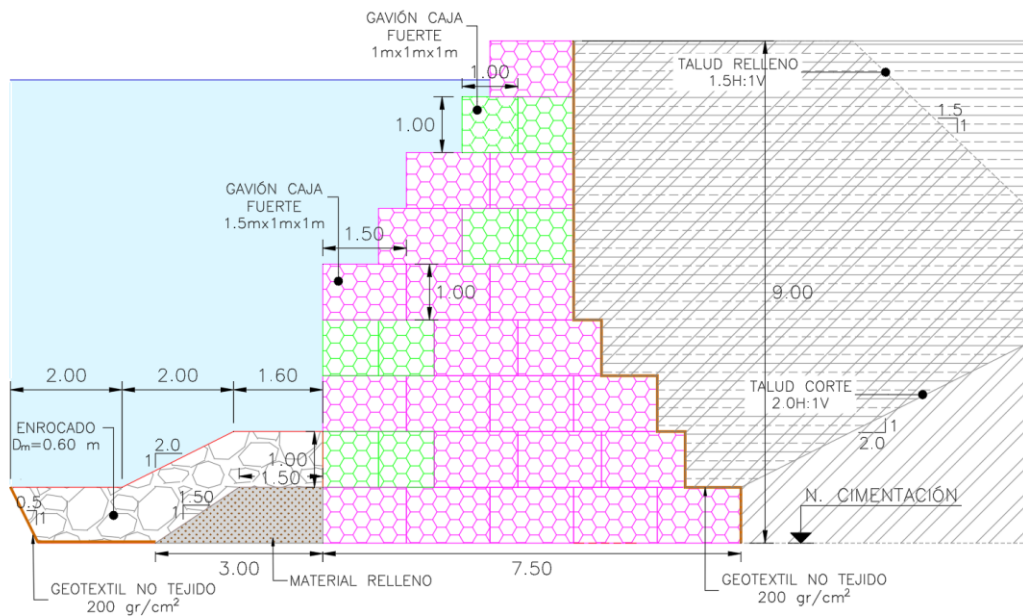
Dimensión de la base	Ab =	4.25 m
Adoptamos una base de	B =	7.5 m

- *Estructura de gaviones*

Como resultado de los **cálculos hidráulicos y geotécnicos desarrollados**: profundidad de socavación, altura de diseño del muro, longitud de base y protección en la base, se define la **disposición geométrica final de la estructura de defensa ribereña tipo muro de gaviones con uña antisocavante y enrocado**. La configuración adoptada integra una **altura total de diseño del orden de 9.0 m**, una **base aproximada de 7.5 m**, así como **enrocado de protección y material de relleno estructural**, permitiendo un adecuado encauzamiento del flujo, control de la socavación y estabilidad global del sistema. Esta disposición geométrica garantiza un **comportamiento hidráulico y estructural seguro** frente al caudal de diseño, asegurando la funcionalidad y durabilidad de la defensa ribereña propuesta.


LESLY STELLA
DE LA CRUZ MARCELO
INGENIERA CIVIL
Reg. CIP N° 151557

Propuesta de muro de gaviones en el tramo Tramo 1A-1 (0+000-0+145)



Fuente: Elaboración propia

Muro de gaviones (gavión caja fuerte 1.0×1.0×1.0 m y 1.5×1.0×1.0 m)

El muro principal está conformado por **gaviones tipo caja fuerte** de dimensiones **1.0×1.0×1.0 m** y **1.5×1.0×1.0 m**, dispuestos de manera **escalonada** para optimizar la estabilidad global y mejorar la disipación de energía del flujo. La estructura ha sido diseñada con una **altura hidráulica efectiva de 7.5 m**, a la cual se adiciona el **borde libre correspondiente** y una **profundidad de socavación estimada de 0.80 m**, alcanzando una **altura total de diseño del orden de 9.0 m**. Esta configuración permite resistir de forma segura los empujes hidráulicos, incrementar el peso estabilizador y garantizar un adecuado comportamiento frente a fenómenos de erosión y asentamientos diferenciales.

Enrocado de protección en la base

Adicionalmente, se incorpora un **enrocado de protección** en el frente y pie del muro de gaviones, conformado por bloques de roca con **diámetro medio del orden de 0.60 m**, cuya función principal es **reforzar la protección contra la erosión superficial y la socavación local**. El enrocado actúa como un elemento flexible de disipación de energía, reduciendo la velocidad del flujo cercano al fondo del cauce, especialmente durante crecidas de alta magnitud.

Geotextil no tejido (200 g/m²)

Entre la estructura de gaviones y el terreno natural se incorpora un geotextil no tejido de 200 g/m², el cual actúa como filtro y separador. Este elemento evita la pérdida de finos del suelo hacia el interior de los gaviones, mantiene la permeabilidad del sistema y contribuye al adecuado drenaje del relleno, reduciendo presiones intersticiales detrás del muro.

Material de relleno estructural

En la parte posterior del muro de gaviones se dispone un **material de relleno estructural seleccionado**, adecuadamente compactado, cuya función es **garantizar una correcta transferencia de cargas hacia el terreno natural** y limitar deformaciones diferenciales. Este relleno contribuye a la estabilidad global del sistema suelo - estructura y mejora el desempeño del muro frente a empujes laterales y acciones sísmicas e hidráulicas.

Talud de relleno (1.5H:1V)

El talud de relleno posterior, con pendiente 1.5H:1V, está diseñado para asegurar la estabilidad global del sistema, facilitando la transferencia progresiva de cargas hacia el terreno natural. Esta pendiente es compatible con suelos de relleno compactado y permite una adecuada interacción suelo–estructura.

Talud de corte (2H:1V)

El talud de corte aguas arriba, con pendiente 2H:1V, garantiza la estabilidad del terreno excavado, minimizando riesgos de deslizamientos superficiales y proporcionando una transición geométrica segura entre el cauce y la estructura de defensa ribereña.

Funcionamiento integral

En conjunto, la estructura de gaviones reforzada ha sido diseñada para operar bajo un **escenario hidráulico extremo correspondiente a un período de retorno de 200 años**, asociado a un **caudal de diseño de 1 250 m³/s**, para el cual se obtuvo un **tirante máximo de flujo del orden de 7.5 m** en el tramo de evaluación. Asimismo, el diseño considera una **profundidad de socavación estimada de 0.80 m**, la cual es controlada mediante la disposición conjunta del **enrocado de protección, el geotextil filtrante y la profundidad efectiva de la estructura**. La interacción de estos elementos permite **contener y encauzar el flujo sin desbordes**, disipar la energía hidráulica, limitar los procesos erosivos en la base y garantizar la **estabilidad hidráulica y estructural del sistema** frente a eventos de crecida de alta magnitud.

2. Tramo 1A-2: Mantenimiento de muro de concreto existente y enrocado en la base (0+145-0+160)

La presente propuesta corresponde al reforzamiento y mantenimiento de un muro de defensa ribereña de concreto existente de 6 metros de altura, mediante la ampliación del ancho de la zapata en 1.50 m y la incorporación de un enrocado de protección en la base, con la finalidad de mejorar su estabilidad estructural e hidráulica frente a eventos de crecida. Asimismo, se contempla la ejecución de acciones de mantenimiento preventivo y correctivo orientadas a preservar la integridad del concreto, prolongar la vida útil de la estructura existente y reducir el riesgo de falla progresiva por deslizamiento, volteo o socavación, manteniendo su funcionalidad como elemento de encauzamiento y protección ribereña.

- *Cálculo de enrocado de protección en la base*

Con la finalidad de proteger la cimentación del muro de defensa ribereña frente a procesos de erosión y socavación inducidos por el flujo durante eventos de avenida, se realiza el cálculo del enrocado de protección en la base, considerando la profundidad de socavación estimada y las condiciones hidráulicas de diseño. Como resultado del análisis, se adopta un ancho de protección de 2.0 m y un diámetro medio del enrocado del orden de 0.60 m, valores que garantizan la estabilidad del material frente a las velocidades de flujo previstas y aseguran una adecuada disipación de energía, contribuyendo a la protección efectiva del pie de la estructura.



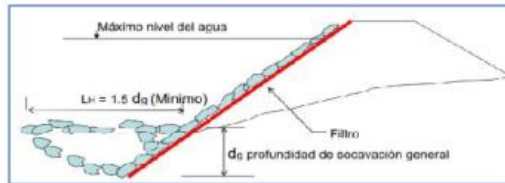
LESLY STELLA
DE LA CRUZ MARCELO
INGENIERA CIVIL
Reg. CIP N° 151557

CÁLCULO DE ENROCADO DE PROTECCIÓN EN LA BASE

1. Cálculo de la longitud de la base del gavión

$d_g = 0.8$ m Profundidad de socavación

Ancho de base enrocado $A_u = 1.2$ m
 Adoptamos una base de **$A_u = 2$ m**



2. Cálculo del diámetro de enrocado de protección

a. Método de Maynard

$y = 7.5$ m Profundidad de flujo
 $V = 3$ m/s Velocidad media del flujo
 $C_1 = 0.3$ Profundidad de socavación
 $C_2 = 1.5$

Valores recomendados de coeficientes C_1 y C_2

C_1	0.28	Fondo plano
	0.28	Talud 1V : 3H
	0.32	Talud 1V : 2H
C_2	1.5	Tramos en curva
	1.25	Tramos rectos
	2.0	Extremos de espigones

Número de Froude
 $F = 0.52$

$$d_{50} = C_1 (yF^3)$$

$$F = C_2 \left(\frac{V}{\sqrt{gy}} \right)$$

Diámetro medio enrocado de protección
 $d_{50} = 0.32$ m

b. Método de Isbach

$V = 3$ m/s Velocidad media del flujo
 $\gamma_r = 3$ t/m³ Densidad de roca
 $\gamma_a = 1$ t/m³ Densidad del agua

Número de Froude
 $K = 2.00$

$$K = \frac{\gamma_{roca} - \gamma_{agua}}{\gamma_{agua}}$$

Diámetro medio enrocado de protección
 $d_{50} = 0.88$ m

$$D_{50} = \frac{0.58823V}{K}$$

Diámetro medio de enrocado

Método	d_{50} (m)
Maynard	0.32
Isbach	0.88
Promedio	0.60

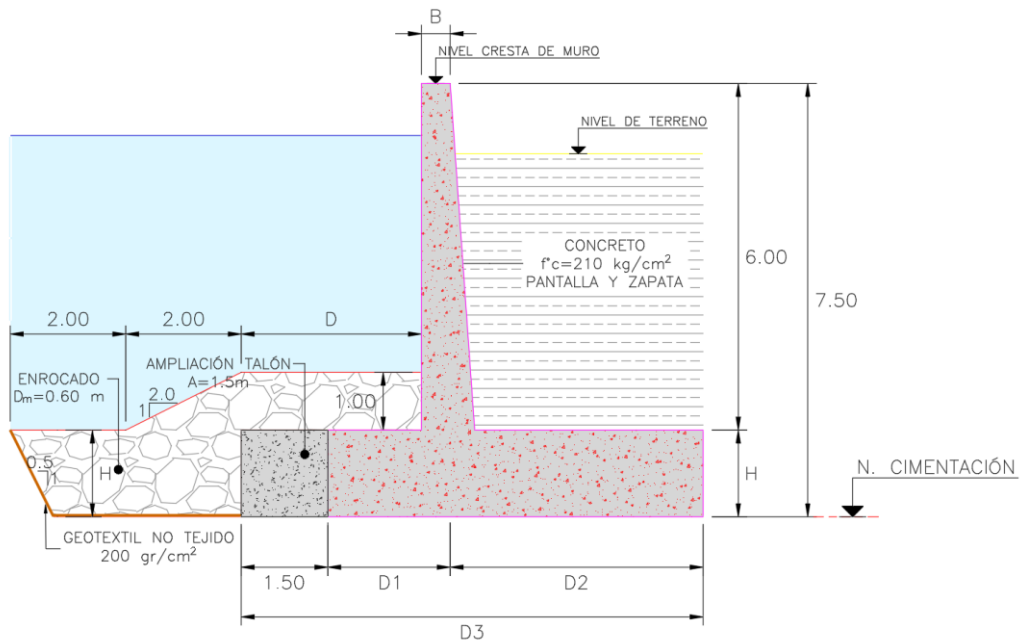
Adoptamos un diámetro medio de **0.6 m**

LESLY STELLA
 DE LA CRUZ MARCELO
 INGENIERA CIVIL
 Reg. CIP N° 151547

- **Mantenimiento y protección en la base de estructura de muro de concreto**

A partir de los resultados obtenidos en los cálculos hidráulicos y estructurales, asociados a la profundidad de socavación, condiciones de flujo y estabilidad de la estructura, se plantea la propuesta de mantenimiento y ampliación del muro de defensa ribereña de concreto existente. El análisis permitió definir la ampliación del ancho de la zapata en 1.50 m, así como la disposición de un enrocado de protección en la base con un ancho adoptado de 2.0 m y un diámetro medio de bloque del orden de 0.60 m, complementado con geotextil filtrante, para el control de la socavación. Adicionalmente, la propuesta contempla la ejecución de labores de mantenimiento preventivo y correctivo del muro existente, que incluyen la inspección estructural, sellado de fisuras, reparación localizada del concreto, reposición de recubrimientos y control de erosión en la base, con el objetivo de restablecer y mantener la capacidad estructural, prolongar la vida útil de la defensa ribereña y asegurar su adecuado desempeño frente a eventos de crecida.

Propuesta de ampliación de muro de concreto existente y enrocado en la base en el Tramo 1A-2 (0+145-0+160)



Fuente: Elaboración propia

Muro de concreto armado existente

El muro existente está conformado por pantalla y zapata de concreto armado con resistencia mínima a verificar de $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$, y una altura estructural aproximada de 6.0 m. Este elemento cumple la función principal de contención del flujo y del terreno adyacente, resistiendo los empujes hidráulicos durante eventos de avenida. La propuesta no altera la pantalla existente, sino que la refuerza mediante la ampliación de su base, mejorando su comportamiento global.

Ampliación de zapata (talón) – 1.50 m

La ampliación del talón de la zapata en 1.50 m hacia el lado del cauce incrementa el brazo resistente frente al volteo y mejora la estabilidad al deslizamiento, al aumentar el peso propio y la superficie de contacto con el terreno de fundación. Este refuerzo permite una redistribución más favorable de esfuerzos, reduciendo concentraciones de tensiones en la cimentación original y mejorando el desempeño estructural ante crecidas extremas.

Enrocado de protección en la base

En la base del muro se dispone un enrocado de protección, conformado por bloques de roca de diámetro medio $D_m \approx 0.60 \text{ m}$, cuya función principal es disipar la energía del flujo y proteger la cimentación frente a procesos de erosión y socavación local. El enrocado actúa como una defensa flexible, reduciendo la velocidad cerca del fondo del cauce y evitando la exposición directa de la zapata durante eventos de avenida.

Geotextil no tejido (200 g/m²)

Bajo el enrocado se incorpora un geotextil no tejido de 200 g/m², el cual cumple la función de filtro y separador, evitando la migración de finos del suelo hacia el enrocado y manteniendo la estabilidad del lecho. Este elemento garantiza la permeabilidad controlada del sistema, reduce la erosión interna y mejora el comportamiento a largo plazo de la protección basal.

Mantenimiento del muro de concreto existente

Como parte de la propuesta, se considera la ejecución de labores de mantenimiento preventivo y correctivo sobre el muro de concreto existente, orientadas a preservar su capacidad estructural y prolongar su vida útil. **Estas actividades incluyen la inspección y sellado de fisuras, reparación localizada de desprendimientos o nidos de grava, reposición de recubrimientos deteriorados, y limpieza de la superficie expuesta para eliminar material suelto o agentes agresivos.** Asimismo, se contempla **la verificación del estado de la cimentación y juntas, así como el control de posibles procesos de erosión en la base,** asegurando una adecuada interacción entre la estructura existente, la ampliación de la zapata y el enrocado de protección.

Funcionamiento integral

En conjunto, la estructura reforzada funciona como un sistema integral de defensa ribereña rígido–flexible, donde el muro de concreto existente proporciona la contención principal, la ampliación de la zapata mejora la estabilidad estructural global y el enrocado con geotextil controla los procesos de socavación y erosión en la base. Esta combinación permite encauzar el flujo de manera segura, reducir los esfuerzos transmitidos a la cimentación y garantizar un comportamiento estable y durable del muro frente a eventos de crecida de alta magnitud. Asimismo, el adecuado desempeño del sistema se complementa con la ejecución de labores periódicas de mantenimiento, tales como inspecciones estructurales, control y reposición del enrocado desplazado, limpieza de material sedimentado, sellado de fisuras y reparación localizada del concreto, asegurando la funcionalidad hidráulica y la vida útil de la defensa ribereña a lo largo del tiempo.

3. Tramo 2A-1: Mantenimiento del muro gavión existente [H = 6.0m] (0+160-0+464)

El mantenimiento de defensas ribereñas con gaviones debe enfocarse en asegurar la integridad del enmallado, la estabilidad geométrica del cuerpo del gavión y la protección del pie frente a socavación, debido a que la falla suele iniciarse por corrosión/rotura de malla, pérdida de confinamiento del enrocado o erosión en la base. En el Perú, guías metodológicas para obras de control/protección de inundaciones y manuales viales/hidráulicos incluyen el uso de gaviones y enrocados como medidas típicas y resaltan la necesidad de operación y conservación para mantener su desempeño hidráulico y estructural.

Actividades de mantenimiento recomendadas – análisis patológico

Mallas de acero y estado del enmallado

- Inspección visual de corrosión, roturas, aberturas, alambres sueltos y pérdida de galvanizado/PVC (si aplica).
- Reajuste y re-amarrado (lacing) de uniones entre gaviones contiguos y diafragmas internos; reposición de alambre de amarre donde falte. (La correcta “amarra” entre unidades es clave para el comportamiento monolítico del sistema).
- Parcheo con paños de malla equivalente (mismo tipo y resistencia) en zonas puntuales dañadas, asegurando traslapes y amarre perimetral.

Gaviones inclinados / deformaciones

- Verificación de desplomes, abombamientos, asentamientos diferenciales y desplazamientos longitudinales.
- Corrección mediante reconformación local (re-tensado y re-amarre), y reposición/reacomodo del enrocado interior donde haya vacíos.

Estado de la base: socavación, socavación puntual y pérdida de apoyo

- Levantamiento rápido post-avenida para identificar: socavación en el pie, cárcavas, erosión regresiva y exposición de la primera hilada.
- Relleno y reconfiguración del lecho/margen con material pétreo compatible, evitando finos sueltos que se remuevan fácilmente.
- Verificación de continuidad del filtro (geotextil o capa granular) para impedir erosión interna/piping. (El uso de geotextiles y criterios hidráulicos asociados se contempla en manuales del MTC).

Pérdida de piedra / degradación del relleno

- Reposición de roca donde exista pérdida de volumen, huecos o lavado de material fino.
- Control de granulometría: evitar piedra pequeña que migre y genere vacíos; preferir roca angulosa y resistente.

Condición del coronamiento y empalmes

- Revisar coronación: desniveles, apertura de juntas entre módulos, rotura de amarras en cresta.
- Re-amarre y reposición de tapas, garantizando confinamiento.

Vegetación y obstrucciones

- Retiro de vegetación leñosa que deforme la malla o genere empujes; mantener cobertura baja estabilizadora si no compromete la estructura.
- Limpieza de troncos, basura y sedimentos atrapados que incrementen empuje hidráulico local.

Frecuencia sugerida

- Inspección ordinaria: trimestral/semestral (según criticidad).
- Inspección extraordinaria: inmediatamente después de crecidas significativas (avenidas).
- (La lógica de conservación periódica se alinea con prácticas de mantenimiento/gestión de infraestructura hidráulica y vial del MTC).

Nota 01: *Si el mantenimiento evidencia condiciones críticas (pérdida de apoyo por socavación, inclinación progresiva, roturas extensas de malla, asentamientos mayores o lavado recurrente del pie), se recomienda la construcción del Colchón Antisocavante o un enrocado con una uña de 1.20m de profundidad como mínimo y 1.0m de altura [a la altura del primer nivel del gavión].*

Nota 02: *Los sectores que se encuentren con mallas rotas, gaviones muy deformados [deformación de 10° como máximo]. Estas deben ser retirados y cambiados por nuevos.*

4. Tramo 2A-2: Muro de gaviones con uña antisocavante y enrocado (0+854-1+034)

La presente propuesta corresponde al diseño de una estructura de defensa ribereña tipo muro de gaviones, orientada a proteger la margen izquierda del cauce frente a procesos de erosión, socavación y desbordes asociados a eventos de crecida. Este tipo de solución estructural se caracteriza por su alta capacidad de disipación de energía, comportamiento flexible y permeabilidad, lo que permite un adecuado desempeño hidráulico y geotécnico incluso bajo condiciones de carga extrema. Asimismo, los muros de gaviones presentan ventajas en términos de durabilidad, facilidad constructiva, adaptabilidad al terreno y bajo mantenimiento, constituyéndose en una alternativa técnicamente eficiente y sostenible para la estabilización de márgenes fluviales y la reducción del riesgo hidráulico en el área de intervención.

- *Cálculo de la profundidad de socavación*

Con la finalidad de garantizar la estabilidad hidráulica y estructural de la defensa ribereña propuesta, se realiza el cálculo de la profundidad de socavación potencial asociada a los caudales de diseño. Este análisis permite estimar el descenso máximo del lecho del cauce durante eventos de avenida, obteniéndose una profundidad de socavación del orden de 0.50 m, la cual constituye un criterio fundamental para definir la profundidad de cimentación y la altura efectiva del muro de gaviones, asegurando un comportamiento seguro de la estructura frente a procesos erosivos.

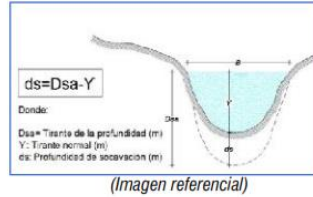


LESLY STELLA
DE LA CRUZ MARCELO
INGENIERA CIVIL
Reg. CIP N° 151557

CÁLCULO DE LA PROFUNDIDAD DE SOCAVACIÓN

1. DATOS

B =	120 m	Espejo de agua
Q =	1250 m ³ /s	Caudal máximo
Y =	6.6 m	Tirante normal
Ksa =	2	Factor de corrección
f =	6	Factor de Lacey



Factor de Lacey

Factor f de Lacey	
Material	Valor de f
Rocas masticas (Diametro 70cm)	40
Rocas	36
Pedrones y lajas	20
Piedras y lajas	6
Piedras pequeñas y gravas gruesas	4.7
Arenas gruesas	1.52
Arenas medias	1.3
Limos estandar	1
Limos finos	0.85

Fuente: Fórmula de Lacey (1930)

Factor de corrección Ksa

Factor de corrección Ksa	
Tramo recto/curvas moderadas	1.50
Angulos rectos/curvas pronunciadas	2.00
Aguas arriba de las pilas	2.00
Aguas arriba de deflectores	2.50

Fuente: Fórmula de Lacey (1930)

Fórmula de Lacey $ds = 1.35 \left(\frac{q^2}{f} \right)^{1/3}$

$q = Q/B = 10.4 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$ Caudal unitario

2. Cálculo de la altura de socavación

$ds = 1.35 \left(\frac{q^2}{f} \right)^{1/3}$
ds = 3.5 m

Factor de corrección

$Dsa = ds * Ksa$

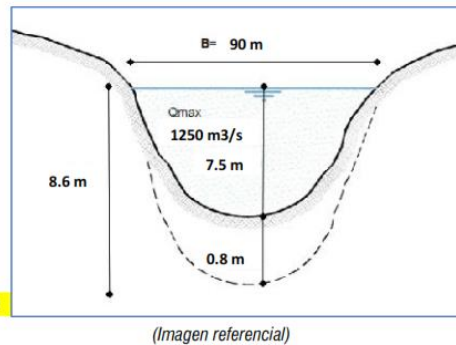
Dsa = 7.1 m

3. Cálculo de la profundidad de socavación

$Hs = Dsa - Y$

Hs = 0.5 m

Profundidad de socavación Hs = **0.5 m**



- Cálculo de la altura de diseño del gavión

Con el objetivo de definir una altura de diseño segura del muro de gaviones, se evalúa el efecto combinado del tirante máximo de flujo, la profundidad de socavación estimada y el borde libre hidráulico asociado a la energía del flujo. A partir de una velocidad media de 3.5 m/s, se obtuvo una energía de velocidad de 0.62 m y un borde libre de 0.87 m, resultando una altura de diseño del muro del orden de 8.0 m, valor que garantiza un adecuado encauzamiento del flujo y la estabilidad de la estructura frente a eventos de avenida.

CÁLCULO DE LA ALTURA DE DISEÑO DEL MURO DE DEFENSA RIBEREÑA

1. DATOS

V =	3.5 m/s	Velocidad media del flujo
h =	7.1 m	Tirante normal máximo + Profundidad de socavación
g =	9.81 m/s ²	Gravedad
φ =	1.4	Coefficiente en función de la descarga máxima

Coefficiente φ cálculo del borde libre del muro - encausamiento

Caudal Máximo m ³ /seg.	Coefficiente φ
3000 - 4000	2.00
2000 - 3000	1.70
1000 - 2000	1.40
500 - 1000	1.20
100 - 500	1.10
1 - 100	1.00

Fuente: Valores recomendados por Huaccachi F., (2019)

2. CÁLCULO DE ALTURA DE DISEÑO DEL GAVIÓN

Cálculo de la energía de velocidad

$$e = \frac{V^2}{2 \cdot g}$$

e = 0.62

Cálculo de la energía de velocidad

$$BL = \varphi \cdot e$$

BL = 0.87 m

Cálculo de la altura del muro

$$H = h + BL$$

H = 8.0 m

La altura de diseño del muro

H = **8.0 m**

- **Cálculo de la base del gavión**

Con la finalidad de asegurar la estabilidad al deslizamiento, volteo y socavación del muro de gaviones, se realiza el cálculo de la longitud de la base considerando el tirante máximo de diseño y la profundidad de socavación estimada. Como resultado del análisis, se adopta una base del muro de 6.5 m, dimensiones que garantizan una adecuada protección del pie de la estructura y un comportamiento estable frente a eventos de avenida.

CÁLCULO DE LA BASE Y COLCHÓN DEL GAVIÓN

1. DATOS

Hd =	6.6 m	Altura del caudal máximo
V =	30%	Porcentaje de vacíos
Sr =	2.67 t/m ³	Peso específico del elemento
Ø =	1 °	Inclinación de la estructura con la horizontal
Hs =	1 m	Profundidad de socavación

2. Cálculo de la longitud de la base del gavión

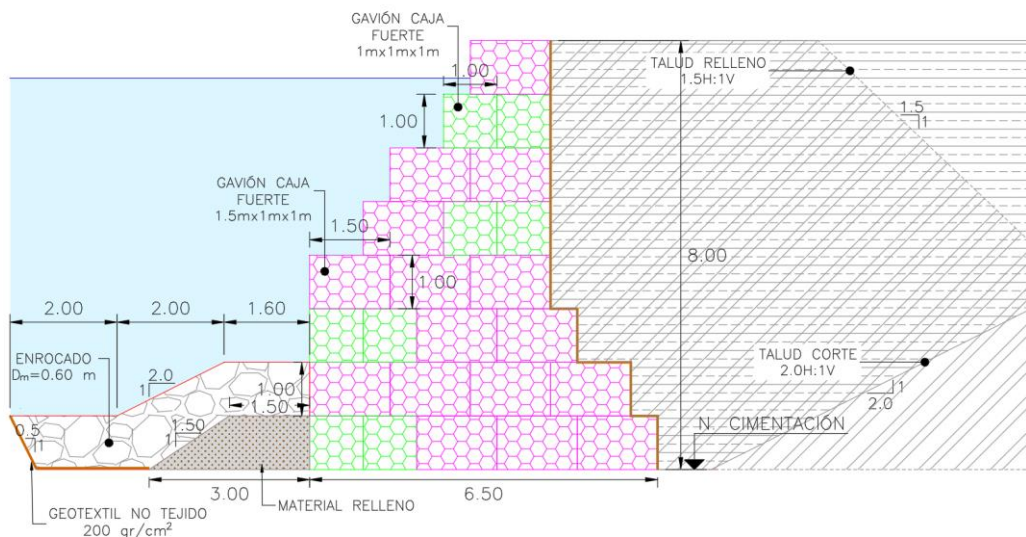
$$B = \frac{1}{2}(1 + H_T)$$

Dimensión de la base	Ab =	3.8 m
Adoptamos una base de	B =	6.5 m

- Estructura de gaviones

Como resultado de los **cálculos hidráulicos y geotécnicos desarrollados** —profundidad de socavación, altura de diseño del muro, longitud de base y protección basal— se define la **disposición geométrica final de la estructura de defensa ribereña tipo muro de gaviones con uña antisocavante y enrocado**. La configuración adoptada integra una **altura total de diseño del orden de 8.0 m**, una **base aproximada de 6.5 m**, así como **enrocado de protección y material de relleno estructural**, permitiendo un adecuado encauzamiento del flujo, control de la socavación y estabilidad global del sistema. Esta disposición geométrica garantiza un **comportamiento hidráulico y estructural seguro** frente al caudal de diseño, asegurando la funcionalidad y durabilidad de la defensa ribereña propuesta.

Propuesta de muro de gaviones en el tramo Tramo 2A-2 (0+854-1+034)



Fuente: Elaboración propia


LESLY STELLA
 DE LA CRUZ MARCELO
 INGENIERA CIVIL
 Reg. CIP N° 151547

Muro de gaviones (gavión caja fuerte 1.0×1.0×1.0 m y 1.5×1.0×1.0 m)

El muro principal está conformado por **gaviones tipo caja fuerte** de dimensiones **1.0×1.0×1.0 m** y **1.5×1.0×1.0 m**, dispuestos de manera **escalonada** para optimizar la estabilidad global y mejorar la disipación de energía del flujo. La estructura ha sido diseñada con una **altura hidráulica efectiva de 6.6 m**, a la cual se adiciona el **borde libre correspondiente** y una **profundidad de socavación estimada de 0.50 m**, alcanzando una **altura total de diseño del orden de 8.0 m**. Esta configuración permite resistir de forma segura los empujes hidráulicos, incrementar el peso estabilizador y garantizar un adecuado comportamiento frente a fenómenos de erosión y asentamientos diferenciales.

Enrocado de protección en la base

Adicionalmente, se incorpora un **enrocado de protección** en el frente y pie del muro de gaviones, conformado por bloques de roca con **diámetro medio del orden de 0.60 m**, cuya función principal es **reforzar la protección contra la erosión superficial y la socavación local**. El enrocado actúa como un elemento flexible de disipación de energía, reduciendo la velocidad del flujo cercano al fondo del cauce, especialmente durante crecidas de alta magnitud.

Geotextil no tejido (200 g/m²)

Entre la estructura de gaviones y el terreno natural se incorpora un geotextil no tejido de 200 g/m², el cual actúa como filtro y separador. Este elemento evita la pérdida de finos del suelo hacia el interior de los gaviones, mantiene la permeabilidad del sistema y contribuye al adecuado drenaje del relleno, reduciendo presiones intersticiales detrás del muro.

Material de relleno estructural

En la parte posterior del muro de gaviones se dispone un **material de relleno estructural seleccionado**, adecuadamente compactado, cuya función es **garantizar una correcta transferencia de cargas hacia el terreno natural** y limitar deformaciones diferenciales. Este relleno contribuye a la estabilidad global del sistema suelo–estructura y mejora el desempeño del muro frente a empujes laterales y acciones sísmicas e hidráulicas.

Talud de relleno (1.5H:1V)

El talud de relleno posterior, con pendiente 1.5H:1V, está diseñado para asegurar la estabilidad global del sistema, facilitando la transferencia progresiva de cargas hacia el terreno natural. Esta pendiente es compatible con suelos de relleno compactado y permite una adecuada interacción suelo–estructura.

Talud de corte (2H:1V)

El talud de corte aguas arriba, con pendiente 2H:1V, garantiza la estabilidad del terreno excavado, minimizando riesgos de deslizamientos superficiales y proporcionando una transición geométrica segura entre el cauce y la estructura de defensa ribereña.

Funcionamiento integral

En conjunto, la estructura de gaviones reforzada ha sido diseñada para operar bajo un **escenario hidráulico extremo correspondiente a un período de retorno de 200 años**, asociado a un **caudal de diseño de 1 250 m³/s**, para el cual se obtuvo un **tirante máximo de flujo del orden de 6.6 m** en el tramo de evaluación. Asimismo, el diseño considera una **profundidad de socavación estimada de 0.50 m**, la cual es controlada mediante la disposición conjunta del **enrocado de protección, el geotextil filtrante y la profundidad efectiva de la estructura**. La interacción de estos elementos permite **contener y encauzar el flujo sin desbordes**, disipar la energía hidráulica, limitar los procesos erosivos en la base y garantizar la **estabilidad hidráulica y estructural del sistema** frente a eventos de crecida de alta magnitud.

f. Áreas de intervención en los tramos de propuesta de medida estructural

El presente plano muestra la **delimitación espacial de las áreas de intervención correspondientes a la propuesta de medida estructural de defensa ribereña en el tramo de estudio del río Vilcanota**, elaborada a partir del análisis geomorfológico, hidráulico y del nivel de exposición de las infraestructuras existentes. La intervención se desarrolla a lo largo de una **longitud total aproximada de 644 m**, definida mediante progresivas continuas desde **0+000 hasta 1+034**, sobre la margen izquierda del cauce que presenta mayor susceptibilidad a procesos de erosión, socavación lateral y desbordes durante eventos de crecida. Con fines de ordenamiento técnico y constructivo, el tramo ha sido subdividido en **cuatro subtramos de intervención**, en función de la geometría del cauce, la topografía local y la concentración de áreas construidas expuestas al peligro hidráulico.

El **Tramo 1A–1** se extiende desde la progresiva **0+000 hasta 0+145** (L=145 m), abarcando un área de intervención de aproximadamente **2 260 m²**, correspondiente a un sector con **desborde inminente de flujo**, donde se requiere un encauzamiento y protección prioritaria. El **Tramo 1A–2**, comprendido entre las progresivas **0+145 y 0+160** (L=15 m), presenta un área de intervención reducida de aproximadamente **90 m²**, asociada a un **sector de transición geométrica y funcional** entre tramos, donde la medida estructural se ajusta a las condiciones locales del terreno. Finalmente, el **Tramo 2A–1** (L=304 m) se desarrolla desde la progresiva


LESLY STELLA
DE LA CRUZ MARCELO
INGENIERA CIVIL
Reg. CIP N° 151547

0+160 hasta 0+464, cubriendo un área de intervención del orden de **1 690 m²**, correspondiente a un **sector continuo de protección ribereña** orientado a garantizar la estabilidad del cauce, la protección de las áreas construidas colindantes y la continuidad hidráulica del sistema.

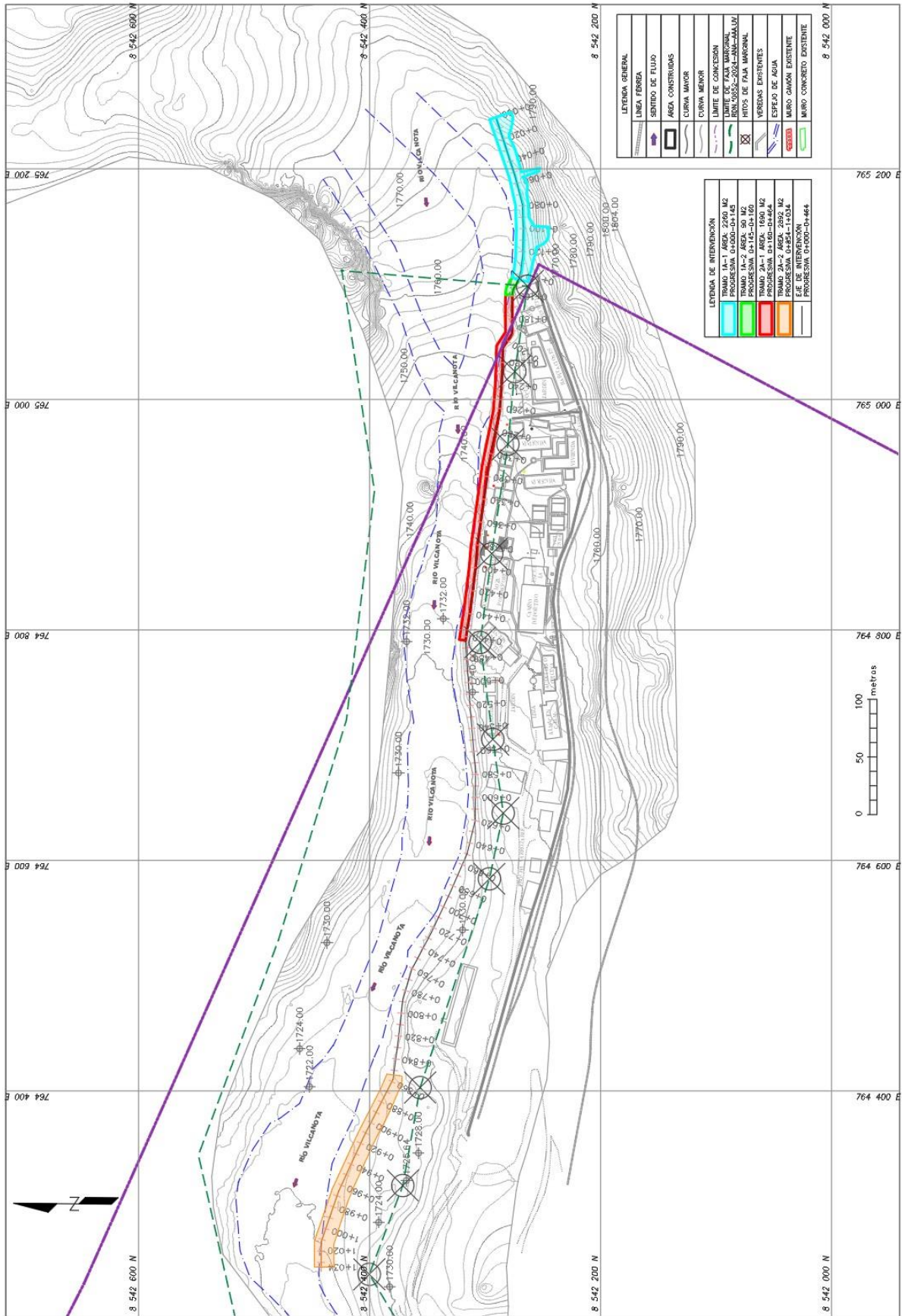
Adicionalmente, se identifica el **Tramo 2A-2**, que contiene las progresivas **0+854 y 1+034** (L=180 m), con un área de intervención aproximada de **2 892 m²**, correspondiente a un **sector crítico aguas abajo**, donde se ha evidenciado una alta susceptibilidad a procesos de erosión lateral, taludes y bancas bajos, por lo que se plantea la implementación de medidas estructurales destinadas a reforzar el encauzamiento del flujo y reducir el nivel de riesgo hidráulico en dicho tramo.

En conjunto, la zonificación presentada en el plano permite identificar con claridad la **extensión, ubicación y magnitud de la intervención propuesta**, constituyéndose en un insumo fundamental para la definición del diseño de la medida estructural, la programación de las etapas constructivas y la evaluación integral del riesgo hidráulico en el tramo de estudio del río Vilcanota.




LESLY STELLA
DE LA CRUZ MARCELO
INGENIERA CIVIL
Reg. CIP N° 151557

Áreas de intervención correspondientes a la propuesta de medida estructural de defensa ribereña en el tramo de estudio del río Vilcanota



Fuente: Elaboración propia


 LESLIE STELLA
 DE LA CRUZ MARCELO
 INGENIERA CIVIL
 Reg. CIP N° 151547

g. Material de llenado y cantera propuesta


Para la ejecución del muro de defensa ribereña de concreto armado, se emplearán materiales pétreos provenientes de canteras autorizadas, destinados a la elaboración del concreto estructural (agregados gruesos y finos), los cuales deberán cumplir con las exigencias técnicas establecidas en las normas vigentes en cuanto a resistencia, durabilidad, limpieza y estabilidad volumétrica. Los agregados serán preferentemente de origen triturado y de forma angulosa, a fin de garantizar una adecuada adherencia pasta-agregado y un óptimo comportamiento mecánico del concreto, asegurando el desempeño estructural del muro frente a las acciones hidráulicas y geotécnicas de diseño.

De acuerdo con la **Ley de Recursos Hídricos y su Reglamento**, así como con la **Resolución Directoral N.º 0852-2024-ANA-AAA.UV**, que aprueba y actualiza la **faja marginal del río Vilcanota** en el tramo correspondiente a la **Central Hidroeléctrica Machupicchu**, dicha faja constituye un bien de dominio público en el cual se encuentran prohibidas actividades que puedan alterar el cauce, tales como la extracción de material del lecho o de las riberas, ocupaciones permanentes o acciones antrópicas que modifiquen la dinámica fluvial. En ese sentido, **no resulta técnica ni normativamente viable la extracción de agregados del cauce o de las márgenes del río Vilcanota**, por lo que se descarta expresamente el uso de material de arrastre fluvial como fuente de suministro para la elaboración del concreto estructural.

Como alternativa, se consideran **canteras de roca y plantas de agregados existentes en la región Cusco**, ubicadas principalmente en el corredor vial **Cusco–Urubamba–Ollantaytambo** y dentro del área de influencia logística de **EGEMSA**, las cuales, de acuerdo con registros regionales y experiencia local, constituyen fuentes adecuadas de agregados para concreto, siempre que cuenten con la habilitación correspondiente y los permisos exigidos por la autoridad competente. El empleo de estas canteras permite asegurar la calidad del material, la trazabilidad del suministro y el cumplimiento del marco normativo ambiental y sectorial.

Los **agregados gruesos** empleados en la fabricación del concreto deberán presentar una granulometría controlada, resistencia adecuada al desgaste, ausencia de partículas friables o con planos de debilidad, y un tamaño máximo nominal compatible con el diseño estructural del muro y el espaciamiento del acero de refuerzo. Asimismo, los **agregados finos** deberán encontrarse libres de material orgánico o contaminantes, garantizando una mezcla homogénea, buena trabajabilidad y un adecuado desarrollo de la resistencia del concreto. En todos los casos, se realizarán los ensayos de control de calidad correspondientes, conforme a las especificaciones técnicas del proyecto.

Desde el punto de vista económico, el **costo de adquisición de agregados de cantera para concreto en la región Cusco** se sitúa típicamente en rangos del orden de **50 a 130 S/ por m³**, dependiendo del tipo de material, la granulometría requerida y la distancia a los centros de producción. Para el transporte



LESLY STELLA
DE LA CRUZ MARCELO
INGENIERA CIVIL
Reg. CIP N° 151547

hacia la **Central Hidroeléctrica Machupicchu (km 107)**, se toma como referencia la **Orden de Compra N.º 4500060582 de EGEMSA**, en la que se consigna un servicio de *transporte de carga de materiales* desde el centro poblado de **Pachar – Urubamba** hasta la represa de la central, con un costo de **S/ 3 162,00 por servicio**. En consecuencia, para efectos del **presupuesto referencial del presente estudio**, se estima que el **costo total del material pétreo puesto en obra** (compra en cantera más transporte hasta la zona de estudio) se sitúa en un rango aproximado de **100 a 200 S/ por m³ de agregados**, valor que resulta coherente con las condiciones logísticas y de mercado de la región.

h. Utilización de geotextiles

Cuando sea necesario realizar **cortes de talud para la construcción del muro de defensa ribereña de concreto armado**, se deberá disponer la instalación de un **geotextil con propiedades de filtración adecuadas**, con la finalidad de **impedir el paso de partículas finas del suelo**, evitar procesos de **erosión interna**, pérdida progresiva de material de la fundación y fenómenos de **piping** que puedan comprometer la estabilidad del sistema muro–suelo.

Asimismo, esta solución deberá proyectarse en la **zona del trasdós (espaldar) del muro de concreto armado**, particularmente en aquellos sectores donde se contemple la ejecución de **relleno posterior** y sistemas de drenaje. La incorporación del geotextil contribuye a **reducir la acumulación de presiones hidráulicas** detrás del muro, facilitando el drenaje controlado del agua y mejorando el comportamiento hidráulico–geotécnico de la estructura. Esta medida resulta especialmente relevante en **tramos curvos del cauce**, donde el impacto del flujo es más intenso, se incrementan los gradientes hidráulicos y aumenta la probabilidad de **erosión, socavación y sobrepresiones intersticiales**.

La **tipología y características del geotextil** a emplear deberán definirse en función de los resultados del **estudio geotécnico definitivo**, considerando la **granulometría del suelo**, la permeabilidad, el nivel freático y las condiciones hidráulicas propias del sector de intervención. Dicho análisis permitirá verificar la compatibilidad entre el geotextil y el material de relleno, asegurando el cumplimiento de los criterios de filtración y separación establecidos en la normativa técnica vigente.

No obstante, para efectos **referenciales del presente estudio**, se establece que el **geotextil no tejido** deberá cumplir, como mínimo, con las siguientes especificaciones técnicas:

- Gramaje mínimo: **300 g/m²**
- Material: **Polipropileno (PP) 100 %**, punzonado con aguja y estabilizado contra radiación UV


LESLY STELLA
DE LA CRUZ MARCELO
INGENIERA CIVIL
Reg. CIP N° 151557

- Función principal: **Filtración y separación entre el terreno natural, el relleno posterior y la estructura del muro de concreto armado, evitando la migración de finos, manteniendo la estabilidad del relleno y permitiendo el libre drenaje del agua hacia los sistemas de evacuación previstos (drenes, filtros o material granular).**

Tabla 4.1 Requerimientos mínimos de propiedades mecánicas del Geotextil (Medidos en el sentido más débil del Geotextil)

Propiedad	Unidad	Norma de ensayo	Valor mínimo promedio por rollo (vmpr) ⁽¹⁾	Valor mínimo promedio por rollo (vmpr) ⁽¹⁾
Elongación medida	%		Elongación <50 ⁽²⁾	Elongación ≥ 50 ⁽³⁾
Resistencia a la tensión (grab)	N	ASTM D4632	1400	900
Resistencia a la costura	N	ASTM D4632	1260	810
Resistencia al rasgado trapezoidal	N	ASTM D4533	500	350
Resistencia al punzonamiento CBR	N	ASTM D6241	2750	1925

i. Costos estimados

El presente **presupuesto de la propuesta de medida estructural en el tramo de estudio del río Vilcanota** ha sido elaborado con la finalidad de estimar, a nivel referencial, los costos asociados a la intervención en **cuatro tramos críticos previamente evaluados**, los cuales presentan condiciones de alta susceptibilidad a procesos de erosión, socavación y afectación directa a infraestructuras existentes. La estructuración del presupuesto responde a la zonificación del área de intervención y a la tipología de las medidas propuestas, permitiendo una valoración diferenciada por tramo y por tipo de solución estructural.

Para el **Tramo 1A-1**, considerado el sector más crítico del área de estudio por su extensión, geometría hidráulica y nivel de exposición frente a eventos extremos, se han desarrollado **dos alternativas de solución estructural**, ambas orientadas al encauzamiento del flujo y a la protección efectiva de la margen vulnerable del cauce. La **Alternativa 01** corresponde a la construcción de un **muro de concreto armado**, cuyo presupuesto referencial asciende a **S/ 1 803 538,45**,

Esta solución contempla trabajos de excavación, concreto armado, encofrados, acero de refuerzo, concreto ciclópeo y geotextiles, constituyéndose en una alternativa de mayor rigidez estructural y menor requerimiento de mantenimiento, adecuada para sectores donde se busca un control geométrico más estricto del cauce.

La **Alternativa 02** para el Tramo 1A-1 corresponde a la ejecución de un **muro de gaviones con uña antisocavante y enrocado** con un presupuesto estimado de **S/ 1 228 942,50**. considerando trabajos de movimiento de tierras, gaviones de protección, colchón antisocavante, enrocado, geotextiles y obras complementarias. Esta alternativa se caracteriza por su comportamiento flexible, capacidad de disipación de energía y adaptabilidad a deformaciones diferenciales del terreno.

El **Tramo 1A-2** comprende el **mantenimiento y reforzamiento puntual de un muro de concreto existente**, con un área de intervención aproximada de 90 m², para el cual se ha estimado un presupuesto referencial de **S/ 89 857,88**. Las actividades consideradas están orientadas a restituir la funcionalidad estructural del muro, corregir deterioros localizados y prolongar su vida útil frente a los esfuerzos hidráulicos asociados a eventos de crecida.

Por su parte, el **Tramo 2A-1** corresponde al **mantenimiento de un muro de gaviones existente**, con un área aproximada de 1 377,5 m² y un costo referencial de **S/ 123 975,00**, enfocado en la rehabilitación del enmallado, reposición de material pétreo, aseguramiento geométrico de los gaviones y conservación de la estabilidad del sistema frente a procesos erosivos. Asimismo, el **Tramo 2A-2** contempla la **construcción de un muro de gaviones con uña antisocavante y enrocado**, cuyo presupuesto estimado asciende a **S/ 1 347 921,00**, incorporando excavaciones, rellenos, gaviones de protección, colchón antisocavante, geotextiles y concreto simple.

Los **costos unitarios empleados** han sido **referenciados a valores de mercado vigentes**, tomando como base información técnica y económica de la **Revista Costos – edición 2025**, así como precios usuales observados en obras similares ejecutadas en la región Cusco, lo que permite contar con una estimación coherente y representativa a nivel de estudio preliminar.


Se han elaborado dos presupuestos independientes con la finalidad de **representar las dos alternativas de solución estructural propuestas para el Tramo 1A-1**: muro de concreto armado y muro de gaviones con uña antisocavante y enrocado, y **permitir una comparación económica directa** entre ambas opciones. De la comparación de los montos totales de inversión se observa que el **presupuesto 02**, que contiene la alternativa 02 (muro de gaviones con uña antisocavante y enrocado) presenta un **monto total aproximado de S/ 5 051 988,38**, mientras que el **presupuesto 01 que contiene la alternativa 01 (muro de concreto armado) alcanza un monto del orden de S/ 6 088 088,12**, lo que representa una **diferencia económica aproximada de S/ 1 036 099,74**. Este resultado pone en evidencia que, desde un punto de vista estrictamente económico, la alternativa 02 con muro de gaviones con uña antisocavante y enrocado resulta más conveniente al requerir una menor inversión inicial; no obstante, la

selección final de la solución deberá sustentarse en una evaluación integral que incorpore criterios hidráulicos, geotécnicos, estructurales, de durabilidad, mantenimiento y comportamiento ante eventos extremos.

Cabe señalar que el presente presupuesto tiene **carácter referencial**, por lo que los costos aquí consignados **podrán variar durante el desarrollo del expediente técnico definitivo**, en función de la profundización de los estudios geotécnicos, hidráulicos y estructurales, la definición final de metrados, la logística de transporte de materiales, las condiciones específicas de obra y las actualizaciones del mercado. No obstante, el presupuesto presentado constituye una base técnica sólida para la **evaluación económica de la medida estructural propuesta** y para la toma de decisiones en etapas posteriores del proyecto.

Cuadro N°104: Presupuesto 01, estimados de los sectores evaluados considerando la alternativa 1 en Tramo 1A-1

Ítem	Descripción	Und	Metrado	Precio (S./.)	Parcial (S./.)
1	TRABAJOS PRELIMINARES Y PROVISIONALES				11000.00
1.1	MOVILIZACIÓN Y DESMOVILIZACIÓN DE EQUIPO	Glb	1	10000	10000.00
1.2	CARTEL DE IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA	Glb	1	1000	1000.00
TRAMO 1A-1 (MURO DE CONCRETO ARMADO)					1803538.45
2	MOVIMIENTO DE TIERRAS				24662.50
2.1	TRAZO Y REPLANTEO	m2	2260	2.5	5650.00
2.2	EXCAVACIÓN DE MATERIAL DE TERRENO	m3	1900	6	11400.00
2.3	REFINE, NIVELACIÓN Y COMPACTACIÓN MANUAL	m2	1522.5	5	7612.50
3	MURO CONCRETO ARMADO				1344405.20
3.1	ENCOFRADO	m2	4509.5	55	248022.50
3.2	ACERO CORRUGADO FY=4200KG/CM2	kg	18.27	10	182.70
3.3	CONCRETO FC=210KG/CM2	m3	1827	600	1096200.00
4	ENROCADO				434470.75
4.1	CONCRETO CICLOPEO	m3	920.75	461	424465.75
4.2	GEOTEXTIL NO TEJIDO 200 GR/CM2	m2	667	15	10005.00
TRAMO 1A-2 (MANTENIMIENTO DE MURO DE CONCRETO EXISTENTE)					89857.88
5	MOVIMIENTO DE TIERRAS				1638.75
5.1	TRAZO Y REPLANTEO	m2	90	2.5	225
5.2	EXCAVACIÓN DE MATERIAL DE TERRENO	m3	176.25	6	1057.5
5.3	REFINE, NIVELACIÓN Y COMPACTACIÓN MANUAL	m2	71.25	5	356.25
6	CONCRETO ARMADO				21078.38
6.1	ENCOFRADO	m2	15	55	825
6.2	ACERO CORRUGADO FY=4200KG/CM2	kg	0.3375	10	3.375
6.3	CONCRETO FC=210KG/CM2	m3	33.75	600	20250
7	ENROCADO				67140.75
7.1	CONCRETO CICLOPEO	m3	143.25	461	66038.25
7.2	GEOTEXTIL NO TEJIDO 200 GR/CM2	m2	73.5	15	1102.5
TRAMO 2A-1 (MANTENIMIENTO DE MURO GAVIONES EXISTENTE)					123975.00
8	MANTENIMIENTO				123975.00
8.1	MANTENIMIENTO DE MURO DE GAVIONES	m2	1377.5	90	123975



 LESLIE STELLA
 DE LA CRUZ MARCELO
 INGENIERA CIVIL
 Reg. CIP N° 151547

Ítem	Descripción	Und	Metrado	Precio (S./)	Parcial (S./)
TRAMO 2A-2 (MURO DE GAVIONES CON UÑA ANTISOCAVANTE Y ENROCADO)					1347921.00
9	MOVIMIENTO DE TOIERRAS				
9.01	CONTROL DE NIVELES DURANTE LA EJECUCION DE OBRA	m2	1710	2.5	4275
9.02	EXCAVACION DE ZANJAS PARA GAVIONES DE PROTECCION	m3	855	6	5130
9.03	EXCAVACION DE ZANJAS PARA COLCHON ANTISOCAVANTE	m3	1197	6	7182
9.04	RELLENO Y COMPACTACION DE BASE DE GAVIONES	m2	1710	60	102600
9.05	NIVELACION Y COMPACTACION DE BASE DE GAVIONES	m2	1710	5	8550
10	GAVIONES DE PROTECCION				0
10.01	CARGUIO Y TRASPORTE DE PIEDRAS PARA GAVIONES HASTA OBRA	m3	9720	45.2	439344
10.02	SUMINISTRO E INSTALACION DE GAVIONES COLCHON RENO	und	120	950	114000
10.03	SUMINISTRO E INSTALACION GAVIONES CAJA 5X1X1	und	120	980	117600
10.04	SUMINISTRO E INSTALCION GAVIONES CAJA 5X.51X1	und	140	1200	168000
10.05	NIVELACION Y TEJIDO DE CIERRE DE GAVIONES	m	180	15.5	2790
10.06	SUMINISTRO E INSTALCION DE GEOTEXTIL	m2	1710	15	25650
11	CONCRETO SIMPLE				0
11.01	CONCRETO FC=100 KG/CM2 + PIEDRA GRANDE	m3	1008	350	352800
	COSTO DIRECTO				S/ 3,376,292.33
	GASTOS GENERALES (15%)				S/ 506,443.85
	UTILIDAD (10%)				S/ 337,629.23
	SUB TOTAL				S/ 4,220,365.41
	IGV				S/ 759,665.77
	SUB TOTAL DE OBRAS CIVILES				S/ 4,980,031.18
	EXPEDIENTE TECNICO				S/ 747,004.68
	SUPERVISION DE EXPEDIENTE TECNICO				S/ 4,980.03
	SUPERVISOR DE OBRA				S/ 348,602.18
	PLAN DE MANTENIMIENTO DE INFRAESTRUCTURA				S/ 7,470.05
	MONTO DE INVERSION				S/ 6,088,088.12

Fuente: Equipo técnico evaluador

Cuadro N°105: Presupuesto 02, estimados de los sectores evaluados – Alternativa 2 en Tramo 1A-1

PRESUPUESTO DE MEDIDA ESTRUCTURAL EN TRAMOS DE INTERVENCIÓN DEL RÍO VILCANOTA					
Ítem	Descripción	Und	Metrado	Precio (S./)	Parcial (S./)
1	TRABAJOS PRELIMINARES Y PROVISIONALES				11000.00
1.1	MOVILIZACIÓN Y DESMOVILIZACIÓN DE EQUIPO	Glb	1	10000	10000.00
1.2	CARTEL DE IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA	Glb	1	1000	1000.00
TRAMO 1A-1 (MURO DE GAVIONES CON UÑA ANTISOCAVANTE Y ENROCADO)					1228942.50
2	MOVIMIENTO DE TIERRAS				
2.01	CONTROL DE NIVELES DURANTE LA EJECUCION DE OBRA	m2	2260	2.5	5650.00
2.02	EXCAVACION DE ZANJAS PARA GAVIONES DE PROTECCION	m3	1900	6	11400.00
2.03	EXCAVACION DE ZANJAS PARA COLCHON ANTISOCAVANTE	m3	950	6	5700.00
2.04	RELLENO Y COMPACTACION DE BASE DE GAVIONES	m2	2260	60	135600.00
2.05	NIVELACION Y COMPACTACION DE BASE DE GAVIONES	m2	2260	5	11300.00
3	GAVIONES DE PROTECCION				0.00
3.01	CARGUIO Y TRASPORTE DE PIEDRAS PARA GAVIONES HASTA OBRA	m3	8700	45.2	393240.00
3.02	SUMINISTRO E INSTALACION DE GAVIONES COLCHON RENO	und	110	950	104500.00


 LESLIE STELLA
 DE LA CRUZ MARCELO
 INGENIERA CIVIL
 Reg. CIP N° 151547

PRESUPUESTO DE MEDIDA ESTRUCTURAL EN TRAMOS DE INTERVENCIÓN DEL RÍO VILCANOTA					
Ítem	Descripción	Und	Metrado	Precio (S/.)	Parcial (S/.)
3.03	SUMINISTRO E INSTALCION GAVIONES CAJA 5X1X1	und	110	980	107800.00
3.04	SUMINISTRO E INSTALCION GAVIONES CAJA 5X.51X1	und	120	1200	144000.00
3.05	NIVELACION Y TEJIDO DE CIERRE DE GAVIONES	m	145	15.5	2247.50
3.06	SUMINISTRO E INSTALCION DE GEOTEXTIL	m2	667	15	10005.00
4	CONCRETO SIMPLE				0.00
4.01	CONCRETO FC=100 KG/CM2 + PIEDRA GRANDE	m3	850	350	297500.00
TRAMO 1A-2 (MANTENIMIENTO DE MURO DE CONCRETO EXISTENTE)					89857.88
5	MOVIMIENTO DE TIERRAS				1638.75
5.1	TRAZO Y REPLANTEO	m2	90	2.5	225
5.2	EXCAVACIÓN DE MATERIAL DE TERRENO	m3	176.25	6	1057.5
5.3	REFINE, NIVELACIÓN Y COMPACTACIÓN MANUAL	m2	71.25	5	356.25
6	CONCRETO ARMADO				21078.38
6.1	ENCOFRADO	m2	15	55	825
6.2	ACERO CORRUGADO FY=4200KG/CM2	kg	0.3375	10	3.375
6.3	CONCRETO FC=210KG/CM2	m3	33.75	600	20250
7	ENROCADO				67140.75
7.1	CONCRETO CICLOPEO	m3	143.25	461	66038.25
7.2	GEOTEXTIL NO TEJIDO 200 GR/CM2	m2	73.5	15	1102.5
TRAMO 2A-1 (MANTENIMIENTO DE MURO GAVIONES EXISTENTE)					123975.00
8	MANTENIMIENTO				123975.00
8.1	MANTENIMIENTO DE MURO DE GAVIONES	m2	1377.5	90	123975
TRAMO 2A-2 (MURO DE GAVIONES CON UÑA ANTISOCAVANTE Y ENROCADO)					1347921.00
9	MOVIMIENTO DE TOIERRAS				
9.01	CONTROL DE NIVELES DURANTE LA EJECUCION DE OBRA	m2	1710	2.5	4275
9.02	EXCAVACION DE ZANJAS PARA GAVIONES DE PROTECCION	m3	855	6	5130
9.03	EXCAVACION DE ZANJAS PARA COLCHON ANTISOCAVANTE	m3	1197	6	7182
9.04	RELLENO Y COMPACTACION DE BASE DE GAVIONES	m2	1710	60	102600
9.05	NIVELACION Y COMPACTACION DE BASE DE GAVIONES	m2	1710	5	8550
10	GAVIONES DE PROTECCION				0
10.01	CARGUIO Y TRASPORTE DE PIEDRAS PARA GAVIONES HASTA OBRA	m3	9720	45.2	439344
10.02	SUMINISTRO E INSTALACION DE GAVIONES COLCHON RENO	und	120	950	114000
10.03	SUMINISTRO E INSTALCION GAVIONES CAJA 5X1X1	und	120	980	117600
10.04	SUMINISTRO E INSTALCION GAVIONES CAJA 5X.51X1	und	140	1200	168000
10.05	NIVELACION Y TEJIDO DE CIERRE DE GAVIONES	m	180	15.5	2790
10.06	SUMINISTRO E INSTALCION DE GEOTEXTIL	m2	1710	15	25650
11	CONCRETO SIMPLE				0
11.01	CONCRETO FC=100 KG/CM2 + PIEDRA GRANDE	m3	1008	350	352800
	COSTO DIRECTO				S/ 2,801,696.38
	GASTOS GENERALES(15%)				S/ 420,254.46
	UTILIDAD(10%)				S/ 280,169.64
	SUB TOTAL				S/ 3,502,120.47
	IGV				S/ 630,381.68
	SUB TOTAL DE OBRAS CIVILES				S/ 4,132,502.15
	EXPEDIENTE TECNICO				S/ 619,875.32


 LESLIE STELLA
 DE LA CRUZ MARCELO
 INGENIERA CIVIL
 Reg. CIP N° 151547

PRESUPUESTO DE MEDIDA ESTRUCTURAL EN TRAMOS DE INTERVENCIÓN DEL RÍO VILCANOTA					
Ítem	Descripción	Und	Metrado	Precio (S/.)	Parcial (S/.)
	SUPERVISION DE EXPEDIENTE TECNICO				S/ 4,132.50
	SUPERVISOR DE OBRA				S/ 289,275.15
	PLAN DE MANTENIMIENTO DE INFRAESTRUCTURA				S/ 6,198.75
	MONTO DE INVERSION				S/ 5,051,983.88

Fuente: Equipo técnico evaluador

7.1.2. MEDIDAS DE ORDEN NO ESTRUCTURAL

Las medidas no estructurales permitirán a la población y/o trabajadores de la hidroeléctrica mejorar sus capacidades ante la ocurrencia de inundación fluvial, permitiéndoles tomar las acciones preventivas necesarias para mantenerse alerta ante posibles eventos de este tipo.

Por lo tanto, con el fin de reducir los daños futuros, se recomienda implementar las siguientes medidas:

7.1.2.1. Medidas de prevención

✓ Fortalecer la cultura de prevención de riesgos – capacitaciones


Fortalecer la cultura de prevención y el aumento de la resiliencia mediante la realización de capacitaciones en temática de gestión de riesgo, así como la realización de simulacros que permitan al poblador que acude a las instalaciones de complejo sepan cómo actuar en caso de un algún peligro de origen natural y/o antrópico.

✓ Elaborar planes de prevención y reducción de riesgos de desastres

Elaborar el Plan de Prevención y Reducción de Riesgos de desastres en todo el distrito incluyendo zonas de alto riesgo como las evaluadas en el presente informe, según lo establece el Art. 39.1. del Reglamento de la Ley 29664, entre otros instrumentos del Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de desastres.

✓ Señalización de zonas seguras y rutas de evacuación ante inundaciones

Se recomienda como medida de prevención frente a inundaciones, identificar y colocar la señal de zonas seguras y rutas de evacuación según la guía técnica de estandarización de señales de seguridad aprobada con RM. N° 382-2017-PCM y la NTP 399.010-1, así como elaborar los planos de evacuación e implementar la señalética respectiva, colocarlas en un lugar visible indicando las vías de evacuación las cuáles deben estar en todo momento despejadas.



LESLY STELLA
DE LA CRUZ MARCELO
INGENIERA CIVIL
Reg. CIP N° 151547

ZONA SEGURA



COLOR
Verde y blanco.

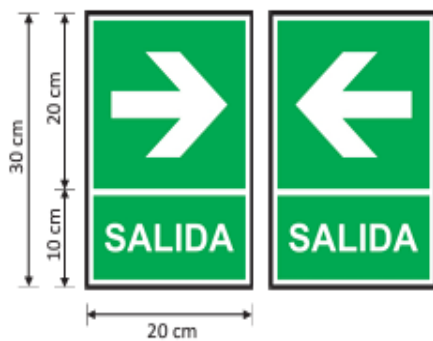
LEYENDA
"ZONA SEGURA EN CASOS DE SISMOS".

MEDIDAS
Se adecúan al tipo de edificación y deben ser proporcionales al modelo original de 30 x 20 cm.



Orienta sobre la ubicación de zonas de mayor seguridad dentro de una edificación, en caso que no sea posible una inmediata y segura evacuación al exterior.

RUTA DE EVACUACIÓN



COLOR Flechas de color blanco sobre fondo verde.

LEYENDA SALIDA

MEDIDAS Se adecúan al tipo de edificación y deben ser proporcionales al modelo original de 30 x 20 cm.

Son flechas que indican el camino hacia las zonas de seguridad internas y externas.

Se ubicarán en lugares visibles para identificar las rutas de evacuación.

✓ Monumentación y el mantenimiento periódico de hitos

Ejecutar la monumentación y el mantenimiento periódico de hitos georreferenciados en la faja marginal del río Vilcanota, específicamente en el tramo adyacente a la infraestructura de la Empresa de Generación Eléctrica Machupicchu S.A. (EGEMSA) en el Km 122. Esta intervención se fundamenta en la Ley de Recursos Hídricos (Ley N° 29338) y el marco normativo de la Autoridad Nacional del Agua (ANA), con el propósito de garantizar la intangibilidad del dominio público hidráulico y mitigar los riesgos hidrológicos asociados a la dinámica fluvial del área.

7.1.2.2. Medidas de reducción

✓ Cumplimiento de la normativa del RNE

De proceder con la implementación de las medidas estructurales, deberán cumplir con el diseño de acuerdo a la norma vigente del Reglamento Nacional de Edificaciones vigente que coadyuven a disminuir el nivel de vulnerabilidad en las instalaciones de la empresa de generación eléctrica Machupicchu S.A. – EGEMSA (KM122).

✓ Elaboración de informe de gestión de riesgos para la ejecución de obras

De proceder con la implementación de las medidas estructurales se recomienda a la empresa ejecutora elaborar un informe de gestión y ejecución de obra para identificar, analizar y dar respuesta a los riesgos que se pueden generar durante su ejecución con la finalidad de asignar los riesgos a las partes que presenten la mejor capacidad para administrar el riesgo presentado.

✓ Gestionar acciones para el mantenimiento constante de las obras para reducción e instalaciones de la empresa de generación eléctrica Machupicchu S.A. – EGEMSA (KM122)

Se recomienda realizar un control e inspección permanente de las obras de reducción de riesgos y las instalaciones de empresa de generación eléctrica Machupicchu S.A. – EGEMSA (KM122)., con el fin de identificar algún peligro que pueda afectar, debido a que la ubicación del proyecto lo hace vulnerable ante diferentes peligros de origen natural.

✓ Implementar botiquín y equipos de primeros auxilios

Implementar botiquín de primeros auxilios, camillas, megáfonos y mochilas de emergencia una en la en aquellas infraestructuras donde haya presencia de personal de manera frecuente y la población aledaña, para una adecuada comunicación ante flujo de detritos.

✓ Diversificación de Rutas de Acceso

Reduce la vulnerabilidad logística al garantizar la accesibilidad y evacuación incluso si la ruta principal se bloquea.

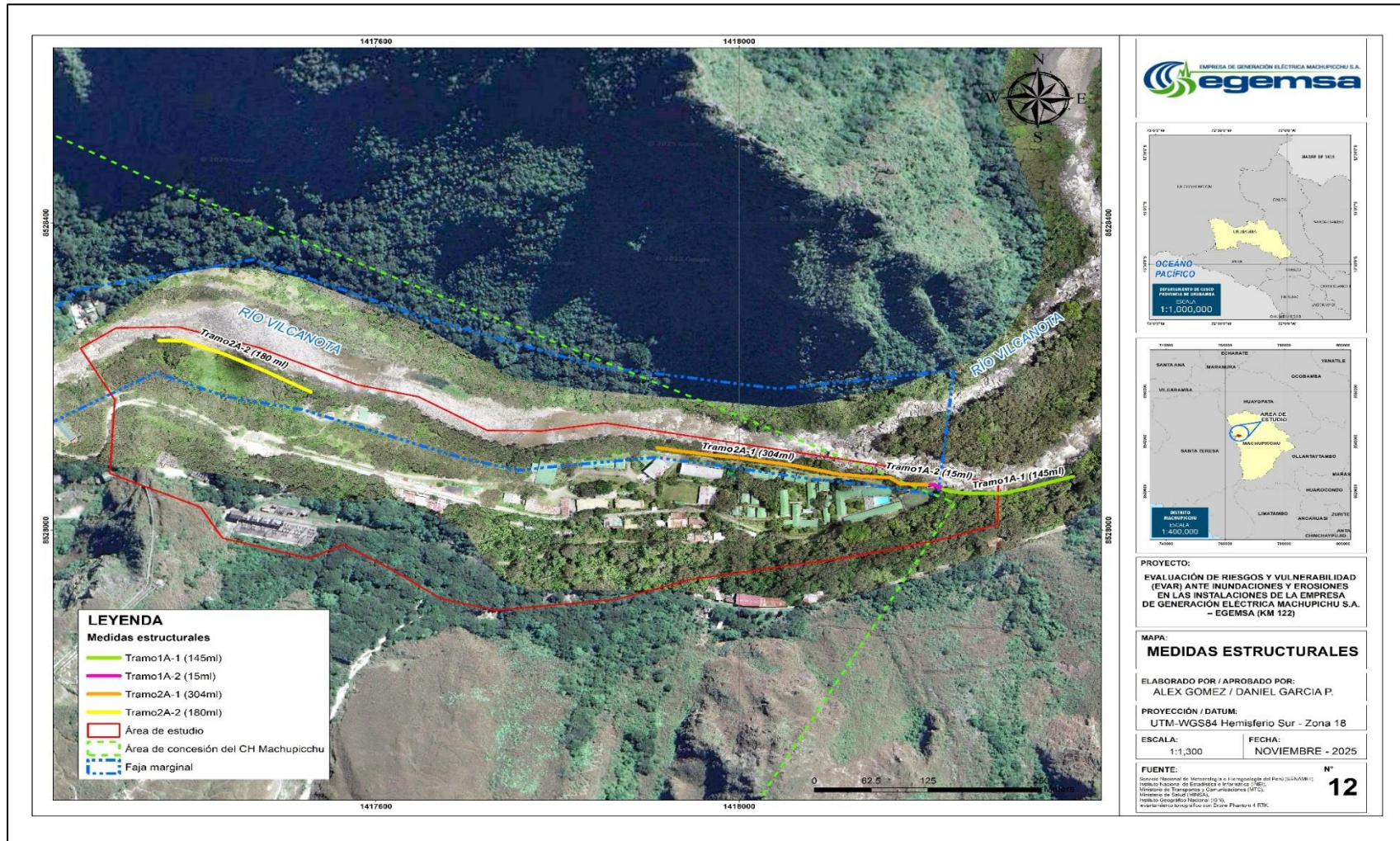
✓ Protocolos de Cierre de Emergencia

Reduce la vulnerabilidad operacional y minimiza los daños a los equipos mediante paradas controladas.

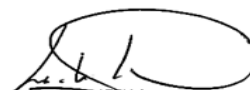
✓ Gestión de Emergencias Operativas (Planes y Simulacros)

Reduce la vulnerabilidad organizacional al mejorar la capacidad de respuesta y coordinación del personal, minimizando el impacto social y humano del desastre.

Mapa N° 12: Medidas estructurales



Fuente: Equipo técnico evaluador


LESLY STELLA
DE LA CRUZ MARCELO
INGENIERA CIVIL
Reg. CIP N° 151347

8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

8.1. CONCLUSIONES

- ✓ Se ha realizar la caracterización social y económica, identificando que, en el área de estudio de una población aproximada de 70 pobladores en el ámbito de estudio, donde 20 personas se dedican al comercio y 50 de ellas son personal de EGEMSA.
- ✓ Se ha realizar la caracterización física del ámbito de estudio y se ha identificado que está ubicado sobre las siguientes características que condicionan el nivel de peligro.

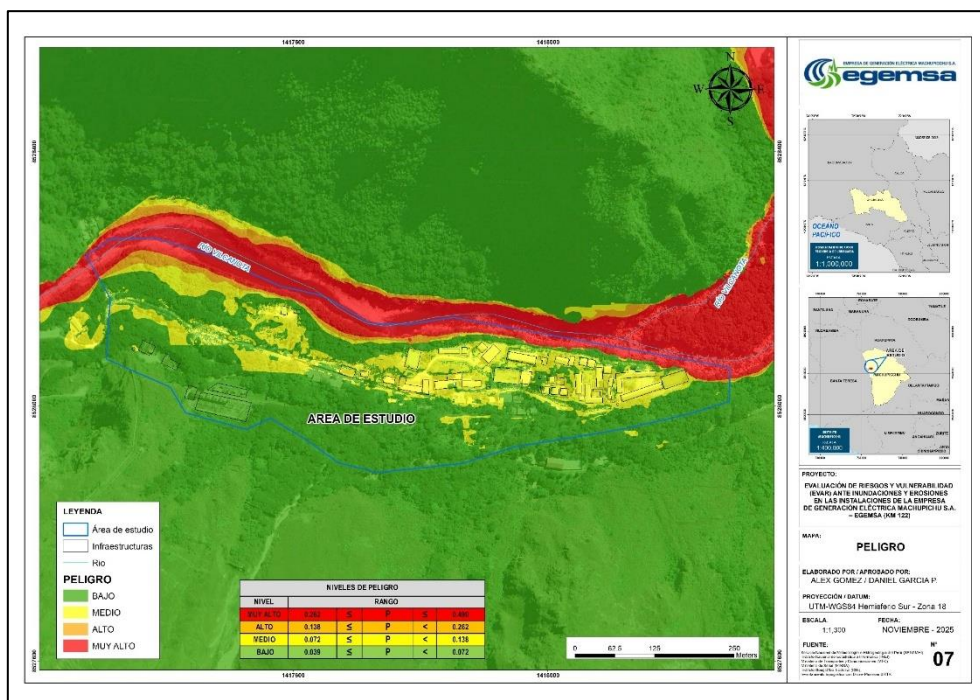
Unidades geológicas	Unidades geomorfológicas	Pendientes
Deposito fluvial	- Cauce fluvial	- De 0° a 5°
Deposito proluvial	- Abanico de piedemonte	- De 5° a 15°
Depósito de terraza fluvial	- Terraza fluvial	- De 15° a 25°
Granito Machupicchu	- Laderas de pendiente moderadas en roca intrusiva	- De 25° a 35°
		- Mayor a 35°

- ✓ Se ha analizado las características hidrológicas del rio Vilcanota y se ha realizado el modelo de inundación fluvial con HEC-RAS, donde se han identificado 2 zonas críticas, de las cuales la zona critica 1 ubicado en las coordenadas UTM WGS84 Zona 18S (765101.00 m E, 8542274.00 m S - 765237.00 m E, 8542298.00 m S), el agua inunda el área de estudio con altura menos a 0.3m.
- ✓ Se ha identificado la susceptibilidad del área de estudio ante fenómenos de geodinámica Interna (verificación de la sismicidad), determinando las Instalaciones de la Empresa de Generación Eléctrica Machupichu S.A. – EGEMSA (Km122) se encuentra ubicado sobre la zona 2, esto quiere decir que el área se encuentra sobre una zona con poco nivel sísmico y la C.H.M. tiene una **probabilidad moderada** de experimentar movimientos sísmicos intensos durante la vida útil de una edificación.
- ✓ Se ha analizado la susceptibilidad del área de estudio ante fenómenos de geodinámica externa, y según fuentes Técnico Científicos como CENEPRED – SIGRID, se ha determinado que las el patio de llaves Quillabamba, Patio de Llaves 138Kv y la sala de mandos de la Instalaciones de la Empresa de Generación Eléctrica Machupichu S.A. – EGEMSA (Km122) tiene una alta susceptibilidad ante caída de rocas.
- ✓ ha analizado la susceptibilidad del área de estudio ante fenómenos de hidrometeorológicos, y según fuentes Técnico Científicos como CENEPRED – SIGRID, se ha determinado que las Instalaciones de la Empresa de Generación Eléctrica Machupichu S.A. – EGEMSA (Km122) tiene una alta susceptibilidad ante inundaciones fluviales.

- ✓ No se ha podido establecer la susceptibilidad del área de estudio ante peligros de origen antrópico, ya que no hay registros en fuentes técnicas científicos oficiales acerca de eventos históricos provocados por el hombre dentro y fuera del ámbito de estudio.
- ✓ Se ha determinado la velocidad y altura de la inundación fluvial mediante modelado de flujo con HEC-RAS, identificando que:
 - velocidad máxima de 20.2 m/s. en el curso medio del río Vilcanota/Urubamba, velocidades de 10 m/s cerca al ámbito de estudio y velocidades menores a 0.30m/s dentro del área de estudio.
 - Altura máxima de 6.84m en el curso medio del cauce del río, tirantes con alturas promedio de 3.5m cerca al área de estudio y alturas de inundación en el área de estudio menores a 0.30m.
- ✓ Se ha identificado el peligro de origen natural en el área de estudio: la inundación fluvial. Este es generado por fenómenos hidrometeorológicos, a partir de los cuales se han establecido los niveles del peligro en relación al factor desencadenante (lluvias intensas), factores condicionantes (pendiente, geología y geomorfología) y los parámetros de evaluación (altura y velocidad del agua).

Se determinó que las estructuras dentro de las instalaciones de la Empresa de Generación Eléctrica Machupichu S.A. – EGEMSA (Km 122), están sobre un nivel BAJO, MEDIO, ALTO, condicionados principalmente por las características físicas, la altura y velocidad del agua al inundarse.

- ✓ Se ha elaborado el mapa de del peligro ante inundación fluvial, determinando niveles de peligro BAJO, MEDIO y ALTO en el área de estudio. **(ver mapa 7)**



(Firma)
LESLY STENLA
DE LA CRUZ MARCELO
INGENIERA CIVIL
Reg. CIP N° 151547

- ✓ Se ha identificado los siguientes elementos expuestos ante inundación fluvial.

Elementos expuestos – estructuras	
Almacén C.H.M.	Gimnasio
Almacén	Grass sintético
Patio de llaves (Quillabamba)	Losa deportiva
Patio de llaves 138Kv	Losa polideportiva
Sala de mandos	Campo deportivo
Taller de mantenimiento	Pozo compostaje
Habitaciones	Seguridad
Grifo	Módulos
Cocina - comedor	
Auditorio -oficina	
Colegio	

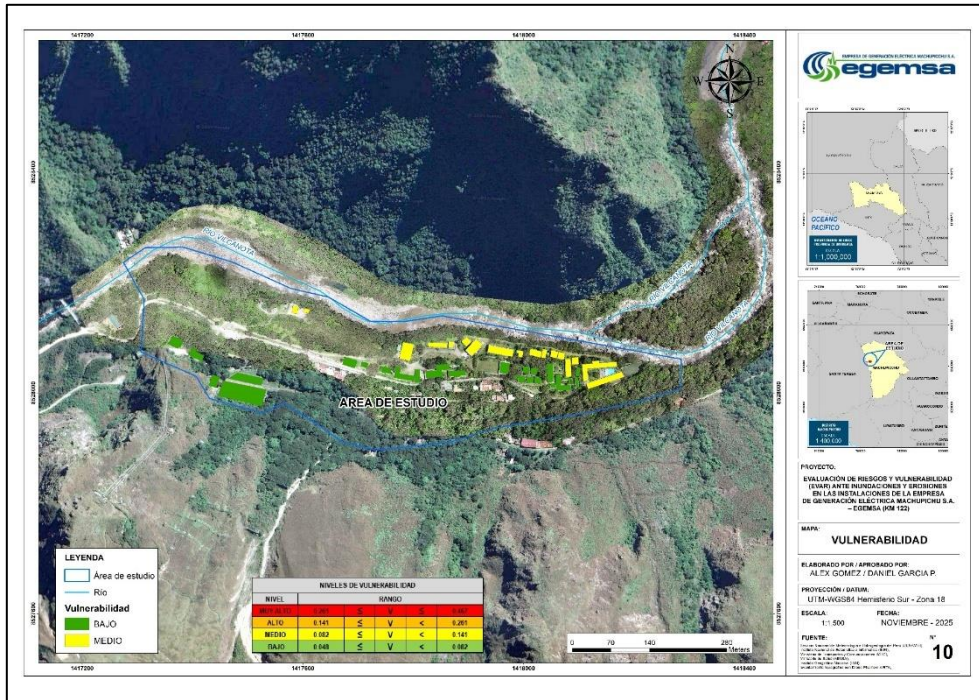
Medidas de prevención y reducción de riesgos existentes
Tramo 1A-2: Muro Existente [Altura: 6.0 metros]
Tramo 2A-1: Mantenimiento de Gaviones [Altura Existente: 6m]

Vías en el área de estudio	
Riel de tren	1781.96m
Vías afirmadas	769.38m

- ✓ Se ha analizar y determinado los niveles de vulnerabilidad del área de estudio ante inundación fluvial, se ha obtenido un nivel **BAJO, MEDIO dentro del área de EGEMSA**, dado que se trata de una infraestructura que presentan características físicas en buen estado, hay poca presencia de personas, tienen conocimiento en Gestión de Riesgo de Desastres, pero la cercanía del cauce del río condicionan a un nivel medio a algunas estructuras, como se muestra en el siguiente cuadro, cabe aclarar que las viviendas ubicadas fuera del área de EGEMSA presentan nivel alto por tener características físicas precarias lo cual condiciona su nivel.

Estructura	Nivel Vulnerabilidad
Vivienda	MEDIO
Taller de mantenimiento	MEDIO
Módulos	MEDIO
Losa polideportiva	MEDIO
Habitaciones	MEDIO
Gimnasio	MEDIO
Cocina - comedor	MEDIO
Almacén	MEDIO

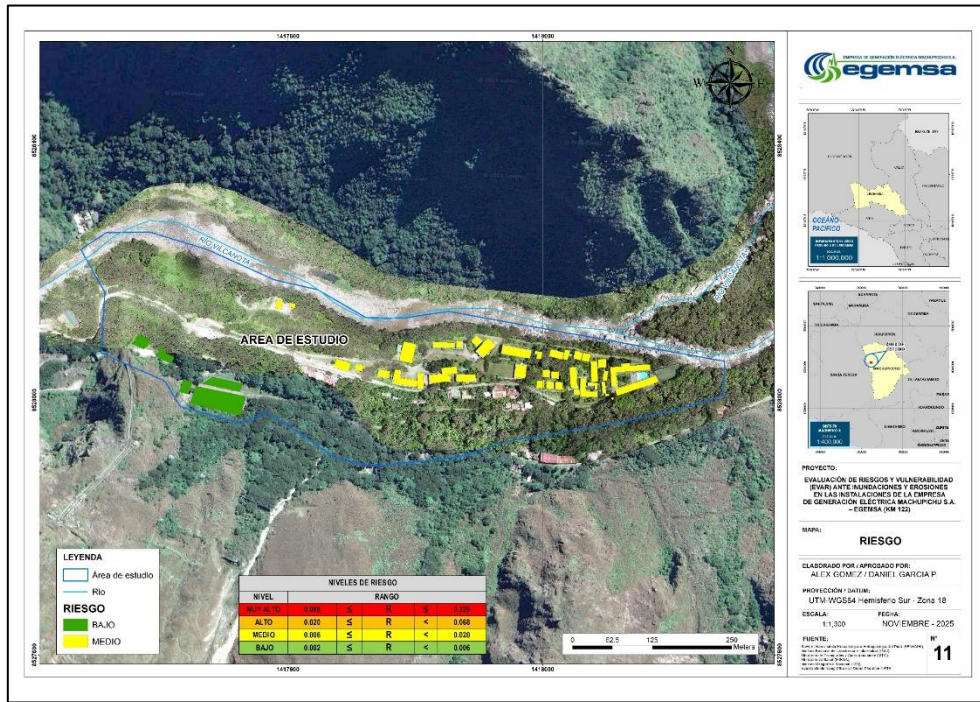
- ✓ Se ha elaborado el mapa de vulnerabilidad del ámbito de estudio, determinando los niveles **BAJO, MEDIO y ALTO**. (ver mapa 10)



- ✓ Se ha elaborado el mapa de riesgos ante inundación fluvial, estableciendo que las estructuras se encuentran entre el Nivel **BAJO, MEDIO y ALTO**, como se observa en el siguiente cuadro y mapa, (Ver mayor detalle en los mapas 11A-11B-11C).

Nombre	Valor Vulnerabilidad	Nivel Vulnerabilidad	Valor Peligro	Nivel Peligro	Valor Riesgo	Nivel Riesgo
Almacén	0.11649808	MEDIO	0.186216	ALTO	0.021694	ALTO
Almacén C.H.M.	0.11649808	MEDIO	0.186216	ALTO	0.021694	ALTO
Auditorio -oficina	0.11649808	MEDIO	0.186216	ALTO	0.021694	ALTO
Cocina - comedor	0.11649808	MEDIO	0.176216	ALTO	0.020529	ALTO
Colegio	0.11649808	MEDIO	0.186216	ALTO	0.021694	ALTO
Construcción	0.11649808	MEDIO	0.176216	ALTO	0.020529	ALTO
Construcción	0.13649807	MEDIO	0.136548	MEDIO	0.018639	MEDIO
Gimnasio	0.11649808	MEDIO	0.186216	ALTO	0.021694	ALTO
Grifo	0.11649808	MEDIO	0.186216	ALTO	0.021694	ALTO
Habitaciones	0.11649808	MEDIO	0.176216	ALTO	0.020529	ALTO
Losa deportiva	0.11649808	MEDIO	0.186216	ALTO	0.021694	ALTO
Losa polideportiva	0.11649808	MEDIO	0.186216	ALTO	0.021694	ALTO
Módulos	0.11649808	MEDIO	0.186216	ALTO	0.021694	ALTO
Patio de llaves (Quillabamba)	0.06043251	BAJO	0.070743	BAJO	0.004275	BAJO
Patio de llaves 138Kv	0.06043251	BAJO	0.070743	BAJO	0.004275	BAJO
Sala de mandos	0.05786903	BAJO	0.070743	BAJO	0.004094	BAJO
Seguridad	0.12649808	MEDIO	0.164016	ALTO	0.020748	ALTO


 LESLIE STELLA
 DE LA CRUZ MARCELO
 INGENIERA CIVIL
 Reg. CIP N° 151547



✓ **Respecto de las medidas estructurales**

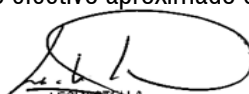
Las medidas estructurales de protección ribereña son necesarias, dado que el río presenta procesos activos de erosión y socavación sobre la margen evaluada, lo que pone en riesgo infraestructura existente, especialmente en los sectores cercanos a la Central Hidroeléctrica Machupicchu II.

La sectorización en cuatro tramos permitió identificar condiciones hidráulicas diferenciadas, tales como variaciones en el tirante de agua (hasta 7.5 m) y velocidades elevadas del flujo, lo que justifica el diseño de alturas y anchos de muro diferentes para cada tramo.

Tramo 1A-1:

- Alternativa 01: Muro de concreto armado

La defensa ribereña propuesta mediante un muro de concreto armado en el tramo 1A-1, comprendido entre las progresivas 0+000 y 0+145, constituye una solución estructural integral y técnica para la protección de la margen izquierda del río Vilcanota. La configuración geométrica adoptada considera una altura total del muro de 9.0 m, una zapata de cimentación de 7.0 m de ancho, un empotramiento de 1.0 m y un borde libre hidráulico del orden de 0.50–0.64 m, garantizando un adecuado encauzamiento del flujo y la prevención de desbordes en el tramo intervenido. Asimismo, la profundidad de socavación estimada de 0.80 m es controlada mediante el empotramiento de la cimentación y la disposición de una protección antisocavante con enrocado de diámetro medio Dm de 0.60 m y ancho efectivo aproximado de 2.0 m, con un geotextil no tejido de


 LESLIE STELLA
 DE LA CRUZ MARCELO
 INGENIERA CIVIL
 Reg. CIP N° 151547

200 g/m², lo que permite mitigar de manera eficiente los procesos de erosión local. La interacción entre la pantalla de concreto armado, el sistema de protección del pie y los taludes de relleno (1.5H:1V) y de corte (2H:1V), junto con la verificación de factores de seguridad adecuados frente a volteo y deslizamiento, asegura un comportamiento hidráulico y estructural estable y duradero para el tramo evaluado.

- **Alternativa 02: Muro de gaviones con uña antisocavante y enrocado**

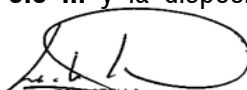
La defensa ribereña comprendido entre las progresivas **0+000 y 0+145**, mediante un **muro de gaviones con uña antisocavante y enrocado**, constituye una solución estructural integral y técnicamente viable para la protección de la margen izquierda del río Vilcanota frente a procesos de erosión, socavación y desbordes asociados a eventos de crecida. La configuración geométrica adoptada considera una **altura total de diseño del orden de 9.0 m**, que integra el tirante máximo de flujo de aproximadamente **7.5 m**, la **profundidad de socavación estimada de 0.80 m** y el borde libre hidráulico asociado a la energía del flujo, garantizando un adecuado encauzamiento y control del nivel del agua en el tramo intervenido. Asimismo, la **base del muro de 7.5 m** y la incorporación de una **uña antisocavante**, complementada con **enrocado de protección de diámetro medio del orden de 0.60 m**, permiten mitigar de manera eficiente los procesos de erosión y socavación en el pie de la estructura, asegurando la estabilidad frente a deslizamiento y volteo. La disposición escalonada de **gaviones tipo caja fuerte de 1.0×1.0×1.0 m y 1.5×1.0×1.0 m**, junto con la inclusión de **geotextil no tejido de 200 g/m²**, material de relleno estructural compactado y taludes estables de relleno (1.5H:1V) y de corte (2H:1V), garantiza una adecuada interacción suelo–estructura y un comportamiento flexible frente a asentamientos diferenciales. En conjunto, la alternativa propuesta presenta un **comportamiento hidráulico y geotécnico seguro y durable**, siendo capaz de operar bajo un **escenario hidráulico extremo con período de retorno de 200 años**, asociado a un **caudal de diseño de 1 250 m³/s**, constituyéndose en una medida estructural eficiente y sostenible para la reducción del riesgo hidráulico en el tramo evaluado.

Tramo 1A-2: Mantenimiento de muro de concreto existente: La propuesta de mantenimiento y reforzamiento del muro de concreto existente en el tramo 1A-2, comprendido entre las progresivas 0+145 y 0+160, consiste en reforzar una estructura existente de 6.0 m de altura mediante la ampliación del ancho de la zapata en 1.50 m y la incorporación de un sistema de protección antisocavante con enrocado de diámetro medio Dm de 0.60 m y ancho efectivo de 2.0 m, con geotextil no tejido de 200 g/m². Estas mejoras permiten controlar los procesos de erosión y socavación en la base, incrementar la estabilidad frente a volteo y deslizamiento, y reducir el riesgo

de falla progresiva de la estructura original. Asimismo, la ejecución de labores de mantenimiento preventivo y correctivo que incluyen la reparación localizada del concreto, sellado de fisuras, reposición de recubrimientos y control periódico del enrocado asegura la recuperación y preservación de la capacidad estructural del muro. En conjunto, la intervención propuesta constituye un sistema de defensa ribereña estable y durable, que garantiza la reducción del riesgo de socavación y erosión en la base y cuerpo de la estructura existente en este tramo del río Vilcanota.

Tramo 2A-1: Mantenimiento de muro de gaviones existente: La propuesta de mantenimiento del muro de gaviones existente en el tramo 2A-1, comprendido entre las progresivas 0+160 y 0+464, constituye una medida estructural de conservación orientada a asegurar la continuidad funcional y la estabilidad hidráulica de la defensa ribereña, sin modificar su geometría original, manteniendo una altura aproximada de $H = 6.0$ m. La intervención se sustenta en un análisis patológico del sistema de gaviones, considerando los mecanismos de falla más frecuentes asociados a este tipo de estructuras, tales como la corrosión o rotura del enmallado, la pérdida de confinamiento del material pétreo, deformaciones geométricas, asentamientos diferenciales y procesos de socavación en la base. Las actividades de mantenimiento propuestas que incluyen la inspección y reparación de mallas, re-amarre de unidades, reposición y reconfiguración del enrocado interior, control de deformaciones, verificación del estado del filtro y limpieza de obstrucciones permiten restituir el comportamiento hidráulico y su capacidad de disipación de energía frente a eventos de crecida. En caso de que las labores de mantenimiento evidencien condiciones críticas, se contempla como medida complementaria la ejecución de un colchón antisocavante o un enrocado con uña de profundidad mínima de 1.20 m y altura de 1.0 m, a la cota del primer nivel del gavión. Esta propuesta de mantenimiento permite prolongar la vida útil de la estructura existente, asegurar su adecuado desempeño hidráulico y estructural frente a crecidas de alta magnitud y su función como defensa ribereña en el tramo evaluado del río Vilcanota.

Tramo 2A-2: Muro de gaviones con uña antisocavante y enrocado: La defensa ribereña propuesta para el **Tramo 2A-2**, comprendido entre las progresivas **0+854 y 1+034**, mediante un **muro de gaviones con uña antisocavante y enrocado**, constituye una solución estructural técnicamente adecuada y coherente con las condiciones hidráulicas y geomorfológicas del río Vilcanota en este sector. La configuración geométrica adoptada considera una **altura total de diseño de 8.0 m**, que integra el tirante máximo de flujo, la profundidad de socavación estimada de **0.50 m** y el borde libre hidráulico asociado a la energía del flujo, garantizando un encauzamiento seguro frente a eventos de avenida. Asimismo, la **base del muro de 6.5 m** y la disposición de una **uña antisocavante**,


LESLY STELLA
DE LA CRUZ MARCELO
INGENIERA CIVIL
Reg. CIP N° 151547

complementada con **enrocado de protección con diámetro medio aproximado de 0.60 m**, permiten controlar de manera eficiente los procesos de erosión y socavación en el pie de la estructura. La incorporación de **geotextil no tejido de 200 g/m²**, material de relleno estructural compactado y taludes estables de relleno (1.5H:1V) y corte (2H:1V) asegura una adecuada interacción suelo - estructura, favoreciendo la estabilidad global del sistema. En conjunto, la solución propuesta presenta un comportamiento hidráulico y geotécnico seguro, flexible y durable, siendo capaz de operar bajo un **escenario hidráulico extremo de período de retorno de 200 años**, asociado a un caudal de diseño de **1 250 m³/s**, constituyéndose en una medida estructural eficiente para la reducción del riesgo hidráulico y la protección sostenida de la margen izquierda del cauce en el tramo evaluado.

Desde el punto de vista económico, la evaluación realizada considera **dos escenarios presupuestales**, asociados a las **alternativas de solución estructural propuestas para el Tramo 1A-1**, manteniéndose constantes los alcances y costos de los demás tramos de intervención. En este contexto, el **monto total de inversión** asciende aproximadamente a **S/ 5 051 988,38** para la alternativa 02 de **muro de gaviones con uña antisocavante y enrocado**, y a **S/ 6 088 088,12** para la alternativa 01 de **muro de concreto armado**, ambos valores elaborados sobre la base de **costos referenciales de mercado vigentes (Revista Costos 2025)** y coherentes con intervenciones de naturaleza similar ejecutadas en la región Cusco. Este resultado pone en evidencia que, **desde un punto de vista estrictamente económico, la alternativa con gaviones con uña antisocavante y enrocado resulta más conveniente al requerir una menor inversión inicial; no obstante, la selección final de la solución deberá sustentarse en una evaluación integral que incorpore criterios hidráulicos, geotécnicos, estructurales, de durabilidad, mantenimiento y comportamiento ante eventos extremos. Asimismo, se reconoce que los costos podrán ajustarse durante la elaboración del expediente técnico definitivo, sin que ello comprometa la viabilidad global de la propuesta.**

Se identificó la necesidad de mantener y reforzar las estructuras existentes y evaluando la resistencia de muros de concreto para determinar su ampliación o reemplazo.

La ejecución de colchones antisocavantes y/o enrocados con uña de cimentación es clave para evitar descalces y fallas en la base de los muros de gaviones, especialmente en sectores de alta velocidad de flujo, a continuación, se muestra el resumen de las características de cada sector.



LESLY STELLA
DE LA CRUZ MARCELO
INGENIERA CIVIL
Reg. CIP N° 151547

Ítem	Sector	Longitud [m]	Alternativa	Base de muro [m]	Enrocado para evitar socavación [$e_{\min}=0.50\text{m}$]	Altura Mínima de Muro [Proyectado]
1	Tramo 1A-1	145	Alternativa 01 [Muro de concreto armado]	7.5	1.0	9.0
			Alternativa 02 [Muro de gaviones con uña antisocavante y enrocado]	7.5	1.0	9.0
2	Tramo 1A-2 Muro Existente [Altura: 6m]	15.0	Mantenimiento de muro de concreto existente	Ampliar zapata [talón] 1.50 m		
				Enrocado de protección en la base L=2m, H=1m		
3	Tramo 2A-1 Mantenimiento de Gaviones [Altura Existente: 6m]	304	Mantenimiento de muro de gaviones existente	Mantenimiento de estructura de gavión existente		
4	Tramo 2A-2	180	Muro de gaviones con uña antisocavante y enrocado	6.5	1.0	8.0

Las medidas estructurales garantizarían la vida útil y correcto funcionamiento de las estructuras existentes, además las dos alternativas propuestas para la medida estructurares en el tramo 1A-


1, garantizaría que el área de estudio no sea afectada ante inundaciones.

Es importante señalar que:

- La Medida 1A-1 y 1A-2 se encuentran ubicadas fuera de la concesión de la CH Machupicchu
- Las Medidas 2A-1 (tiene 24.57m fuera de la concesión y 279.43 dentro de la concesión) y 2A-2 se encuentra en totalidad dentro de la concesión de la CH Machupicchu.

8.2. RECOMENDACIONES

- ✓ Se recomienda realizar el mantenimiento periódico de las medidas estructurales implementadas en el área de estudio con el fin de garantizar la intervención ante la ocurrencia de Inundación fluvial.
- ✓ Se recomienda, tener en cuenta la aplicación de los lineamientos técnicos de la normativa del Reglamento Nacional de Edificaciones considerando el Reglamento Nacional de Edificaciones. Norma E.010 (madera), E.020 (Cargas), E.030 (Diseño sismorresistente), E.050 (Suelos y cimentaciones), E.060 (Concreto armado), E.070 (Albañilería), durante la implementación de las medidas estructurales.
- ✓ Así mismo, se recomienda implementar las medidas de prevención y reducción del riesgo (medidas estructurales y no estructurales), desarrolladas en el capítulo 7, Medidas de Prevención y reducción del riesgo del presente informe a fin reducir el impacto y los daños


 LESLY STELLA
 DE LA CRUZ MARCELO
 INGENIERA CIVIL
 Reg. CIP N° 151547

que puede causar la ocurrencia de un evento de inundaciones en las personas y las instalaciones de la empresa de generación eléctrica Machupicchu S.A. – EGEMSA (KM122).

- ✓ Realizar un estudio de suelos, ensayos de resistencia del muro existente y batimetría, especialmente en el tramo 1A-2, para confirmar si es viable aumentar su altura o si debe ser reemplazado por un muro gavión.
- ✓ Ejecutar colchones antisocavantes o enrocados con una mínima de 1.20 m, priorizando sectores donde los modelos hidráulicos indican velocidades > 2.5 m/s y riesgo de erosión.
- ✓ Instalar geotextiles no tejidos (mín. 300 g/m^2) detrás del muro para evitar erosión interna y pérdida de finos, garantizando la estabilidad del relleno y drenaje adecuado.
- ✓ Aprovechar material pétreo del propio río, previa clasificación granulométrica, para el relleno de gaviones, asegurando reducción de costos y cumplimiento de criterios técnicos (piedras compactas, no friables y de tamaño acorde a malla).
- ✓ Las mallas hexagonales de los gaviones proyectados deberán contar con protección anticorrosiva adecuada, considerando las condiciones de exposición al flujo del río. En la zona de borde libre, la malla deberá disponer de recubrimiento de zinc (galvanizado) con un porcentaje de protección no menor al 5%, garantizando la resistencia frente a agentes ambientales externos.
- ✓ Asimismo, las mallas que estarán en contacto directo con el agua y sometidas de forma permanente a la acción erosiva e hidráulica, deberán contar con el mismo recubrimiento de zinc, complementado con un recubrimiento plastificado (PVC o similar), el cual permitirá aumentar la durabilidad de la estructura y evitar procesos de corrosión acelerada.
- ✓ Se recomienda establecer la obligatoriedad de evitar la generación de nuevos riesgos y de intervenir sobre los riesgos existentes de acuerdo con el **Artículo 39.1 del Reglamento de la Ley N° 29664**.

Recomendaciones relacionadas con la continuidad operativa de la empresa de generación eléctrica Machupicchu S.A. – EGEMSA (KM122).

Para EGEMSA y la Central Hidroeléctrica Machupicchu, la implementación de estas recomendaciones es crucial para la gestión integral del riesgo de desastres, alineándose con las directrices del CENEPRED y la normativa del SINAGERD (Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres).

Aquí se detallan recomendaciones específicas para cada área:


LESLY STELLA
DE LA CRUZ MARCELO
INGENIERA CIVIL
Reg. CIP N° 151547

✓ **Gestión de Emergencias Operativas**

- Implementación de un Centro de Operaciones de Emergencia (COE) interno: Establecer un COE con equipos de comunicación redundantes y energía de respaldo para monitorear la situación en tiempo real durante una emergencia.
- Actualización y Simulacros de Planes de Emergencia: Mantener el Plan de Emergencias y Contingencias (PEC) actualizado anualmente. Realizar simulacros periódicos (al menos semestrales) involucrando a todo el personal y coordinando con autoridades locales (INDECI, CENEPRED) para asegurar una respuesta articulada.
- Capacitación Continua del Personal: Asegurar que todo el personal, especialmente los equipos de turno, estén capacitados en primeros auxilios, uso de equipos de emergencia, y roles específicos durante una evacuación o parada de emergencia.

✓ **Diversificación de Rutas de Acceso**

- Identificación y Mapeo de Rutas Alternas: Identificar rutas de acceso y evacuación alternativas hacia Aguas Calientes (Machupicchu Pueblo) y otros puntos seguros, considerando los riesgos por deslizamientos e inundaciones en la carretera y la línea férrea (únicas rutas principales).
- Mantenimiento Preventivo: Asegurar el mantenimiento constante de estas rutas alternativas para garantizar su transpirabilidad en caso de que la ruta principal quede bloqueada.
- Acuerdos con Operadores de Trenes y Autoridades Locales: Establecer protocolos claros de coordinación con PeruRail u otros operadores y las autoridades locales para el uso prioritario de transporte en caso de evacuación del personal o llegada de ayuda crítica.

✓ **Protección de Equipos Eléctricos ante Inundación**

- Barreras Físicas y Sellado de Áreas: implementar las medidas estructurales y reforzar las barreras físicas, como los muros de gaviones mencionados, y asegurar el sellado hermético de puertas y accesos a salas de máquinas y control.

✓ **Protocolos de Cierre de Emergencia**

- Procedimientos de Parada Controlada: Establecer protocolos claros para la parada controlada de las turbinas y el cierre de las compuertas de captación ante un evento hidrológico extremo inminente, minimizando daños a los equipos y riesgos aguas abajo.
- Activación por Niveles de Alerta: Definir niveles de alerta (Alerta Amarilla, Naranja, Roja) basados en los caudales del río Urubamba, con acciones específicas de cierre progresivo asociadas a cada nivel.
- Comunicación Inmediata a las Autoridades: Incluir en los protocolos la comunicación inmediata a las autoridades locales, regionales y nacionales (INDECI, CENEPRED, COEN)

sobre el estado de la central y cualquier parada de emergencia para coordinar la respuesta general.

Las acciones de EGEMSA deben estar alineadas con los instrumentos de planificación del SINAGERD:

- Evaluación de Impacto de Riesgos (EIR) / Evaluación de Riesgos (EVAR): Las recomendaciones (diversificación de rutas, protección de equipos) deben basarse en una EIR formal que identifique y cuantifique los escenarios de inundación y sus vulnerabilidades específicas. Esta evaluación técnica es el sustento formal para la toma de decisiones.
- Plan de Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres (PPRRD): Las medidas estructurales y no estructurales (protocolos de cierre, gestión de emergencias) deben integrarse como acciones específicas dentro del PPRRD de la Municipalidad Distrital de Machupicchu y/o del Gobierno Regional del Cusco, o en el plan institucional de EGEMSA, asegurando la asignación presupuestaria y seguimiento.
- Plan de Desarrollo Regional Concertado (PDRC) / Plan de Desarrollo Municipal Concertado (PDMC): Las inversiones de gran escala, como la implementación de defensas ribereñas mayores (gaviones en el Tramo 1A-1), deben estar alineadas con los objetivos de desarrollo sostenible de la región, asegurando que la resiliencia de la central contribuya a la estabilidad energética regional.

Responsabilidad de EGEMSA como Entidad Pública

- EGEMSA, al ser una empresa estatal de generación eléctrica (aunque con autonomía de gestión), forma parte del SINAGERD y tiene responsabilidades claras.
- Rol en el SINAGERD: EGEMSA debe asumir su rol como entidad pública que opera infraestructura crítica, participando activamente en los Comités de Gestión del Riesgo de Desastres a nivel local/regional cuando sea pertinente a su ámbito de influencia.
- Reporte y Coordinación: Tiene la obligación de reportar sus evaluaciones de riesgo y acciones de mitigación al CENEPRED (para la estimación y prevención) y al INDECI (para la preparación y respuesta), utilizando plataformas como el SIGRID.
- Garantizar la Continuidad de los Servicios Públicos: Como operador de un servicio público esencial, su máxima responsabilidad es asegurar la resiliencia de su operación, priorizando la inversión en medidas que eviten la interrupción del suministro eléctrico nacional.

9. BIBLIOGRAFÍA

- ✓ **BRUGG Geobruigg**, <https://www.geobruigg.com/en/Debris-flow-barriers-196766.html>, 2024.
- ✓ **Centro Nacional De Estimación, Prevención Y Reducción Del Riesgo De Desastres (CENEPRED)**, Manual Para La Evaluación De Riesgos Originados Por Fenómenos Naturales, 2da Versión, 2014.
- ✓ **Centro Nacional De Estimación, Prevención Y Reducción Del Riesgo De Desastres (CENEPRED)**, Ley 29664 Ley Que Crea El Sistema Nacional De Gestión De Riesgo De Desastres (SINAGERD), 2014.
- ✓ **Centro Nacional De Estimación, Prevención Y Reducción Del Riesgo De Desastres (CENEPRED)**, Ley 29869 De Reasentamiento Poblacional, 2014.
- ✓ **Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres (CENEPRED)**, Lineamientos para la elaboración del informe de evaluación del riesgo de desastres en proyectos de infraestructura educativa, 2020.
- ✓ **Chow, V. T., Maidment, D. R., & Mays, L. W.**, Applied hydrology. New York, NY: McGraw-Hil, 1988.
- ✓ **Generador de Precios Perú, CYPE Ingenieros, S.A.**, https://peru.generadordeprecios.info/espacios_urbanos/Cimentaciones/Muros_de_contencion/Muros_de_gaviones/CCG020_Muro_de_gaviones_de_malla_electroso.html, mayo 2025.
- ✓ **Google Earth**, Imágenes satelitales disponibles de diferentes años, (Periodo actual).
- ✓ **Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (INGEMMET)**, Mapa geológico a escala 1: 50 000, del cuadrángulo 28s. (Periodo actual).
- ✓ **Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (INGEMMET)**, Geología del Cuadrángulo de Cusco, hoja 27-q, escala 1:50,000. (Periodo actual).
- ✓ **Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI) y Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD)**, Mapa de peligros y medidas de mitigación ante desastres - ciudad de Machupicchu, 2012.
- ✓ **Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI)**, Listado de emergencias según región del SINPAD v2.0, 2025.
- ✓ **Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI)**, Censo Poblacional. Año 2007.
- ✓ **Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI)**, Sistema De Información Estadístico De Apoyo A La Prevención A Los Efectos Del Fenómeno De El Niño Y Otros Fenómenos Naturales, 2015.
- ✓ **Instituto Nacional de Recursos Naturales (INRENA)**, Plan Nacional de Reforestación, 2025.
- ✓ **Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (MVCS)**, Cuadro de Valores Unitarios Oficiales de Edificación Para La Sierra, Vigente desde el 01 al 30 de noviembre del 2025.

- ✓ **Organización Meteorológica Mundial (OMM)**, Guía de prácticas hidrológicas. Volumen II: Gestión de recursos hídricos y aplicación de prácticas hidrológicas (Publicación OMM No. 168, Vol. II), 2009.
- ✓ **Oviedo, M. J.; Carlotto, V. S.; Cárdenas, J. D.; Gutierrez, D.; Astete, I.**, Geodinámica y Simulación de Flujos FLO-2D en la quebrada Saphy – Cusco. Cusco, Perú, 2008.
- ✓ **Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI)**, Mapa de Clasificación Climática del Perú. Método de Thornthwaite, 1988.
- ✓ **Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI)**, Umbrales y precipitaciones absolutas, 2014.
- ✓ **Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI)**, Datos históricos de precipitaciones pluviales máximas de 24 horas - Estación Machupicchu, (Periodo actual).
- ✓ **U.S. Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center**. HEC-HMS Hydrologic Modeling System: Technical Reference Manual (CPD-74B). Davis, CA: U.S. Army Corps of Engineers, 2000.
- ✓ **U.S. Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center**, HEC-RAS River Analysis System: Hydraulic Reference Manual (Versión 6.1). Davis, CA: U.S. Army Corps of Engineers. 2020.
- ✓ **U.S. Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center**, Non-Newtonian Technical Reference Manual. Davis, CA: U.S. Army Corps of Engineers, 2025.

10. ANEXOS

10.1. SECCIÓN 602 GAVIONES



PERÚ

Ministerio
de Transportes
y Comunicaciones

Viceministerio
de Transportes

Dirección General
de Caminos y
Ferrocarriles

SECCION 602 GAVIONES



SECCIÓN 602

Gaviones

Descripción

602.01

Este trabajo consiste en la construcción de estructuras de sostenimiento o contención, mediante enmallado metálico tipo canasta y relleno con materiales pétreos, de acuerdo con estas especificaciones y en conformidad con el Proyecto.

Materiales

602.02 Canastas metálicas

Las canastas metálicas estarán formadas de malla de alambre de acero galvanizado de triple torsión (entrecruzado de dos hilos mediante tres medios giros), con huecos hexagonales de abertura no mayor de 12 cm. El alambre se ajustará a la norma ASTM A-116 o a la ASTM A-856, según se especifique en el Proyecto.

Se utilizará alambre galvanizado de diámetro superior a 2.4 mm, excepto en las aristas y los bordes del gavión, que estarán formados por alambres galvanizados cuyo diámetro será, como mínimo, un 25% mayor que el de la malla.

La forma, el tipo de alambre, su recubrimiento, revestido para neutralizar en el tiempo la acción agresiva y corrosiva extremas de sustancias químicas, dimensiones, detalles, tales como diafragmas y/o ataduras intermedias o tensores de las canastas, serán los señalados en el Proyecto y en las especificaciones especiales del mismo. Las canastas contiguas serán enlazadas fijando las aristas verticales con ataduras de alambre espaciadas aproximadamente a 15 cm, o mediante una espiral continua de alambre con un paso de 10 cm.



Los materiales despachados a obra serán acompañados por un Certificado de Calidad original del fabricante.

602.03 Material de relleno

Consistirá preferiblemente de canto rodado o, en su defecto, de material de cantera. Deberá tenerse especial cuidado de no utilizar materiales que se desintegren por la exposición al agua o a la intemperie, que contengan óxido de hierro, con excesiva alcalinidad, cuya composición pueda afectar el alambre de la canasta.

El peso unitario del material de relleno será, al menos, de 1.250 kg/m³. Además deberá cumplir con los siguientes requisitos:

a. Granulometría

El tamaño mínimo de las piedras del material de relleno será, por lo menos, 3 cm mayor que las aberturas de la malla de la canasta.

b. Resistencia a la abrasión

El desgaste del material al ser sometido a ensayo en la máquina de Los Ángeles, según la norma AASHTO T-96, deberá ser inferior al 50%.

c. Absorción

Su capacidad de absorción de agua será inferior al 2% por peso. Para su determinación se fragmentará una muestra representativa de las piedras y se ensayará de acuerdo con la norma AASHTO T-85.

Equipo

602.04

El Contratista deberá suministrar los equipos que garanticen que la construcción de los muros de contención con gaviones se ajuste a la calidad exigida en la presente especificación, y que permita el correcto cumplimiento del programa de ejecución de los trabajos.

En especial, dispondrá de encofrados adecuados, equipos para la elaboración, transporte, carga, colocación, humedecimiento y compactación de los materiales, así como de herramientas menores.



Requerimientos de construcción

602.05 Conformación de la superficie de fundación

Antes de proceder a la ejecución de obras con gaviones el Contratista deberá obtener la aprobación del Supervisor del tipo de red a utilizar, de las dimensiones y de la disposición de los gaviones. Los trabajos no deben afectar la forma o la funcionalidad de la estructura.

Cuando los gaviones requieran una base firme y lisa para apoyarse, ésta podrá consistir en una simple adecuación del terreno o una cimentación diseñada y construida de acuerdo con los detalles del Proyecto.

602.06 Colocación de las canastas

Cada canasta deberá ser armada en el sitio de la obra, según el detalle del Proyecto. Su forma prismática se establecerá con ayuda de palancas, formaletas u otro medio aprobado por el Supervisor.

602.07 Relleno

El material de relleno se colocará dentro de la canasta manualmente, de manera que las partículas de menor tamaño queden hacia el centro y las más grandes junto a la malla, procurando evitar bordes cortantes de las piedras junto a la malla. Se procurará que el material quede con la menor cantidad posible de vacíos. Si durante el llenado las canastas pierden su forma, se retirará el material colocado, se repararán y reforzarán las canastas y se volverá a colocar el material de relleno.

602.08 Costura y anclaje

Cuando la canasta esté llena, deberá ser cosida y anclada a las canastas adyacentes, con alambre igual al utilizado en la elaboración de éstas.

Aceptación de los trabajos

602.09 Criterios

El Supervisor aprobará los trabajos si la malla y el material de relleno satisfacen las exigencias del Proyecto y de esta especificación, y si la estructura construida se ajusta a los alineamientos, pendientes y secciones indicados en los planos del Proyecto.



PERÚ
Ministerio
de Transportes
y Comunicaciones

Viceministerio
de Transportes

Dirección General
de Caminos y
Ferrocarriles

En caso de deficiencias de los materiales o de la ejecución del trabajo, el Contratista realizará por su cuenta, las correcciones necesarias de acuerdo con las instrucciones del Supervisor.

Medición

602.10

La unidad de medida será el metro cúbico (m³) de gaviones fabricados y colocados en el sitio y aprobado por el Supervisor.

La cantidad de metros cúbicos se determinará sumando los volúmenes de las canastas correctamente colocadas de acuerdo con el Proyecto.

Pago

602.11

El pago se efectuará al precio unitario del contrato, por el trabajo ejecutado de acuerdo con esta especificación y aprobada por el Supervisor.

Las cantidades aprobadas, determinadas de acuerdo con la [Subsección 602.10](#), se pagarán al precio del contrato por unidad de medida, para el renglón de pago establecido en el contrato. El precio unitario incluirá los costos por concepto de suministro de materiales e instalación de abrazaderas, alambre, separadores, rigidizadores y cualquier otro elemento utilizado para sostener y mantener el gavión en su sitio.

El pago será la compensación total por todos los costos relacionados con la correcta ejecución de los trabajos de acuerdo con el Proyecto, especificaciones de ésta sección y a las instrucciones del Supervisor.

Si en el expediente técnico se establece que la preparación de la superficie de fundación de los gaviones deberá incluirse dentro del precio unitario de los gaviones, no se reconocerá ningún pago por la excavación. En caso contrario, se pagará de acuerdo con la [Sección 501](#).

Partida de pago	Unidad de pago
602.A Gaviones	Metro cúbico (m ³)

LESLY STELLA
DE LA CRUZ MARCELO
INGENIERA CIVIL
Reg. CIP N° 151547

10.2. FICHA VULNERABILIDAD

FICHA TÉCNICA DE CAMPO – VULNERABILIDAD

NOMBRE DEL AREA DE ESTUDIO:
Instalaciones de la Empresa - EGEMSA KM 122.

CANTIDAD DE ESTRUCTURAS IDENTIFICADAS:
Se han identificado 47 elementos estructurales y 1 colegio dentro del área

Observaciones: DE ESTUDIO.

Nota: 21 OCTUBRE 2025

- Por una sola instalación con las mismas características se ha realizado una sola ficha para el análisis de vulnerabilidad.
- Indicar la ubicación del botadero de basura en el mapa.
- Tomar fotografías como evidencia del trabajo de campo.

1 Cantidad de personas en las instalaciones	más de 125 personas		
	de 100 a 125 personas		
	de 75 a 100 personas		
	de 50 a 75 personas (70)	X	
	Menos de 50 personas		
2 Nivel de organización	Muy malo		
	Malo		
	Regular		
	Bueno		
	Muy bueno		X
3 Capacitación en riesgo de desastres	nunca		
	escasamente		
	regular		
	Bueno		
	Muy bueno		X
4 Material de construcción	Mixto precario		
	Quincha		
	Adobe		
	Ladrillo Bloqueta		
	Concreto armado y/o acero (HIDRA)	X	
5 Estado de conservación	Muy malo		
	Malo		
	Regular		
	Bueno		
	Muy bueno		X
6 Cumplimiento de la normativa de reglamento nacional de edificaciones	Desconoce		
	No cumple		
	Conoce, pero no cumple		
	Cumple parcialmente		
	Cumple en totalidad		X
7 Seguridad y mantenimiento	No tiene		
	Desconoce los protocolos no realiza mantenimiento		
	Conoce superficialmente, realiza mantenimiento en plazos de tiempo muy largos		
	Cumple de forma incompleta el RISST realiza mantenimiento esporádicamente.		
	Cumple el RISST y realiza mantenimiento periódico		X
8 Impacto ambiental en especies de flora y fauna	Impacta a especies endémicas		
	Impacta a especies de flora y fauna		
	Impacta regularmente		
	Impacta en baja intensidad		X
	Mínima o ninguna		
9 Disposición final de residuos sólidos	Dispone en cauces o quebradas		
	Quema los RSS		
	Desechar en vías y/o calles		
	Desechar en botaderos		X
	Clasifica y reutiliza los RSS		
10 Conocimiento de actividades de segregación	deficiente		
	básico		
	regular		
	bueno		
	muy bueno		X