

UNIVERSIDAD ESTATAL DE BOLÍVAR

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA SALUD Y DEL SER HUMANO

CARRERA DE INGENIERÍA EN RIESGOS DE DESASTRES

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN RIESGOS DE DESASTRES

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

TEMA

AMENAZA DE DESBORDAMIENTO Y LOS ELEMENTOS EXPUESTOS EN LA ZONA DE INCIDENCIA DE LA REPRESA MULACORRAL DEL CANTÓN AMBATO, PERIODO ENERO-MAYO 2025

AUTORES

CAYAMBE PUNINA LIZBETH TATIANA
VISCARRA MEZA BRYAN DAVID

DIRECTOR

ING. GAIBOR VELASCO NUMA INAIN.

PARES ACADÉMICOS

ING. VILLACÍS TACO LUIS HERNAN
ING. ARREGUIN MOISÉS

GUARANDA-ECUADOR

2025

TEMA

AMENAZA DE DESBORDAMIENTO Y LOS ELEMENTOS EXPUESTOS EN LA ZONA DE INCIDENCIA DE LA REPRESA MULACORRAL DEL CANTÓN AMBATO, PERIODO ENERO-MAYO 2025

AGRADECIMIENTO

Agradezco a mi Padre celestial quien en su infinita voluntad me permitió llegar hasta este momento y hacer realidad tan anhelado sueño. Toda mi honra sea para Él.

Agradezco a mis padres, hermanos y familia quienes estuvieron presentes en este proceso, gracias por creer en mí.

Mis sinceros agradecimientos a todos los decentes en especial a mi tutor de tesis Ing. Numa Gaibor, por su guía, tiempo y valiosos aportes que guiaron el desarr1ollo de esta investigación.

De manera especial a todo el equipo de del H. Gobierno Provincial de Tungurahua por abrir las puertas, así también por su contribución y orientación constante para la construcción de este estudio, en conjunto se logró un trabajo de mucha validez que debe ser impartido a la población.

CAYAMBE PUNINA LIZBETH TATIANA

Agradezco primeramente a Dios, por brindarme salud, sabiduría y fortaleza para culminar este proceso académico. A mi madre Dina Meza y familiares, por su constante apoyo emocional, comprensión y confianza en mis capacidades.

Mi más sincero agradecimiento a mi tutor de tesis Ing. Numa Gaibor, por su orientación, tiempo y valiosos aportes que guiaron el desarrollo de esta investigación. Extiendo mi sincero agradecimiento a mis docentes, cuyo acompañamiento, orientación y dedicación fueron fundamentales para el desarrollo de este trabajo.

Finalmente, agradezco a todos quienes, de una u otra manera, contribuyeron con sus conocimientos, consejos o motivación, haciendo posible la culminación de esta investigación que busca aportar a la prevención de riesgos y a la protección de las comunidades expuestas.

VISCARRA MEZA BRYAN DAVID

DEDICATORIA

Con mucha felicidad y al mismo tiempo con nostalgia finalizo una etapa de mi vida y comienzo a escribir otra agradeciendo a mi guía de vida, Dios, gracias infinitas, un día te hable de mis sueños, propósitos y metas y me brindaste mucha salud, sabiduría y entendimiento por lo cual he logrado culminar mi carrera universitaria, con mucho amor te dedico esta parte de mi vida.

Para mi amado padre Aurelio Cayambe, me enseñaste valores lo cual me han llevado por buen camino con la humildad que siempre me caracteriza y me enseñaste que en la vida se puede lograr todo con mucho trabajo y dedicación. Para mi madre María del Carmen Punina gracias por ser mi amiga y mi compañera, mis dos seres más queridos que se convirtieron en un solo pilar fundamental para sostenerme en todo el trayecto a ustedes padres queridos este trabajo.

Para mi familia en especial Stalin, Daysi, Washington y Aron gracias por ser mi motivación, por no dejarme caer en los momentos más difíciles, para Mercy gracias por ser como una madre por cuidarme desde el inicio hasta el fin de mi carrera siendo un apoyo fundamental, los llevo en mi corazón, este triunfo es de todos.

A mis compañeros y amigos de carrera en especial: Milena, Andrea, Gina y Bryan con quienes compartí este camino, el apoyo mutuo, las fuerzas compartidas y la amistad nacida en este proceso son recuerdos que siempre llevaré en mi corazón.

Y este esfuerzo me la dedico a mí misma por cada obstáculo y retos superados que reflejan mi fortaleza y determinación, cada paso me ha enseñado de lo lejos que puedo llegar cuando creo en mí.

CAYAMBE PUNINA LIZBETH TATIANA

Dedico este trabajo a mi madre Dina Meza, por su apoyo incondicional, su amor y su ejemplo de esfuerzo que me ha impulsado a seguir adelante en cada etapa de mi vida.

A mi familia, por su comprensión durante las largas jornadas de estudio y dedicación que requirió esta tesis. A mis amigos, por acompañarme con su apoyo y alegría durante este camino.

A mis docentes el Ing. Luis Villacis, mi tutor el Ing. Numa Gaibor, quienes con su guía y conocimientos sembraron en mí el deseo de aprender y superarme cada día.

Finalmente, dedico este trabajo a mí mismo, por la perseverancia, disciplina y compromiso que me permitieron alcanzar una de las metas más importantes de mi formación profesional.

VISCARRA MEZA BRYAN DAVID

CERTIFICADO

CERTIFICADO DE SEGUIMIENTO AL PROCESO INVESTIGATIVO, EMITIDO POR EL TUTOR.

Guaranda, 19 de septiembre de 2025.

El suscrito Ingeniero Numa Gaibor Velasco, director del Proyecto de Investigación de Pre Grado de la carrera de Ingeniería en Riesgos de Desastres de la Universidad Estatal de Bolívar, en calidad de Docente – Tutor.

CERTIFICA:

Que el proyecto de investigación titulado: **"AMENAZA DE DESBORDAMIENTO Y LOS ELEMENTOS EXPUESTOS EN LA ZONA DE INCIDENCIA DE LA REPRESA MULACORRAL DEL CANTÓN AMBATO";** realizado por los señores: Tatiana Lizbeth Cayambe y Viscarra Meza Bryan David ha sido debidamente revisado e incorporado las observaciones realizadas durante las asesorías; en tal virtud, autorizo su presentación para la aprobación respectiva de acuerdo al reglamento de la Universidad.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a verdad.

Firmado electrónicamente por:
NUMA INAIN GAIBOR VELASCO
Validar únicamente con FirmaEC

ING. NUMA GAIBOR VELASCO.

DIRECTOR DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN DE PREGRADO

DERECHOS DE AUTOR

Nosotros **CAYAMBE PUNINA LIZBETH TATIANA Y VISCARRA MEZA BRYAN DAVID** portadores de la Cédula de Identidad No **185026110-6** y **025000376-1** en calidad de autores y titulares de los derechos morales y patrimoniales del Trabajo de Titulación: **"AMENAZA DE DESBORDAMIENTO Y LOS ELEMENTOS EXPUESTOS EN LA ZONA DE INCIDENCIA DE LA REPRESA MULACORRAL DEL CANTÓN AMBATO, PERIODO ENERO-MAYO 2025."**, modalidad proyecto de investigación, de conformidad con el **Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN**, concedemos a favor de la Universidad Estatal de Bolívar, una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos. Conservamos a mi/nuestro favor todos los derechos de autor sobre la obra, establecidos en la normativa citada.

Así mismo, autorizo/autorizamos a la Universidad Estatal de Bolívar, para que realice la digitalización y publicación de este trabajo de titulación en el Repositorio Digital, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Los autores declaran que la obra objeto de la presente autorización es original en su forma de expresión y no infringe el derecho de autor de terceros, asumiendo la responsabilidad por cualquier reclamación que pudiera presentarse por esta causa y liberando a la Universidad de toda responsabilidad.

CAYAMBE PUNINA
LIZBETH TATIANA
CI: 185026110-6

VISCARRA MEZA
BRYAN DAVID
CI: 025000376-1

INDICE DE CONTENIDOS

AGRADECIMIENTO 1
DEDICATORIA 2
CERTIFICADO 4
DERECHOS DE AUTORIA 5
INDICE DE CONTENIDOS 6
ÍNDICE DE TABLAS 10
ÍNDICE DE ANEXOS 11
ÍNDICE DE GRÁFICOS 12
RESUMEN 14
ABSTRACT 15
INTRODUCCIÓN 16
1. CAPÍTULO 1. EL PROBLEMA 18
1.1 Planteamiento del problema 18
1.2 Formulación del Problema 20
1.3 Objetivos 20
1.3.1 Objetivo General 20
1.3.2 Objetivos Específicos 20
1.4 Justificación 21
1.5 Operacionalización de variables 23
1.6 Idea a defender 25
2. CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO 26
2.1 Descripción del área de estudio 26
2.2 Antecedentes de la investigación 27
2.3 Bases Teóricas 31
2.3.1 Desbordamiento 31
2.3.2 Inundación 31
2.3.3 Lluvia torrencial 34
2.3.4 Modelos Hidráulico 37
2.3.5 Software IBER 39

2.3.6 Elementos expuestos 40
2.4 Marco Legal 44
2.4.1 Constitución del Ecuador 44
2.4.2 Políticas y Ordenamiento 45
2.5 Glosario de Términos 46
3. CAPÍTULO 3. MARCO METODOLÓGICO 49
3.1 Tipo de la investigación 49
3.2 Enfoque de la investigación 49
3.3 Métodos de la investigación 50
3.4 Técnicas e instrumentos de recopilación de datos 50
3.5 Universo / población 51
3.6 Procesamiento de la información 52
3.6.1 Para el objetivo 1 52
3.6.2 Para el objetivo 2 58
3.6.3 Para el objetivo 3 59
4. CAPíTULO 4. RESULTADOS 61
4.1 Resultado del objetivo 1. _ Elaborar un modelamiento del desbordamiento de la represa Mulacorral, utilizando datos relevantes y herramientas de simulación. 61
4.1.1 Tipo de rotura 61
4.1.2 Topografía aguas abajo 61
4.1.3 Geometría del cauce agua abajo 62
4.1.4 Estructura de la represa 62
4.1.5 Características principales de la represa 62
4.1.6 Caudal Pico 63
4.1.7 Volumen removido 64
4.1.8 Ancho de la brecha ($\boldsymbol{B}$) 65
4.1.9 Ancho inferior de la brecha $\boldsymbol{Wb}$ 65
4.1.10 Tiempo de formación de la brecha $\boldsymbol{tf}$ 67
4.1.11 Hidrograma de rotura de la represa Mulacorral 68
4.1.12 Simulación 70

4.1.13 Calado máximo producto del desbordamiento 76
4.1.14 Velocidad Máxima del flujo en m/s 77
4.1.15 Análisis de resultados hidráulicos por sectores 77
4.1.16 Conclusión general del análisis hidráulico por sectores 89
4.2 Resultado del objetivo 2. Determinar los elementos expuestos ante la zona de afectación del posible desbordamiento de la represa Mulacorral en el cantón Ambato. 92
4.2.1 Elementos expuestos 92
4.2.2 Resumen del análisis de los elementos expuestos 137
4.2.3 Análisis General 139
4.3 Resultado del objetivo 3: Definir un Plan de Emergencias con lineamientos generales que contemple acciones preventivas y protocolos de respuesta ante un posible desbordamiento. 140
4.3.1 Identificación de la Represa Mulacorral 141
4.3.2 Descripción de la Represa y su Entorno 141
4.3.3 Tipología de la Represa 144
4.3.4 Componentes del Proyecto 144
4.3.5 Estructura del Aliviadero de Excesos 145
4.3.6 Sistema de llenado 145
4.3.7 Sistemas de auscultación de las obras 146
4.3.8 Sistemas de alimentación eléctrica 146
4.3.9 Datos de la represa 147
4.3.10 Uso y usuarios de la represa Mulacorral 148
4.3.11 Organización General en Emergencias Medios y Recursos 150
4.3.12 Protocolo-Centro de Gestión de Emergencias. 154
4.3.13 Normas de Actuación en Emergencias 155
4.3.14 Modos de Fallo para las Distintas Situaciones de Emergencia 158
4.3.15 Actuaciones Asociadas a los Distintos Escenarios 161
4.3.16 Escenarios de Rotura contemplados en la Brecha 163
4.3.17 Flujograma del sistema de comunicación 165
4.3.18 Puntos Seguros para la Población Expuesta 166
4.3.19 Atención post Desastre 169

5. CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 172
5.1 Conclusiones 172
5.2 Recomendaciones 173
6. BIBLIOGRAFÍA 175
7. ANEXOS 177

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 *Variable Independiente: Desbordamientos*.....23
Tabla 2 *Variable Dependiente: Elementos Expuestos* 24
Tabla 3 *Valores de Cb respecto al volumen del embalse*.....54
Tabla 4 *Taludes estructurales de la represa Mulacorral*.....66
Tabla 5 *Hidrograma de onda de rotura*.....69
Tabla 6 *Puntos focales establecidos para la toma y análisis de los datos.*.....75
Tabla 7 *Resultados de calado y velocidad máximo en Manzana Huayco.*.....78
Tabla 8 *Resultados de calado y velocidad máximo en la subida a Pasa.* 80
Tabla 9 *Resultados de calado y velocidad máximo en Aguaján.* 82
Tabla 10 *Resultados de calado y velocidad máximo en La Victoria.*.....84
Tabla 11 *Resultados de calado y velocidad máximo en El Progreso.* 86
Tabla 12 *Resultados de calado y velocidad máximo en la entrada a Ambato.*.....88
Tabla 13 *Resumen de los calados registrados* 90
Tabla 14 *Resumen de las velocidades de flujo registradas*.....91
Tabla 15 *Elementos expuestos y afectación de estos.* 94
Tabla 16 *Escalas afectación a los elementos expuestos.* 136
Tabla 17 *Resumen afectaciones a los elementos expuestos.* 137
Tabla 18 *Afectación a las vías aguas abajo de la represa Mulacorral en (m).* 138
Tabla 19 *Clima en las inmediaciones de la Represa Mulacorral.* 142
Tabla 20 *Proceso de llenado de la represa Mulacorral.* 145
Tabla 21 *Consideraciones de fallas geológicas que atraviesan la zona de estudio.* 148
Tabla 22 *Equipo responsable del Plan de Emergencias.*.....150
Tabla 23 *Recursos del sistema tecnológico para alertar a la población expuesta.*.....153
Tabla 24 *Factores que implican en la falla de la Represa.*.....159
Tabla 25 *Medidas para las condiciones normales del Escenario 0.*.....161
Tabla 26 *Medidas a tomar si la amenaza se activa.* 162
Tabla 27 *Medidas a tomar si la amenaza es inminente.* 162
Tabla 28 *Medidas a tomar si el evento está en curso.* 163
Tabla 29 *Medidas a tomar después de la emergencia.* 163
Tabla 30 *Niveles para la rotura de las represas.*.....164
Tabla 31 *Características del modelamiento.* 164
Tabla 32 *Puntos seguros de las poblaciones expuestas.*.....166
Tabla 33 *Demanda de agua en Litros/día para la zona afectada*.....170

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1 *Cronograma (Gantt).* 177
Anexo 2 *Presupuesto Ejecutado.* 178
Anexo 3 179
Anexo 4 179
Anexo 5 180
Anexo 6 180
Anexo 7 181
Anexo 8 181
Anexo 9 182

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1 *Mapa del área de estudio y ubicación de la represa Mulacorral*.....26
Gráfico 2 *Mapa del Modelo Digital de Elevación de la zona de estudio.* 61
Gráfico 3 *Mapa de la Geometría aguas debajo de la represa Mulacorral* 62
Gráfico 4 *Estructura física de la represa Mulacorral* 62
Gráfico 5 *Forma relativa de la brecha.* 67
Gráfico 6 *Hidrograma tipo campana comparativo entre ambos escenarios.* 70
Gráfico 7 *Ingreso de la geometría en el software IBER.* 71
Gráfico 8 *Ingreso del hidrograma de onda de rotura en el software IBER*.....71
Gráfico 9 *Establecimiento de las condiciones de contorno (entra y salida).*.....72
Gráfico 10 *Ingreso del mallado en el software IBER.* 72
Gráfico 11 *Ingreso del uso de suelo y rugosidad en el mallado del proyecto* 73
Gráfico 12 *Ingreso en la topografía en el mallado del proyecto.* 74
Gráfico 13 *Postproceso de los resultados obtenidos en la simulación.* 74
Gráfico 14 *Mapa de ubicación de los puntos para la toma y análisis de los resultados.* 75
Gráfico 15 *Mapa del calado máximo producto del desbordamiento de la represa Mulacorral.* 76
Gráfico 16 *Mapa de la velocidad máxima del flujo producto del desbordamiento de la represa Mulacorral.* 77
Gráfico 17 *Puntos de la toma de las medidas del calado en Manzana Huayco.* 78
Gráfico 18 *Puntos de la toma de las medidas de la velocidad máximo del flujo en Manzana Huayco.* 78
Gráfico 19 *Puntos de la toma de las medidas del calado en la subida a Pasa.*.....80
Gráfico 20 *Puntos de la toma de las medidas de la velocidad máximo del flujo en la subida a Pasa.*80
Gráfico 21 *Puntos de la toma de las medidas del calado en Aguaján.*.....82
Gráfico 22 *Puntos de la toma de las medidas de la velocidad máximo del flujo en Aguaján.* 82
Gráfico 23 *Puntos de la toma de las medidas del calado en La Victoria.* 84
Gráfico 24 *Puntos de la toma de las medidas de la velocidad máximo del flujo en La Victoria.*.....84
Gráfico 25 *Puntos de la toma de las medidas del calado en El Progreso.* 86
Gráfico 26 *Puntos de la toma de las medidas de la velocidad máximo del flujo en El Progreso.*.....86
Gráfico 27 *Puntos de la toma de las medidas del calado en la entrada a Ambato.* 88
Gráfico 28 *Puntos de la toma de las medidas de la velocidad máximo del flujo en la entrada a Ambato.* 88
Gráfico 29 *Grafica de barras de los calados registrados en los 6 sectores* 90
Gráfico 30 *Grafica de barras de las velocidades del flujo registradas en los 6 sectores*.....91
Gráfico 31 *Mapa de los elementos expuestos producto al desbordamiento (tramo 1)*.....92
Gráfico 32 *Mapa de los elementos expuestos producto al desbordamiento (tramo 2)*.....93
Gráfico 33 *Mapa de vías afectadas producto del desbordamiento de la represa Mulacorral.* 138

Gráfico 34 *Mapa referencial de las vías de accesibilidad a la represa Mulacorral.* 143
Gráfico 35 *Estructura y partes de la represa Mulacorral.* 147
Gráfico 36 *Encargados de la seguridad de la represa.* 152
Gráfico 37 *Niveles de alerta de la represa Mulacorral.* 157
Gráfico 38 *Flujograma para el sistema de comunicación.* 165
Gráfico 39 *Mapa de ubicación del punto seguro 1.* 167
Gráfico 40 *Mapa de ubicación del punto seguro 2.* 167
Gráfico 41 *Mapa de ubicación del punto seguro 3.* 168
Gráfico 42 *Mapa de ubicación del punto seguro 4.* 168

RESUMEN

El presente proyecto de investigación denominado **"AMENAZA DE DESBORDAMIENTO Y LOS ELEMENTOS EXPUESTOS EN LA ZONA DE INCIDENCIA DE LA REPRESA MULACORRAL DEL CANTÓN AMBATO"** tiene como objetivo "evaluar la amenaza de desbordamiento y los elementos expuestos en la zona de incidencia de la Represa Mulacorral del Cantón Ambato"; para ello, se aplicó una metodología con un enfoque cuantitativo, de alcance descriptivo y con un razonamiento deductivo, lo que permitió establecer el nivel de amenaza y, a su vez, identificar los elementos que podrían verse afectados en caso de presentarse dicho evento. Como parte del estudio, se desarrolló un modelamiento hidráulico de la avenida producto del desbordamiento y posible rotura de la represa. Los resultados reflejaron una amenaza muy alta, debido al alto nivel destructivo evidenciado en los valores de calado y la velocidad del flujo de agua. Así mismo, se determinó que aproximadamente 210 familias se verían afectadas de manera directa y cerca de 22.000 familias de manera indirecta, estas últimas debido a la afectación de dos infraestructuras clave tanto para el desarrollo agrícola como para el abastecimiento de agua potable. Frente a esta problemática, se elaboró un plan de emergencia para la represa, con protocolos que brindan estrategias de respuesta dirigidas a los operadores, autoridades y habitantes de la zona, con el fin de reducir las consecuencias ante un eventual desbordamiento y futura rotura de la estructura.

Palabras clave: Amenaza de desbordamiento; Represa Mulacorral; Modelamiento hidráulico; Elementos expuestos; Plan de emergencia

ABSTRACT

The present research project entitled **"OVERFLOW HAZARD AND EXPOSED ELEMENTS IN THE IMPACT ZONE OF THE MULACORRAL DAM IN THE AMBATO CANTON"** aims to evaluate the overflow hazard and the exposed elements in the impact zone of the Mulacorral Dam. A quantitative methodology with a descriptive scope and deductive reasoning was applied, which made it possible to establish the level of hazard and identify the elements that could be affected in the event of such an occurrence. As part of the study, a hydraulic modeling of the flood caused by the overflow and potential failure of the dam was developed. The results revealed a very high hazard due to the destructive levels evidenced in water depth and flow velocity values. It was also determined that approximately 210 families would be directly affected, and about 22,000 families indirectly, the latter due to the impact on two key infrastructures for both agricultural development and drinking water supply. In response to this issue, an emergency plan for the dam was prepared, including protocols that provide response strategies aimed at operators, authorities, and residents of the area, in order to reduce the consequences in the event of a possible overflow and future failure of the structure.

Keywords: Overflow hazard; Mulacorral Dam; Hydraulic modeling; Exposed elements; Emergency plan

INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas, el mundo ha mostrado una creciente preocupación por los desastres, en especial los de origen natural, lo que evidencia que estos deben ser abordados como un problema estructural que afecta directamente al desarrollo económico y social. Por ello, su gestión requiere un enfoque sistemático e integral, con acciones coordinadas desde los niveles globales hasta los locales.

En este contexto, el cantón Ambato, ubicado en la provincia de Tungurahua, enfrenta diversas amenazas naturales, entre las que destaca el riesgo de desbordamiento de la represa Mulacorral. Esta infraestructura, cuya función principal es la regulación hídrica, representa una amenaza latente para las poblaciones asentadas aguas abajo, especialmente ante eventos extremos como lluvias intensas o sismos. La posible rotura o desbordamiento de esta represa pondría en riesgo a múltiples elementos expuestos, incluyendo la vida humana, viviendas, infraestructura vial, servicios básicos y medios de subsistencia.

El área de incidencia de la represa Mulacorral requiere una atención especial, ya que los posibles impactos derivados de un evento de este tipo podrían tener consecuencias graves tanto para la integridad física y psicológica de la población como para el funcionamiento territorial. Por ello, resulta fundamental identificar, caracterizar y evaluar los elementos expuestos ante esta amenaza, con el fin de establecer medidas preventivas que contribuyan a la reducción del riesgo y a la planificación adecuada del territorio.

El presente proyecto de investigación está conformado por cinco capítulos que se detallan a continuación:

CAPÍTULO 1: “El Problema”, se detalla el problema de investigación, los objetivos, la justificación y las limitaciones en desarrollo del trabajo.

CAPÍTULO 2: “Marco Teórico”, contiene los antecedentes investigativos, las bases teóricas y conceptuales, se profundizan en las variables planteadas.

CAPÍTULO 3: "Marco Metodológico", se describe la metodología que incluyen el tipo y enfoque la investigación, el método de la investigación, además, se establece la población, de igual forma, contiene las técnicas de recolección de información, procesamiento y presentación de resultados.

CAPÍTULO 4: "Resultados según los objetivos planteados", en este capítulo, se presentan los resultados obtenidos de acuerdo a cada objetivo específico de la investigación.

CAPÍTULO 5: "Conclusiones y Recomendaciones", se establece las principales conclusiones del estudio y las recomendaciones que deberían ser aplicadas para la efectiva respuesta ante la posible rotura y posterior desbordamiento de la represa Mulacorral.

Finalmente, se incluye la bibliografía y los anexos.

CAPÍTULO 1. EL PROBLEMA

1.1 Planteamiento del problema

A lo largo de la historia, el Ecuador ha sufrido una serie de eventos catastróficos como inundaciones y desbordamientos causados por el fenómeno de El Niño, los desbordamientos se dan por la suma de algunos factores como la cantidad y la distribución de la lluvia ya sea constante, intensa o en periodos de tiempo. Los desbordamientos también se relacionan con la topografía, la vegetación y el tipo de suelo de la cuenca, las condiciones de humedad del terreno y del rio incluidas las obras hidráulicas como canalizaciones o represas. Dentro del territorio nacional se encuentran numerosas obras hidráulicas como represas que son vitales para el suministro de agua potable, control de inundaciones y riego agrícola, en algunas ocasiones se han visto afectados por causas meteorológicas (León Baque et al., 2021).

En Ecuador, las épocas lluviosas están presentes entre noviembre y junio. La lluvia en los Andes de Ecuador está influenciada principalmente por la Zona de Convergencia Intertropical y por el fenómeno de El Niño y La Niña, las anomalías de temperatura en la superficie del océano Atlántico y en menor grado en la superficie del océano Pacífico. En los páramos del Ecuador, la lluvia está formada principalmente por humedad atmosférica que proviene de la selva amazónica o de la costa (Mosquera et al., n.d.).

Por consiguiente, los riesgos hidrológicos en Ecuador son significativos debido a factores como la variabilidad climática, la topografía y la gestión del agua, los mismos que han causado inundaciones, sequías, deslizamientos de tierra y otros desastres relacionados con la hidrología. Estos riesgos no solo afectan al medio ambiente, sino que también pueden causar un impacto directo en la economía, la infraestructura y la calidad de vida de las personas, particularmente las poblaciones asentadas en los cauces de los ríos (Roy-Gilchrist Noboa Azín Sariha Moya Angulo Arturo Félix Wong Zaida Rovira Jurado Mónica, n.d.).

La provincia de Tungurahua se ubica en el centro del país; su capital es Ambato, en la región andina. La provincia cuenta con ríos como el Huapante, Talatag, Quillopaccha, el Golpe, Puca-chuayco y el Cutuchi, que son parte de las vertientes que posee la provincia, engrosando su caudal con varios afluentes, formando el río Patate, que se une con el río Ambato y el Pachanlica. Así mismo se encuentran represas importantes como el Mulacorral y Chiquiurco y la represa Chiquicahua en construcción, las cuales son un componente vital para la gestión del recurso hídrico en la región central del Ecuador y el abastecimiento de agua para riego y consumo.

La represa Mulacorral, ubicada en la cuenca alta del río Ambato, se encuentra en una zona con constante actividad sísmica debido a la presencia de diversas fallas geológicas que atraviesan la provincia. Esta condición incrementa el riesgo de una posible falla estructural en la infraestructura. En el año 2016, a causa de un movimiento sísmico, se registró el desplazamiento y posterior rotura de un tramo de tubería de PVC a presión, utilizada para trasladar aproximadamente 450 litros por segundo desde la toma El Sombrero hasta la represa.

Del mismo modo la influencia del cambio climático ha alterado los patrones de precipitación en la región. En el mes de abril hasta mediados del mes de julio del 2021 se presentaron fuertes lluvias en las zonas altas, por lo que superaron la capacidad de almacenamiento y control de la represa. En la quebrada de Pucata, ubicada a 5.2 km de la represa Mulacorral, las lluvias torrenciales ocasionaron el represamiento en la estructura del aliviadero de Pucata, por donde estuvo ingresando un caudal de 1 m^3/s al embalse. Estas precipitaciones provocaron niveles de agua elevados que ocasionaron el socavamiento sobre la plataforma de la vía Flores, inundación de viviendas y cultivos de las poblaciones que se encuentran en las riberas de los ríos Calamaca y Ambato. Estos sucesos se han venido presentando hasta la actualidad durante los meses lluviosos.

Estos fenómenos no solo agravan el riesgo de desbordes, sino que también pueden acelerar el deterioro de los materiales y estructuras de la represa, incrementando la probabilidad de filtraciones y fallas en sus componentes críticos. La combinación de factores naturales y el desgaste propio de una infraestructura de esta magnitud plantea un escenario de vulnerabilidad creciente, en el que la seguridad hídrica y la protección de las poblaciones locales se ven amenazadas.

1.2 Formulación del Problema

¿Cuál es el nivel de amenaza ante desbordamiento y los elementos expuestos en la zona de incidencia de la Represa Mulacorral del Cantón Ambato?

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Evaluar la amenaza de desbordamiento y los elementos expuestos en la zona de incidencia de la Represa Mulacorral del Cantón Ambato.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Elaborar un modelamiento del desbordamiento de la represa Mulacorral, utilizando datos relevantes y herramientas de simulación IBER.
- Determinar los elementos expuestos ante la zona de afectación del posible desbordamiento de la represa Mulacorral del cantón Ambato.
- Definir un Plan de Emergencias con lineamientos generales que contemple acciones preventivas y protocolos de respuesta ante un posible desbordamiento de la represa Mulacorral.

1.4 Justificación

El presente proyecto tiene como objetivo realizar un análisis exhaustivo de la situación actual de la represa Mulacorral, una infraestructura de gran importancia para la cuenca del río Ambato y las poblaciones que dependen de sus recursos. Debido a su antigüedad y a las condiciones climáticas y geológicas de la región, la represa presenta un alto grado de vulnerabilidad ante fenómenos naturales como sismos y cambios extremos en el clima. Esta situación plantea un riesgo significativo, no solo para la estructura misma, sino también para las comunidades que habitan en las zonas aguas abajo.

Una falla en la represa podría desencadenar inundaciones catastróficas, con graves consecuencias para las personas, sus hogares y medios de vida, así como para el medio ambiente. Por tanto, es fundamental evaluar las posibles consecuencias de la rotura de la represa y determinar el nivel de exposición de las poblaciones aledañas, que serían las más afectadas en caso de un evento adverso.

Este análisis no solo se limita a comprender los riesgos, sino que también busca diseñar un plan de emergencia que permita mitigar los efectos de una posible rotura. Este plan incluirá estrategias de evacuación, sistemas de alerta temprana y medidas preventivas para reducir el impacto en la vida y la infraestructura. La implementación de este será un componente vital, ya que puede marcar la diferencia entre una respuesta efectiva y una catástrofe.

En el contexto de la represa Mulacorral, la planificación adecuada de un plan de emergencias involucra la identificación de rutas de evacuación, la capacitación de las comunidades en su uso, la instalación de señalización clara y la realización de simulacros periódicos para asegurar que la población esté preparada ante una eventualidad. Así mismo, la creación de un sistema de alerta temprana será esencial para advertir a las comunidades sobre posibles fallas estructurales o condiciones meteorológicas extremas que puedan comprometer la estabilidad de la represa.

La realización de este estudio es urgente, dado que la represa se encuentra en una zona de alta sismicidad y los efectos del cambio climático están intensificando las lluvias y alterando los patrones hidrológicos. Este proyecto responde, además, a la necesidad de cumplir con las normativas de seguridad vigentes y de salvaguardar el bienestar de las comunidades locales, alineándose con la legislación ecuatoriana que prioriza la protección de las infraestructuras estratégicas y la reducción del riesgo de desastres.

Los beneficiarios de este proyecto incluyen las comunidades que viven aguas abajo de la represa, quienes van a disponer de un plan de emergencia y un sistema de alerta temprana, además las autoridades locales y regionales que gestionan la infraestructura y la seguridad pública, al contar con un marco de acción que fortalezca la resiliencia de la región ante desastres, por ende las organizaciones de socorro y emergencia podrán optimizar sus respuestas en caso de un evento crítico gracias a la capacitación y los simulacros realizados en la comunidad, así mismo, la protección de la represa contribuirá a la conservación de los ecosistemas locales y a la prevención de desastres ecológicos causados por inundaciones.

Este enfoque integral no solo busca abordar los riesgos inmediatos asociados a la represa Mulacorral, sino también promover una cultura de prevención y preparación en las comunidades locales, fortaleciendo su capacidad de respuesta ante emergencias.

1.5 Operacionalización de variables

Tabla 1

Variable Independiente: Desbordamientos

Variables	Definición Conceptual	Dimensiones	Indicadores	Escala	Instrumento
Desbordamiento	Desbordamiento de cuerpos de agua, como un río, lago o embalse, es en el que el agua rebasa o rompe diques, lo que provoca el escape de agua de sus límites.	Caudal	Caudal mínimo, medio, y máximo. Fluctuación del caudal	• Caudal mínimo: 0 • Caudal Máximo: Q_p=Caudal Pico	Hidrograma de onda de rotura
		Calado	Calados máximos	• Bajo: (≤ 0,30 – 0,50 m) • Medio: (0,50 – 1,50 m) • Alto: ≥ (1,50 m en adelante)	Modelo de simulación hidráulica tridimensional (IBER)
		Velocidad	Velocidad máxima del flujo.	• Lenta: (≤ 0,5 – 1,0 m/s) • Moderada: (1,0 – 2,5 m/s), • Rápida: (≥ 2,5 – 3,0 m/s en adelante)	

Nota. Se realiza la operacionalización de la variable Independiente (Desbordamiento) Fuente:

(Elaboración propia, 2025).

Tabla 2

Variable Dependiente: Elementos Expuestos

Variables	Definición Conceptual	Dimensiones	Indicadores	Escala	Instrumento
Elementos Expuestos	Se refiere a todos aquellos bienes, personas, infraestructura, ecosistemas y actividades económicas que se encuentran en las zonas potencialmente afectadas por un evento peligroso. Estos elementos están expuestos al riesgo de sufrir daños físicos, económicos o ambientales debido a la ocurrencia de este evento.	Población	Número de personas afectadas	• Ninguna • Baja: (<100) • Moderada: (100-500) • Alta: (>500)	Datos impartidos por la prefectura de Tungurahua, obtenidos en estudios anteriores.
			Grado de vulnerabilidad de la población	• Leve • Moderado • Grave	
		Infraestructura crítica	Número de infraestructuras críticas afectadas	• Ninguna • Pocas: (<5), • Moderadas: (5-10) • Alta: (>10)	Sistema de Información Geográfica (ArcGIS) Con la información obtenida del modelamiento hidráulico
			Grado de afectación en infraestructuras	• Leve • Moderado • Grave	
		Viviendas	Número de viviendas afectadas	• Ninguna • Pocas (<10) • Moderadas (10-50) • Alta (>50)	
			Tipo de daño a viviendas	• Daños materiales • Daños materiales con riesgo potencial de vidas humanas	Sistema de Información Geográfica (ArcGIS)
		Vías	Kilómetros o metros de vía afectados	• Bajo: (<1km) • Moderado: (1km-5km) • Alto: (5km para delante)	

Nota. Se realiza la operacionalización de la variable Dependiente (Elementos Expuestos).

Fuente: (Elaboración propia, 2025)

1.6 Idea a defender

El modelamiento de inundaciones ante un posible fallo en la represa Mulacorral permitirá identificar con precisión los elementos expuestos en las zonas potencialmente afectadas, como viviendas, infraestructuras críticas, tierras agrícolas y recursos naturales, esta información será clave para proponer medidas de reducción de riesgo específicas y adecuadas, minimizando los impactos negativos de una eventual rotura.

CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO

2.1 Descripción del área de estudio

La represa Mulacorral pertenece a la parroquia San Fernando, está ubicada a 42 kilómetros en dirección noroeste de la ciudad de Ambato en la provincia de Tungurahua a 3860 m,s,n,m, forma parte de los vasos de regulación de la cuenca alta del río Ambato, entro en funcionamiento desde el año 2008 con el objetivo de disminuir el creciente déficit de agua que soporta la provincia y su capital, mediante la regulación de caudales naturales en el embalse, en donde se almacena los excedentes de los meses lluviosos, para constituir una reserva que sirva cuando los caudales sean insuficientes de esta manera abastecer el canal de riego Ambato-Huachi-Pelileo, así también dotar de agua potable a una parte de la ciudad de Ambato, la represa Mulacorral tiene una capacidad de 3,14 millones de metros cúbicos, 332 metros de longitud y 32,20 metros de altura para el almacenamiento (El agua se asegura en Tungurahua, s, f,) .

Gráfico 1

Mapa del área de estudio y ubicación de la represa Mulacorral



Nota. El Gráfico muestra el área de estudio además y ubicación de la represa Mulacorral. Fuente: (Elaboración propia, 2025)

El área de estudio se localiza aguas abajo de la represa de Mulacorral, siguiendo el curso del río Ambato hasta la entrada de la ciudad. En el primer tramo, el río desciende desde aproximadamente 3800 m.s.n.m. en la zona alta hacia altitudes medias, formando angostos valles con pendientes pronunciadas, terrazas fluviales y sectores con quebradas afluentes que drenan las laderas montañosas. De esta manera extendiéndose por áreas rurales esparcidas dedicadas a la agricultura y la ganadería, así como pequeños asentamientos pecuarios situados cerca de la ruta de acceso a las poblaciones de San Fernando y Augusto Martínez.

Conforme el río avanza hacia la cuenca media, el cauce se ensancha progresivamente y empieza a interactuar con infraestructura hidráulica, vial y productiva que utiliza o cruza el sistema hídrico. Antes de llegar a la ciudad de Ambato, el río recibe aportes de varias quebradas estacionales y atraviesa sectores intervenidos por encauzamientos, muros de protección y obras de control. Al final del trayecto en el límite con la zona urbana, el río discurre por un entorno más modificado, con presencia de viviendas, áreas agrícolas remanentes, industrias y estructuras de saneamiento, convirtiéndolo en una zona con elevada concentración de elementos expuestos.

2.2 Antecedentes de la investigación

"Análisis de Inundación por Rotura de Represa Utilizando el Modelo HEC-RAS 2D: Caso de Estudio de la Represa Mulacorral, provincia de Tungurahua, Ecuador" para este estudio se consideró el planteamiento de escenarios hipotéticos, en los que se asume que el fallo de la represa no está asociado con algún evento sísmico o hidrológico, para realizar los escenarios se consideró 8 caudales pico de 2999,7 m3/s y de acuerdo al criterio de Bureau of Reclamation (1998) de adoptar el escenario más desfavorable, se presenta el modelo de Froehlich por desborde, de acuerdo al modelamiento se estima que las riberas del río y la infraestructura presentan afectaciones, además los sectores al ingreso de la ciudad de Ambato como el puente Jaramillo, el Socavón y el puente Curvo (Vista de Análisis de Inundación Por

Rotura de Presa Utilizando El Modelo HEC-RAS 2D: Caso de Estudio de La Presa Mulacorral, Provincia de Tungurahua, Ecuador, n.d.).

Este estudio brinda un modelamiento de inundación utilizando el modelo HEC-RAS 2D del embalse Mulacorral, se enfoca principalmente en la rotura de la represa y determina cual es la extensión de la inundación, la velocidad y el tiempo de llegada en los diferentes puntos aguas abajo de la represa, al ser el mismo que se expondrá en este proyecto pero con diferentes objetivos, lo cual nos ayudará hacer una relación comparativa de resultados entre los dos modelos adoptando otro tipo de medidas y cálculos. De esa manera nos proporciona información crucial para la planificación de gestión de emergencias, como el diseño del Plan de Emergencias para la seguridad de la represa y la protección de la población expuesta.

La investigación sobre el "MODELAMIENTO HIDRÁULICO A MÁXIMA AVENIDA DEL ALIVIADERO DE DEMASÍAS DE LA REPRESA DE CONDOROMA AREQUIPA" realizado por Stretz Ramos y Cristian Joseph de la Universidad Católica de Santa María se enfoca en el análisis del "Aliviadero de Demasías" se encuentra ubicado en el Embalse de Condoroma el cual está localizado al Sur del Perú, el Aliviadero está conformado por un canal, 2 pozas y enrocado, se encarga de la seguridad del sistema hidráulico. Así también disipa energía para no provocar caudales destructivos de tal manera la energía que libera por esta estructura no es suficiente, con el pasar del tiempo viene sufriendo un proceso erosivo muy severo, estas descargas han hecho que el enrocado sea removido y arrastrado dejando un socavamiento en la quebrada (A. De et al., 2021).

El estudio se enfoca en analizar el comportamiento y evaluar el funcionamiento a máxima avenida del Aliviadero de demasías de la represa de Condoroma para conocer las limitaciones y carencias del diseño actual para comprobar su capacidad máxima de evacuación que es de 1300 m3/s, en base al modelamiento la disipación de energía a la salida del aliviadero es inversamente proporcional al caudal de flujo. Esto quiere decir, que a mayor caudal menor disipación, pese a esta afirmación, la disipación de energía que se tiene entre el

caudal más alto de 1300 m3 y el más bajo 433 m3, no excede los 2% de diferencia caudales altos, el aliviadero presenta inestabilidad de flujo lo que hace que rebose en distintas estructuras hidráulicas, Este estudio nos permite conocer cómo operan los Aliviaderos en los embalses que permite la seguridad del sistema hidráulico que puede ayudar en épocas lluviosas cuando la cota del caudal suba.

Una investigación realizada por Ricardo Vinicio Abril Saltos, Fabricio Antonio Ríos Rodríguez y Miriam Raquel Morocho Noboa sobre los "Efectos socioambientales de avenida torrencial en Río Pindo, Pastaza, Ecuador" el estudio se enfocó en identificar los principales efectos ambientales ocurridos por el desbordamiento del río Pindo Grande en la parroquia Shell y conocer el estado de preparación ante emergencias de la población que está ubicada en los barrios aledaños al río las mismas que se encuentran expuestas a riesgo por crecidas, lluvias torrenciales que han dejado afectaciones en el servicio eléctrico, daños en viviendas y destrucción de carreteras y vías de acceso (Saltos et al., 2023).

En el estudio fue considerado 135 personas como muestra y de acuerdo a las encuestas realizadas al menos la mitad de los encuestados han presenciado eventos de crecida de lluvias y destrucción de puentes y caminos, un 69% de la población no ha recibido capacitación, con más de un 10% de reporte de los encuestados encontramos en técnicas de primeros auxilios y simulacros, un 45% de los encuestados reporta poseer linterna y un 16% equipo de primeros auxilios, en la distancia al punto seguro, más del 50 % de encuestados se encuentra entre 101 a 500 m del punto seguro y un 25% está entre 11 a 100 m. Este estudio nos permite ver la problemática de las poblaciones asentadas de manera irregular ya sea en quebradas u orillas de los ríos en distintas zonas del Ecuador, considerando esto es importante conocer el estado de preparación ante emergencias de las comunidades posterior a eso plantear un plan de emergencia identificando las rutas de evacuación y zonas seguras de esa manera preparar a la comunidad ante el posible desbordamiento de la represa.

Un proyecto enfocado en la “Vulnerabilidad física de las poblaciones expuestas ante el posible colapso del embalse Chiquiurco del cantón Ambato, provincia de Tungurahua” se enfoca en determinar las áreas más inundables y el nivel de vulnerabilidad física de la población en caso de darse el colapso de la represa por los procesos erosivos que afectan la tierra y al estar construido con materiales sueltos con rocas en escalón de grava y material impermeable compactado en el núcleo aguas arriba presentando así un riesgo mayor a deteriorarse y debilitar la estructura del embalse(Carrera Beltrán et al., 2024)

Según el modelamiento las afectaciones por el evento del colapso del embalse de las parroquias San Fernando, Pasa y Pilahuín, se observa que las zonas inferiores de las parroquias San Fernando, Pasa y la zona superior de la parroquia Pilahuín sufrirán afectaciones por que se encuentran cercanas al cauce del río, además se observa que se debe por la topografía del lugar donde se puede observar que el cauce del río se encuentra a una altura de 2900 m.s.n.m., mientras que los centros poblados de las parroquias se encuentran a una altura promedio de 3000 m.s.n.m., teniendo una diferencia de 100 metros lo que no hace factible la inundación de las áreas más pobladas, sin embargo también existen sectores poblados en el cauce del río.

El estudio nos proporciona información de la represa Chiquiurco que está ubicada en la misma zona geográfica de la represa Mulacorral y desembocan a la misma cuenca del río Ambato lo cual agrava la situación de la población en caso de producirse la rotura de los dos embalses. Además, esta investigación nos brinda información de las infraestructuras y las principales actividades a los cuales se dedican los habitantes de la zona, el cual nos ayudará para nuestra investigación que tiene como objetivo contabilizar cuantas familias y bienes materiales serán afectados.

2.3 Bases Teóricas

2.3.1 Desbordamiento

Un desbordamiento de agua, también conocido como inundación, ocurre cuando un cuerpo de agua, como un río, lago o incluso un canal, supera su capacidad y se extiende sobre áreas que normalmente están secas. (Federal Emergency Management Agency (FEMA), 2025) Este fenómeno puede ser causado por fuertes lluvias, deshielo rápido, marejadas ciclónicas o la rotura de represas.

Tras suscitarse un desbordamiento ya sea por una rotura de un embalse, represa o hidroeléctrica por sucesos climáticos, puede llegar a producir inundaciones de menor o mayor escala dependiendo la gravedad del evento.

2.3.2 Inundación

Las inundaciones se producen cuando el agua excede los límites normales de un arroyo, río u otro cuerpo hídrico, o cuando se acumula en áreas que normalmente están secas. Existen dos tipos principales de inundaciones (Federación Internacional de Sociedades de la Cruz Roja y de la Media Luna Roja, 2024):

- **Inundaciones lentas:** Se desarrollan a lo largo de horas o días.
- **Inundaciones repentinas:** Ocurren de manera abrupta, a menudo sin aviso previo, generalmente como resultado de intensas lluvias.

Aunque las inundaciones anuales son un fenómeno natural en diversas regiones del mundo, las prácticas relacionadas con el uso del suelo y la construcción han incrementado tanto la frecuencia como la magnitud de estos eventos. Además, se anticipa que el cambio climático provocará un aumento en la gravedad y la regularidad de las inundaciones en el futuro. Estos eventos pueden ser extremadamente peligrosos y causar daños significativos a personas, al medio ambiente y a bienes materiales dentro de las comunidades afectadas (Federación Internacional de Sociedades de la Cruz Roja y de la Media Luna Roja, 2024).

2.3.2.1 ¿Cuáles son las causas de las inundaciones?

Las inundaciones se pueden causar por varios factores de estas las más comunes son:

- **Lluvias intensas:** Las precipitaciones fuertes constituyen una de las principales razones detrás de las inundaciones a nivel mundial. Cuando se producen grandes volúmenes de lluvia en un breve lapso de tiempo, los ríos, lagos y embalses pueden desbordarse, generando inundaciones. En ciertas ocasiones, la cantidad de lluvia puede sobrepasar la capacidad del suelo para absorberla, lo que provoca escorrentía superficial que inunda áreas adyacentes. Los períodos prolongados de lluvias en una región pueden incrementar la saturación del suelo, elevando aún más el riesgo de inundaciones. Comprender las causas y efectos asociados a las inundaciones por lluvias es fundamental para que las comunidades se preparen ante posibles desastres (EcoFlow, 2024).
- **Deshielo:** El deshielo representa otra causa natural de inundaciones. En regiones con climas fríos, la significativa acumulación de nieve durante el invierno se derrite en primavera, liberando grandes cantidades de agua hacia ríos y arroyos. Esta repentina afluencia puede abrumar los sistemas de drenaje, especialmente si coincide con períodos de lluvia. Las zonas cercanas a áreas montañosas son particularmente susceptibles a inundaciones por deshielo; por ejemplo, en la Ciudad de México, este fenómeno está frecuentemente relacionado con las causas subyacentes de sus inundaciones debido a su proximidad a terrenos elevados (EcoFlow, 2024).
- **Urbanización:** Con el crecimiento urbano, cada vez más espacios naturales son transformados en superficies impermeables como el concreto y el asfalto. Estas superficies dificultan la absorción del agua por parte del suelo, incrementando así la escorrentía superficial. Además, los inadecuados

sistemas de drenaje en áreas urbanas pueden agravar los efectos de lluvias intensas, resultando en inundaciones en calles y alcantarillas desbordadas. La problemática relacionada con las inundaciones es especialmente preocupante para niños en entornos urbanos debido a los riesgos inmediatos que estas situaciones generan y la escasez de lugares seguros durante tales eventos (EcoFlow, 2024).

- **Deforestación:** La deforestación desempeña un papel crucial en el aumento del riesgo de inundaciones. Los árboles y la vegetación funcionan como esponjas naturales al absorber agua y minimizar la escorrentía. Cuando se talan bosques para fines agrícolas o desarrollos urbanos, el terreno queda más expuesto a la erosión e inundaciones. Sin árboles que moderan el flujo del agua, esta puede acumularse rápidamente en áreas circundantes. Este fenómeno está estrechamente relacionado con las causas y consecuencias asociadas a las inundaciones: un incremento en la escorrentía contribuye a que las comunidades cercanas enfrenten inundaciones más severas (EcoFlow, 2024).

2.3.2.2 Efectos de las inundaciones

El producto de las inundaciones puede tener consecuencias terribles en estos ámbitos:

- **Económicas:** Las inundaciones causan la pérdida significativa de bienes materiales, lo que se suma al costo de reconstrucción de las infraestructuras dañadas. Asimismo, pueden tener repercusiones a nivel global; por ejemplo, si un país sufre una gran reducción en la producción de un producto específico, esto puede llevar a una disminución en la oferta, incrementando los precios y obligando a otros países a cubrir esa demanda mediante exportaciones. Además, estas catástrofes pueden dejar a muchas personas sin hogar debido a la destrucción de sus viviendas (Javier Sánchez, 2024).

- **Medio ambientales:** Las inundaciones ocasionan daños en tierras agrícolas y afectan tanto los cultivos como la producción alimentaria. También contribuyen a la propagación de contaminantes, perjudicando tanto a animales como a seres humanos (Javier Sánchez, 2024).
- **Salud:** Este fenómeno aumenta el riesgo de enfermedades transmitidas por vía fecal-oral y facilita la transmisión de patógenos como los que causan malaria, dengue, leptospirosis, fiebre amarilla selvática y cólera. Además, las personas pueden sufrir lesiones debido a caídas de árboles, líneas eléctricas caídas u otros desechos generados por las inundaciones (Javier Sánchez, 2024).

Tanto los desbordamientos como las inundaciones suelen tener un evento desencadenante que en su mayoría son las lluvias fuertes o lluvias torrenciales, que junto con diferentes variables como el tipo de suelo, la vegetación, la topografía y la elevación del terreno, permite que se produzcan desbordamientos de agua e inundaciones.

2.3.3 Lluvia torrencial

Una lluvia torrencial se define como un fenómeno meteorológico que implica una precipitación intensa y abundante en un período breve. Durante este evento, la cantidad de agua que desciende es considerablemente superior a la de una lluvia habitual, resultando en precipitaciones muy fuertes y continuas. Este fenómeno se presenta comúnmente con gotas grandes y pesadas que caen rápidamente de las nubes, generando un mayor impacto al alcanzar el suelo. (Germán Portillo, 2024).

Este tipo de precipitación puede provocar efectos negativos significativos en el medio ambiente y las actividades humanas. La abundante cantidad de agua tiene el potencial de inundar calles, ríos y zonas bajas. Además, la visibilidad se reduce drásticamente debido a la intensidad del aguacero, complicando así la conducción y otras actividades al aire libre. Las lluvias torrenciales son un componente crucial dentro del estudio meteorológico; su

predicción puede variar en cuanto a intensidad y duración, pero generalmente se caracterizan por un flujo rápido y poderoso de agua desde el cielo hacia la Tierra (Germán Portillo, 2024).

2.3.3.1 Causas de una lluvia torrencial

Este proceso se produce cuando el aire húmedo asciende, se enfría y alcanza su punto de saturación. La lluvia torrencial puede ser provocada por diversos factores. Las causas más relevantes son las siguientes

- **Inestabilidad atmosférica:** La inestabilidad se intensifica cuando una masa de aire cálido y húmedo se eleva y se encuentra con aire más frío en alturas superiores (Germán Portillo, 2024).
- **Condensación y liberación de calor:** Este proceso se produce cuando el aire húmedo asciende, se enfría y alcanza su punto de saturación. Durante la condensación, el calor latente se libera, calentando el aire circundante y provocando un ascenso acelerado. Esto fortalece la convección y contribuye a la creación de nubes tormentosas (Germán Portillo, 2024).
- **Interacción de sistemas meteorológicos:** La colisión de diferentes masas de aire, como una corriente cálida y húmeda con una masa fría, puede inducir un ascenso vertical que crea condiciones propicias para lluvias torrenciales (Germán Portillo, 2024).
- **Topografía:** Las precipitaciones intensas son más frecuentes en áreas montañosas debido a los efectos orográficos. El aire húmedo que asciende por las laderas tiende a enfriarse y condensarse, lo que resulta en fuertes lluvias en el lado elevado (Germán Portillo, 2024).
- **Corrientes meteorológicos:** La interacción entre corrientes frías y cálidas puede dar lugar a condiciones ideales para lluvias torrenciales. Esto es especialmente cierto cuando el aire cálido y húmedo es forzado a elevarse

sobre el aire frío; durante estos encuentros frontales suelen producirse lluvias intensas (Germán Portillo, 2024).

- **Convergencia de vientos en niveles bajos:** Cuando los vientos convergen cerca del suelo, el aire tiende a elevarse y enfriarse, lo que puede desencadenar lluvias intensas. Sin embargo, este fenómeno ocurre con menor frecuencia (Germán Portillo, 2024).

2.3.3.2 Consecuencias de una lluvia torrencial

Dependiendo de la magnitud y duración de las lluvias intensas, se pueden presentar diversas repercusiones:

- **Inundaciones:** Una de las consecuencias más frecuentes asociadas a las lluvias torrenciales es la inundación. El gran afluente de agua que se precipita en un breve lapso puede llevar al desbordamiento de ríos y arroyos, así como inundar zonas bajas y calles en entornos urbanos. Esto puede resultar en daños considerables a propiedades, infraestructuras y vehículos. Aquí puedes informarte sobre las causas y efectos de las inundaciones (Germán Portillo, 2024).
- **Deslizamientos de tierra:** Las intensas lluvias pueden provocar la saturación del suelo, lo que incrementa el riesgo de deslizamientos y avalanchas de lodo en zonas montañosas o en terrenos inclinados. Estos fenómenos representan un peligro para las personas y ocasionan daños a la propiedad. En otro artículo, se profundiza sobre los deslizamientos de tierra: sus causas, consecuencias y medidas preventivas (Germán Portillo, 2024).
- **Interrupción de servicios públicos:** Las inundaciones generadas por lluvias torrenciales pueden interrumpir servicios públicos vitales, como la electricidad y el acceso a agua potable. Asimismo, afectan el funcionamiento de sistemas

de transporte incluyendo carreteras y puentes, lo que resulta en problemas de movilidad y limita el acceso a las áreas impactadas (Germán Portillo, 2024).

- **Daños a la agricultura:** Las lluvias intensas pueden perjudicar los cultivos al inundar terrenos y causar erosión del suelo. Esto afecta notablemente la producción agrícola y la seguridad alimentaria (Germán Portillo, 2024).
- **Riesgo para la vida humana:** Las inundaciones repentinas y los deslizamientos de tierra constituyen un serio riesgo para las personas (Germán Portillo, 2024).
- **Impacto ambiental:** Las lluvias torrenciales pueden ocasionar efectos adversos en el medio ambiente, siendo la erosión del suelo, contaminación de cuerpos de agua por arrastre de contaminantes y la destrucción de hábitats naturales. Infórmate sobre los distintos tipos de impactos ambientales aquí (Germán Portillo, 2024).
- **Daños económicos:** Los daños materiales y la interrupción de actividades económicas causados por las lluvias torrenciales pueden generar altos costos tanto para las comunidades como para los gobiernos locales (Germán Portillo, 2024).

Entre los diferentes medios para identificar y evaluar los caudales o las posibles consecuencias del desbordamiento de un sistema hídrico son los modelamientos o modelos hidráulicos, ya que ofrecen un nivel de información más extenso y verídico, estos modelos permiten analizar y predecir el comportamiento del agua bajo distintas condiciones, incorporando datos como precipitaciones, características del terreno, cobertura vegetal, etc.

2.3.4 Modelos Hidráulico

Un modelo hidráulico se define como una representación matemática de un río o de otra vía fluvial, diseñado para analizar el comportamiento hídrico del sistema. A través de estos modelos, es posible simular, investigar y anticipar la dinámica de la red de distribución

de agua, lo que facilita la realización de pruebas, la toma de decisiones y la implementación de soluciones (Cruz, 2022).

Aunque un modelo hidráulico no representa completamente la realidad, proporciona una aproximación bastante precisa al funcionamiento del sistema. Esto resulta crucial para la toma de decisiones significativas en el ámbito de la construcción de infraestructuras hidráulicas. Además, estos modelos son aplicables para describir el flujo del agua en áreas propensas a inundaciones, así como en diversas estructuras hidráulicas como compuertas, alcantarillas, diques, puentes, embalses y vertederos, entre otros (Cruz, 2022).

2.3.4.1 Tipos de modelos hidráulicos

Existen distintos tipos de modelos hidráulicos, entre estos los modelos unidimensionales, bidimensionales y los tridimensionales de los cuales destacan los dos primero que se presentan a continuación:

- **Modelo hidráulico unidimensional:** Este modelo se emplea para analizar el comportamiento de las redes de distribución de agua, especialmente en caudales que fluyen a través de canales regulares. Es particularmente adecuado para situaciones donde los caudales en llanuras de inundación son relativamente bajos. Para anticipar el rendimiento de un sistema hídrico en condiciones de inundaciones extremas, el modelo unidimensional proporciona resultados precisos para anchos de llanura que van desde estrechos hasta moderados (Cruz, 2022).
- **Modelo hidráulico bidimensional:** Por otro lado, el modelo hidráulico bidimensional resulta bastante práctico ya que asume una velocidad media constante en la dimensión vertical, lo que simplifica considerablemente la complejidad numérica del problema. Entre las ventajas del uso de este modelo se encuentra su capacidad para proporcionar datos más concretos al desarrollar el modelo hidráulico, minimizando así las suposiciones y reduciendo la

influencia de opiniones o juicios subjetivos por parte del usuario. Esto conduce a resultados que representan mejor la realidad y sus condiciones (Cruz, 2022).

Para realizar los modelos hidráulicos existen diversos softwares que facilitan su modelación entre el IBER, HEC-RAS, Fluidit Storm, InfoWater Pro y etc. El más utilizado y amigable para su uso y de código abierto es el software IBER este presentado a continuación.

2.3.5 Software IBER

IBER es un software de modelación numeraria utilizado para modelar en dos dimensiones el flujo superficial libre en aguas poco profundas, lo que facilita la realización de simulaciones en un régimen no permanente. Entre sus habilidades se incluyen la simulación de rotura de una represa, la hidrodinámica de los ríos, el traslado de sedimentos y las mareas en estuarios.

Es una herramienta libre y gratuita desarrollada inicialmente mediante una colaboración entre el Centro de Estudios Hidrográficos del CEDEX (España) y la Universidad Politécnica de Cataluña (UPC), entre otros.

Este software permite la obtención de la cota y velocidad del agua en ambas direcciones en el plano bidimensional tanto en el eje x y el eje y. Además, posibilita el trabajo con mallas tanto no estructuradas como estructuradas de volúmenes limitados.

2.3.5.1 Características Principales de IBER

- **Modelo Bidimensional (2D):** Resuelve las ecuaciones de aguas poco profundas (Saint Venant) promediadas en profundidad, lo que permite un análisis detallado del flujo en el cauce y la llanura de inundación.
- **Regímenes de Flujo:** Capaz de simular flujos subcríticos y supercríticos, incluyendo saltos hidráulicos no estacionarios.

- **Método Numérico:** Utiliza un solucionador de volumen finito no estructurado (con mallas de elementos triangulares o cuadriláteros), que se adapta muy bien a geometrías irregulares de los cauces.

2.3.5.2 Módulos Incluidos

- **Hidrodinámico:** Simulación del flujo.
- **Turbulencia:** Modelos para el cálculo de turbulencias.
- **Transporte de Sedimentos:** Permite modelar procesos de erosión y sedimentación.
- **Hábitat Fluvial:** Módulo en desarrollo para la evaluación del hábitat y definición de caudales ecológicos.

2.3.5.3 Interfaz

- Cuenta con una interfaz potente y amigable que facilita las tres etapas del modelado:
- Preproceso: Entrada gráfica de datos y generación de la malla.
- Cálculo: La simulación en sí.
- Postproceso: Visualización y análisis de resultados (gráficos, animaciones, tablas, exportación a GIS).

2.3.6 Elementos expuestos

Los elementos expuestos incluyen todo aquello que podría verse afectado por un evento específico, ya sea de índole natural, social, económica o de otro tipo. Estos abarcan desde recursos tangibles como edificios, ecosistemas, el entorno físico y bienes materiales, hasta elementos más intangibles como la dinámica social, las relaciones humanas, las estructuras económicas y la calidad de vida de las personas.

Además, incluye la estabilidad emocional y psicológica de la comunidad, el acceso a servicios esenciales y el equilibrio ambiental necesario para garantizar la sostenibilidad a largo plazo. En conjunto, estos componentes forman un ecosistema interconectado que, al

verse alterado por un evento, requiere una respuesta que incluya tanto la mitigación de daños como la planificación de acciones que promuevan la recuperación y la rehabilitación estos se pueden clasificar en:

2.3.6.1 Elementos humanos

- **Población:** Todas las personas que viven, trabajan o transitan por zonas vulnerables se consideran parte de la población. Esto incluye comunidades urbanas y rurales con diversas características socioeconómicas. La densidad de población es un factor determinante, ya que las zonas densamente pobladas enfrentan mayores desafíos durante un evento peligroso debido a la limitada capacidad de evacuación y respuesta eficaz. Además, ciertos grupos demográficos, como niños, adultos mayores, personas con discapacidad y mujeres embarazadas, tienden a ser más vulnerables debido a limitaciones físicas y falta de acceso a recursos y necesidades especiales, lo que agrava los riesgos asociados.
- **Salud pública:** Debido a que facilitan la propagación de enfermedades infecciosas, los eventos peligrosos suelen tener un impacto significativo en la salud pública. También pueden causar lesiones y, en muchos casos, la muerte. Además, el colapso de los sistemas de saneamiento aumenta la exposición a residuos peligrosos, lo que agrava los riesgos para la salud. También, los servicios de salud pueden verse sobrecargados o dañados, lo que limitaría su capacidad de respuesta ante una emergencia.

2.3.6.2 Elementos físicos y estructurales

- **Viviendas y edificios:** Entre los elementos más expuestos a eventos peligrosos se encuentran las estructuras residenciales, comerciales e industriales. Su nivel de vulnerabilidad está determinado por factores como la ubicación (cercanía a las zonas de incidencia), el diseño arquitectónico y los materiales de

construcción utilizados. Las viviendas precarias, construidas sin los estándares adecuados, son especialmente propensas a sufrir daños graves o incluso derrumbarse, dejando a familias desplazadas.

- **Infraestructura crítica:** La infraestructura esencial, como carreteras, tuberías, torres de agua, hospitales y sistemas eléctricos, desempeñan un papel vital en el funcionamiento de una comunidad. Estos sistemas pueden fallar o volverse inaccesibles durante eventos peligrosos, lo que dificulta las labores de rescate y recuperación. Los cortes eléctricos prolongados, el bloqueo de las rutas de acceso y la escasez de agua potable aumentan el impacto del desastre y ponen en riesgo tanto las vidas humanas como las actividades económicas.

2.3.6.3 Elementos económicos

- **Cultivos y ganado:** Las zonas rurales que dependen de la agricultura y la ganadería sufren pérdidas económicas significativas durante cualquier período peligroso. En caso de inundación, el exceso de agua puede destruir cultivos, erosionar la superficie de las plantas y destruir los pastizales, poniendo en peligro la seguridad alimentaria de las comunidades. También corren el riesgo de morir o desarrollar enfermedades relacionadas con el agua, lo que agrava el impacto económico a largo plazo, especialmente para los pequeños agricultores y ganaderos.
- **Comercio e industria:** Debido a los daños a edificios, equipos e inventario, empresas de todos los tamaños pueden experimentar interrupciones operativas. Los eventos peligrosos pueden destruir negocios, interrumpir el suministro de energía y agua, o aislar físicamente instalaciones comerciales, lo que afectaría las cadenas de suministro y demanda. Estas interrupciones pueden tener un efecto dominó en las economías locales, regionales y nacionales,

especialmente en sectores donde la industria y el comercio son pilares esenciales.

2.3.6.4 Elementos ambientales

- **Ecosistemas naturales:** Los ecosistemas como humedales, ríos y bosques ribereños suelen sufrir alteraciones significativas durante y después de las inundaciones. Aunque en algunos casos las inundaciones pueden ser parte del ciclo natural de ciertos ecosistemas, eventos extremos pueden desequilibrar la flora y fauna, desplazando especies o destruyendo hábitats clave, la acumulación de sedimentos y escombros puede afectar el flujo natural de los ríos, causando cambios permanentes en su morfología.
- **Suelos y calidad del agua:** El impacto de las inundaciones en los suelos incluye procesos de erosión que reducen su fertilidad y estabilidad, además, los residuos químicos, pesticidas y desechos urbanos que se mezclan con las aguas de la inundación contaminan los suelos y las fuentes hídricas. Esta contaminación afecta tanto a los ecosistemas acuáticos como a las comunidades humanas que dependen de esas aguas para consumo, riego y otras actividades diarias.

2.3.6.5 Elementos culturales

- **Patrimonio cultural y arqueológico:** Los sitios históricos, religiosos y culturales ubicados en zonas propensas corren el riesgo de sufrir daños irreversibles. Dado que estos lugares suelen ser símbolos de identidad y memoria colectiva, la pérdida de estos elementos no solo representa un daño material, sino también un impacto emocional y cultural en las comunidades. Además, dependiendo de la magnitud de los daños, la recuperación y restauración de estos sitios puede ser costosa y, en ciertas situaciones, técnicamente imposible.

2.4 Marco Legal

2.4.1 Constitución del Ecuador

Art, 389,- "El Estado protegerá a las personas, las colectividades y la naturaleza frente a los efectos negativos de los desastres de origen natural o antrópico mediante la prevención ante el riesgo, la mitigación de desastres, la recuperación y mejoramiento de las condiciones sociales, económicas y ambientales, con el objetivo de minimizar la condición de vulnerabilidad. El sistema nacional descentralizado de gestión de riesgo está compuesto por las unidades de gestión de riesgo de todas las instituciones públicas y privadas en los ámbitos local, regional y nacional, El Estado ejercerá la rectoría a través del organismo técnico establecido en la ley, Tendrá como funciones principales, entre otras:

1. Identificar los riesgos existentes y potenciales, internos y externos que afecten al territorio ecuatoriano.
2. Generar, democratizar el acceso y difundir información suficiente y oportuna para gestionar adecuadamente el riesgo.
3. Asegurar que todas las instituciones públicas y privadas incorporen obligatoriamente, y en forma transversal, la gestión de riesgo en su planificación y gestión.
4. Fortalecer en la ciudadanía y en las entidades públicas y privadas capacidades para identificar los riesgos inherentes a sus respectivos ámbitos de acción, informar sobre ellos, e incorporar acciones tendientes a reducirlos.
5. Articular las instituciones para que coordinen acciones a fin de prevenir y mitigar los riesgos, así como para enfrentar, recuperar y mejorar las condiciones anteriores a la ocurrencia de una emergencia o desastre.
6. Realizar y coordinar las acciones necesarias para reducir vulnerabilidades y prevenir, mitigar, atender y recuperar eventuales efectos negativos derivados de desastres o emergencias en el territorio nacional.

7. Garantizar financiamiento suficiente y oportuno para el funcionamiento del Sistema, y coordinar la cooperación internacional dirigida a la gestión del riesgo". (G. De et al., 2018)

Art, 390,- "Los riesgos se gestionarán bajo el principio de descentralización subsidiaria, que implicará la responsabilidad directa de las instituciones dentro de su ámbito geográfico, Cuando sus capacidades para la gestión del riesgo sean insuficientes, las instancias de mayor ámbito territorial y mayor capacidad técnica y financiera brindarán el apoyo necesario con respeto a su autoridad en el territorio y sin relevarlos de su responsabilidad". (G. De et al., 2018)

2.4.2 Políticas y Ordenamiento

Según la definición, infraestructura y clasificación de los recursos hídricos en el Art, 10,- Dominio hídrico público.

a) Los ríos, lagos, lagunas, humedales, nevados, glaciares y caídas naturales,
b) El agua subterránea.
c) Los acuíferos a los efectos de protección y disposición de los recursos hídricos.
d) Las fuentes de agua, entendiéndose por tales las nacientes de los ríos y de sus afluentes, manantial o naciente natural en el que brota a la superficie el agua subterránea o aquella que se recoge en su inicio de la escorrentía.
e) Los álveos o cauces naturales de una corriente continua o discontinua que son los terrenos cubiertos por las aguas en las máximas crecidas ordinarias.
f) Los lechos y subsuelos de los ríos, lagos, lagunas y embalses superficiales en cauces naturales.
g) Las riberas que son las fajas naturales de los cauces situadas por encima del nivel de aguas bajas.
h) La conformación geomorfológica de las cuencas hidrográficas, y de sus desembocaduras.

i) Los humedales marinos costeros y aguas costeras,

j) Las aguas procedentes de la desalinización de agua de mar. (Hugo Del Pozo Barrezueta, 2014)

2.5 Glosario de Términos

1. **Alerta:** Se refiere a un estado de atención declarado con el objetivo de implementar precauciones específicas ante la probable ocurrencia inminente de un evento o situación peligrosa. La declaración de alerta debe ser clara, comprensible y accesible, lo que implica su difusión a través del mayor número posible de medios; además, debe ser emitida de manera inmediata y provenir de fuentes oficiales (Servicio Nacional de Gestión de Riesgos y Emergencia, 2020).
2. **Amenaza:** Es un proceso, fenómeno o actividad humana que tiene el potencial de causar muertes, lesiones u otros efectos adversos en la salud, así como daños a la propiedad, interrupciones sociales y económicas o perjuicios al medio ambiente (Servicio Nacional de Gestión de Riesgos y Emergencia, 2020).
3. **Cambio climático:** Cambio en el estado del clima medible (media o variabilidad) que persiste durante varias décadas o más, y puede ser natural o causado por acciones humanas, como emisiones atmosféricas o uso del suelo.
4. **Calado:** Profundidad de la columna de agua en un canal o conducto abierto, o a la distancia vertical desde la parte más baja del casco de una embarcación hasta la superficie del agua
5. **Caudal:** Se define como el volumen de agua que atraviesa una superficie en un período específico. El caudal se calcula utilizando la fórmula $Q=V/t$, donde Q representa el caudal, V es el volumen y t denota el tiempo. Generalmente, el volumen se mide en litros y el tiempo en segundos (Valdivielso, 2020).

6. **Cuenca hidrográfica:** Una cuenca hidrográfica se define como un territorio que está limitado por las crestas de montañas, colinas o elevaciones, que son denominadas divisorias de aguas (CIIFEN, 2023).
7. **Evacuación:** Es el proceso de trasladar temporalmente personas y bienes a lugares más seguros antes, durante o después de un evento peligroso para garantizar su protección (Servicio Nacional de Gestión de Riesgos y Emergencia, 2020).
8. **Gestión del riesgo de desastres:** Implica la implementación de políticas y estrategias destinadas a prevenir nuevos riesgos, mitigar los ya existentes y gestionar el riesgo residual. Esto contribuye al fortalecimiento de la resiliencia y a la disminución de pérdidas ocasionadas por desastres (Servicio Nacional de Gestión de Riesgos y Emergencia, 2020).
9. **Infraestructuras vitales:** Son un conjunto de estructuras físicas, instalaciones, redes y otros activos que ofrecen servicios esenciales para el funcionamiento social y económico de una comunidad o sociedad (Secretaría General de la Comunidad Andina, 2018).
10. **Plan de emergencia:** Consiste en la definición de funciones, responsabilidades y procedimientos generales para la reacción institucional y la alerta, junto con un inventario de recursos. También incluye la coordinación de actividades operativas y simulaciones para capacitación, con el objetivo de salvaguardar vidas, proteger bienes y restaurar rápidamente la normalidad en la sociedad tras la ocurrencia de un fenómeno peligroso. Este plan propone una organización normativa para las acciones, personas, servicios y recursos disponibles en respuesta al desastre, fundamentándose en una evaluación del riesgo, disponibilidad de recursos materiales y humanos, preparación comunitaria y capacidades locales e internacionales. Establece además una estructura jerárquica funcional para las autoridades involucradas en la atención del desastre, así como un sistema coordinado entre instituciones y recursos tanto

públicos como privados necesarios para alcanzar el objetivo establecido (Secretaría General de la Comunidad Andina, 2018).

11. **Resiliencia:** Es la combinación de fortalezas, atributos y recursos presentes en una comunidad, organización o sistema que pueden ser utilizados para gestionar riesgos de desastres y fortalecer su resistencia.
12. **Riesgo de desastres:** Se refiere a la probabilidad de pérdida de vidas o daños que puedan ocurrir en una comunidad durante un periodo determinado. Este riesgo está influenciado por factores como amenazas, vulnerabilidades y capacidades de respuesta (Servicio Nacional de Gestión de Riesgos y Emergencia, 2020).
13. **Sistema de alerta temprana:** Es un sistema integrado que combina vigilancia, previsión y predicción sobre amenazas; evaluación del riesgo asociado a desastres; así como actividades, sistemas y procesos comunicativos que permiten a individuos, comunidades, gobiernos, empresas y otros interesados tomar medidas preventivas para disminuir los riesgos antes del surgimiento de eventos peligrosos (Secretaría General de la Comunidad Andina, 2018).
14. **Velocidad del flujo:** Es una magnitud vectorial que indica cuán rápido se mueve un fluido (en metros por segundo) y en qué dirección lo hace (Ansys, 2024)
15. **Vulnerabilidad:** Son condiciones determinadas por factores físicos, sociales, económicos o ambientales que incrementan la susceptibilidad al impacto negativo derivado de amenazas sobre personas, comunidades o sistemas (Servicio Nacional de Gestión de Riesgos y Emergencia, 2020).

CAPÍTULO 3. MARCO METODOLÓGICO

3.1 Tipo de la investigación

El presente estudio es de tipo cuantitativo, que combina la recopilación y el análisis de datos. Este enfoque resulta fundamental para abordar de manera integral el modelamiento que se llevará a cabo mediante el uso del software IBER, así como para analizar la exposición de la población frente a los riesgos identificados.

Los datos cuantitativos proporcionaron información precisa y medible acerca de las variables hidrodinámicas, como el caudal, la velocidad de flujo y las áreas susceptibles a inundaciones, generadas a partir de las simulaciones realizadas en el software IBER. Estas métricas serán claves para caracterizar el fenómeno y la evolución de su impacto potencial.

De esta manera, se logró una comprensión más completa y detallada de la problemática, lo que permitió proponer estrategias más efectivas y adaptadas a la realidad de la zona de estudio.

3.2 Enfoque de la investigación

La presente investigación tiene un enfoque descriptivo, el cual resulta ideal para abordar el análisis de la amenaza de desbordamiento y los elementos expuestos en la zona de incidencia de la represa Mulacorral, ya que nos permitió centrar el estudio en la identificación y descripción detallada de las características propias de la represa y las áreas potencialmente afectadas. Este enfoque busca detallar, más que explicar, las particularidades del fenómeno, proporcionando una base sólida para comprender el panorama actual.

Con este enfoque, se pudo recopilar información relevante sobre la estructura de la represa, su estado de conservación, su antigüedad y otros factores técnicos que contribuyen a su vulnerabilidad. De igual manera, permite identificar los elementos expuestos en su zona de influencia, como viviendas, infraestructura vial, tuberías y plantas de tratamiento de agua, junto con las comunidades que podrían estar en riesgo.

3.3 Métodos de la investigación

El presente estudio adoptó un razonamiento deductivo, ya que se partió de principios generales como lo son la hidráulica, la hidrología y la gestión de riesgos, estos aplicados en algo más específico como es el desbordamiento y futura rotura de la represa Mulacorral y la determinación de los elementos expuestos en su zona de incidencia. Esto a partir de una modelación en el campo de la ingeniería hidráulica, para obtener datos como lo son el nivel de amenaza y los daños que se ocasionarían a los elementos expuestos en la zona. De este modo, el proyecto no busca consolidar nuevas teorías, sino adaptar la ya existente al caso de estudio.

De este modo, el razonamiento deductivo nos permitió estructurar la investigación desde un punto de vista más general hacia lo particular, pasando de principios teóricos a un análisis más cuantitativo en el territorio ya delimitado. Así, mediante datos como el volumen del embalse, el caudal pico, los calados, la velocidad del flujo, el tiempo de rotura y los elementos expuestos al evento, se establecieron escenarios para determinar la severidad de la amenaza. Este enfoque garantizo objetividad y precisión, ya que estos resultados parten de procedimientos técnicos-matemáticos que pueden ser replicados y de la misma forma alineados a estándares científicos y normativas de evaluación de riesgos.

3.4 Técnicas e instrumentos de recopilación de datos

Para realizar el modelamiento hidrológico de la represa, se utilizó un Modelo Digital de Terreno (MDT) obtenido mediante tecnología de drones. Esta elección se debió al alto nivel de detalle y precisión que este método ofrece, lo cual es fundamental para representar con exactitud las características topográficas del área de estudio, este proceso se realizó junto con los técnicos del área de Ambiente del GDA de Ambato, lo cuales realizaron el vuelo y procesamiento de las fotografías aéreas y como resultado se nos proporcionó las ortofotos y el MDT del año 2025 con una resolución de 3m por pixel.

Este nos proporcionó datos esenciales sobre la altitud, inclinación y configuración geomorfológica del terreno que rodea la represa y sus alrededores. Lo que permitió identificar con precisión las áreas de captación, los posibles puntos de acumulación de agua, las rutas de escorrentía. Además, se complementó esta información con los datos oficiales sobre la cota de la represa, proporcionados por la Prefectura de Tungurahua; estos datos incluirán detalles técnicos como el nivel máximo de operación y la capacidad de almacenamiento.

Para la determinación de los elementos expuestos, se empleó los datos obtenidos a partir del modelamiento hidrológico, los cuales incluyen el área de afectación y otros parámetros relevantes. Además, se utilizó información poblacional y urbanística tomada de manera manual por nosotros usando el software ArcGIS y las ortofotos proporcionadas. Esta información permitió identificar con mayor precisión las zonas vulnerables, la población expuesta, así como las características urbanísticas que podrían influir en la magnitud del impacto.

Como punto de partida para la realización del plan de emergencia se utilizó una guía técnica española centrada en la elaboración de planes de emergencia para represas. Esta se estructura, en datos generales de la represa, organización de medios y recursos, normas de actuación en emergencias, equipo responsable y escenarios, esto lo adaptamos a la realidad del área de estudio, lo que nos permitió establecer protocolos de emergencia, sistemas de alerta temprana, rutas de evacuación, puntos seguros y atención post desastre.

3.5 Universo / población

El proyecto fue dirigido a la totalidad de la población que se centra en la zona de incidencia del rio Ambato en la parte rural que aproximadamente son 1000 personas sin contar las personas flotantes.

3.6 Procesamiento de la información

3.6.1 Para el objetivo 1

"Elaborar un modelamiento del desbordamiento de la represa Mulacorral, utilizando datos relevantes y herramientas de simulación", se utilizó el software IBER como herramienta principal para el modelado hidráulico del embalse Mulacorral. Este software permitió realizar simulaciones de flujo en ríos y embalses, lo que resulta crucial para evaluar las posibles zonas de afectación en caso de un desbordamiento. Además, se recopilaron datos topográficos e hidrológicos, los cuales fueron procesados y analizados para garantizar la precisión en la representación del comportamiento hidráulico del embalse.

Uno de los factores claves y que sirve como punto de partida para la simulación fue el MDT de la cuenca aguas abajo de la represa, el cual se ingresó junto a diversos parámetros en el software IBER.

Para la obtención de los parámetros necesarios para esta simulación, se utilizó diferentes ecuaciones que nos proporcionaron datos como el caudal pico, el tiempo de falla, el ancho y forma de la brecha, el volumen erosionado y el hidrograma de descarga con respecto al tiempo de la simulación, estos se detallan continuación:

3.6.1.1 Caudal pico

Para este proceso se tomaron ecuaciones de diversos autores y se determinó la más coherente para la simulación teniendo en cuenta el volumen de la represa, estas se presentan a continuación, pero antes se deberá conocer el significado de cada variable.

Donde:

$\boldsymbol{Q}$: $Caudal\ pico$

$\boldsymbol{V_W}$: $Volumen\ de\ agua\ liberado$

$\boldsymbol{h_w}$: $La\ altura\ de\ agua\ sobre\ el\ cimiento$

$\boldsymbol{V_{OUT}}$: $Volumen\ de\ agua\ liberado$

McDonald and Langridge- Monopolis (1984)

$$\boldsymbol{Q} = 1{,}154(V_W * h_w)^{0{,}412}$$

$$\boldsymbol{Q} = 3{,}85(V_W * h_w)^{0{,}411}\ levelope\ equation$$

Evans (1986)

$$\boldsymbol{Q} = 0{,}72 * {V_W}^{0{,}53}$$

Froehlich (1986):

$$\boldsymbol{Q} = 0{,}607 * {V_W}^{0{,}295} * {h_w}^{1{,}24}$$

Pierce et al, (2010)

$$\boldsymbol{Q} = 0{,}038({V_{OUT}}^{0{,}475} * {h_w}^{1{,}09})$$

3.6.1.2 Volumen removido

Se determino el volumen removido que será necesario para determinar la forma de la brecha usando una ecuación de los autores que se presentan a continuación:

McDonald & Langridge definieron el "factor de formación de la brecha" $\mathbf{BFF} = \mathbf{V_{OUT}} \cdot \mathbf{h_w}$(volumen de salida total por la brecha, incluyendo aporte durante el colapso, por $\mathbf{V_{OUT}}$, multiplicado por $\mathbf{h_w}$), ajustaron la relación con el volumen de material erosionado como**:**

- Para represas de tierra (earthfill):)**:** $\boldsymbol{V_{er}} = 0{,}0216\ (\mathbf{V_{OUT}} * \mathbf{h_w})^{0{,}769}$
- Para represas no-terrestres (ej., rockfill o con núcleo muy resistente): $\boldsymbol{V_{er}} = 0{,}00348\ (\mathbf{V_{OUT}} * \mathbf{h_w})^{0{,}852}$

La segunda siendo la que se utilizó para la modelación de la represa Mulacorral.

3.6.1.3 Ancho de la brecha ($\bar{B}$)

Para determinar el tamaño de la brecha superior se utilizó la formula presentada y explicada a continuación:

En el trabajo original de McDonald–L-M no se da una fórmula explícita de $\bar{B}$, ellos asumen geometría triangular o trapezoidal con pendientes laterales típicas 1H:2V .Por ejemplo, si se asume brecha triangular completa de altura H_d la sección transversal es triangular y el volumen $V_{er} \approx 0{,}5 \cdot \bar{B} * H_d$, de donde una estimación aproximada sería $\bar{B} \approx 2 * V_{er}/H_d$, en todo caso, la fórmula concreta del ancho depende también del ancho de coronación del dique y las pendientes reales.

En estudios posteriores, Von Thun y Gillette (1990) propusieron una ecuación empírica para el ancho medio de brecha basada en altura de agua y almacenamiento:

$$\bar{B} = 2{,}5 * h_w + C_b$$

Donde h_w es la profundidad de agua sobre el cimiento (m)

y C_b depende del volumen del embalse que se muestra en la Tabla 3:

Tabla 3

Valores de Cb respecto al volumen del embalse

Volumen del embalse, m3	**C_b, metros**
$< 1{,}23*10^6$	6,1
$1{,}23*10^6 – 6{,}17*10^6$	18,3
$6{,}17*10^6 – 1{,}23*10^7$	42,7
$> 1{,}23*10^7$	54,9

Nota. Fuente: McDonald and Langridge- Monopolis (1984)

Esta expresión envolvente encuadra mejor los datos históricos completos que usar sólo el volumen erosionado, Von Thun & Gillette observaron además un tope práctico de ~150 m para $\bar{B}$ en grandes represas, por lo que recomiendan no excederlo.

3.6.1.4 Estimación ancho inferior de la brecha W_b

Para determinar la forma de la brecha producto de la rotura de la represa se necesita conocer el ancho inferior el cual se obtuvo mediante la siguiente formula:

$$W_b = \frac{V_{er} - {h_b}^2 (C * Z_b + \frac{h_b * Z_b * Z_3}{3})}{h_b (C + \frac{h_b * Z_3}{2})}$$

Donde:

$\boldsymbol{W_b}$: Ancho inferior de la brecha (m)

$\boldsymbol{h_b}$: Altura desde la corona de la represa hasta la base de la brecha (m)

$\boldsymbol{C}$: Ancho de la cresta de la represa (m)

$\boldsymbol{Z_b}$: Pendiente lateral de la brecha (relación horizontal: vertical)

$\boldsymbol{Z_3}$: Suma de las pendientes de las caras aguas arriba y aguas abajo de la represa

3.6.1.5 ¿Qué significan Z_b y Z_3

- $\boldsymbol{Z_b}$: **es la pendiente lateral de la brecha** → se expresa como una relación **horizontal: vertical (H: V)**

  Por ejemplo, una pendiente de 2:1 significa que por cada metro que baja verticalmente, se extiende 2 m horizontalmente ⇒ $Z_b = 2$

- $\boldsymbol{Z_3}$**: es la suma de las pendientes de los taludes aguas arriba y aguas abajo de la represa**

Si el talud aguas arriba tiene pendiente $Z_{up} = 2$ (es decir, 2H:1V)

Y el talud aguas abajo tiene $Z_{down} = 2{,}5$

Entonces:

$\boldsymbol{Z_3} = Z_{up} + Z_{down} = 2 + 2{,}5 = 4{,}5$

3.6.1.6 Tiempo de formación de la brecha t_f

El tiempo junto con el caudal pico son los dos parámetros más importantes para la determinar el hidrograma de onda de rotura, el tiempo se determinó teniendo en cuanta los estudios de los autores que se explica y presentan a continuación:

Mac Donald y Langridge-Monopolis estudiaron el tiempo máximo observado desde el inicio hasta la brecha totalmente formada, para represas de tierra ajustaron una curva envolvente entre t_f (horas) y el volumen erosionado V_{er} (m³):

$\boldsymbol{t_f}$= 0,0179 * $(V_{er})^{0,364}$

Esta ecuación envolvente (baja dispersión de la nube de datos) debe verse como un límite superior típico, este modelo no proporciona una fórmula distinta para materiales resistentes o cohesivos, y advierte que para represas no-terrestres el tiempo de falla es impredecible (ya que en ocasiones domina inestabilidad estructural en vez de erosión progresiva), además, análisis posteriores han mostrado que esta ecuación envolvente sobreestima t_f en muchos casos reales.

Von Thun y Gillette (1990) propusieron fórmulas alternativas lineales basadas en la profundidad de agua:

$\boldsymbol{t_f} = 0{,}020 * h_w + 0{,}25$ (material erosion-resistente)

$\boldsymbol{t_f}$= 0,015*h_w (material muy erosionable)

Con t_f en horas y h_w en metros.

Siendo la primera fórmula alternativa la que se utilizó para la determinación del tiempo de formación de la brecha ya que la represa está construida con materiales no muy erosionables.

3.6.1.7 Hidrograma de onda de rotura

Para representar la evolución del caudal ante un evento de rotura progresiva en la represa, se construyó un hidrograma tipo campana; este describe cómo varía el caudal en el tiempo desde el inicio de la rotura hasta su finalización. Para la elaboración, se utilizó una función matemática basada en el comportamiento de la onda de rotura, comúnmente aplicada en estudios hidrológicos, que adopta la forma de una función seno.

La fórmula utilizada permite simular el crecimiento y descenso del caudal de manera continua y simétrica, en función del tiempo de formación de la brecha y del caudal pico estimado previamente, dicha fórmula requiere como insumos principales el tiempo total de

formación de la brecha (calculado según el tipo de material de la represa) y el valor del caudal máximo que se liberaría durante la rotura, una vez establecidos estos parámetros, se generó una serie de valores a intervalos regulares de tiempo, representando el comportamiento del flujo.

La fórmula general aplicada fue:

$$\boldsymbol{Q}(\boldsymbol{t_i}) = Qp \cdot sin(\frac{\pi * t_i}{2 * tf})$$

Donde:

$\boldsymbol{Q}(\boldsymbol{t})$: $Caudal\ en\ el\ instante\ t_i\ (m^3/s)$

$\boldsymbol{Q_p}$: $Caudal\ pico\ (m^3/s)$

$\boldsymbol{t_i}$: $Tiempo\ del\ intervalo\ en\ (h)$

$\boldsymbol{t_f}$: $Tiempo\ de\ formación\ de\ la\ brecha\ (h)$

Este procedimiento aseguro una representación simplificada pero coherente del fenómeno, que permite ser interpretado y procesado por los programas de simulación como HEC-RAS o IBER, aportando insumos fundamentales para estimar tiempos de arribo, niveles máximos de inundación y áreas afectadas.

Ya determinados los diferentes parámetros se dispuso al ingreso en el software IBER estos se presentan a continuación:

- El hidrograma de rotura.
- Geometría realizada en el software de ArcGIS.
- Valores de elevación y uso de suelo en formato ASCII.

Los dos últimos se ingresarán dentro de un mallado no estructurado.

Finalmente se procedió con la simulación esta con un tiempo y caudales ya establecidos, lo que nos dio como resultado los calados y velocidades de flujo los que fueron

exportados en formato ráster para su procesamiento y toma de datos dentro del software ArcGIS, con lo que se determinó los niveles de riesgo en diversos puntos poblados dentro del área de inundación.

3.6.2 Para el objetivo 2

"Determinar los elementos expuestos ante la zona de afectación del posible desbordamiento de la represa Mulacorral en el cantón Ambato", se empleó el Sistema de Información Geográfica (SIG) ArcGIS. Esta herramienta permitió analizar e intersecar la zona de incidencia del posible desbordamiento, superponiendo esta información con los elementos. De esta manera, se pudo identificar y cuantificar los elementos afectados, estableciendo su localización, naturaleza y magnitud de impacto.

El procesamiento de la información se basó en la recopilación y creación de datos espaciales y su integración en el entorno SIG.

El primer paso que se tomo fue la creación de un shape de puntos sobre la ortofoto que se nos proporcionó junto con la mancha de inundación obtenida anteriormente, esto de cada vivienda e infraestructura crítica sobre la zona de incidencia.

Seguido se establecieron las categorías y coordenadas para cada punto de este modo dividiéndolos en (viviendas, puentes pequeños, puentes principales, centros turísticos y otros con nombres propios).

Usando los datos de calado y velocidad de flujo obtenidos en la simulación se realizó una multiplicación entre ambos ráster esto con la herramienta del ArcToolbox (Spacial Analyst Tools-Map Algebra-Ráster Calculater), obteniendo de este modo el Índice hidráulico.

Consecutivamente se usó la herramienta del ArcToolbox (Spacial Analyst Tools-Extraction-Extract Values to Points), de esta manera se obtuvieron los valores de calado, velocidad de flujo y el índice hidráulico de cada punto y posteriormente se exporto la tabla de contenido del shape.

Se establecieron escalas de afectación para los elementos expuestos esto en relación a los datos obtenidos anteriormente de este modo dividiendo las afectaciones en (leve, moderada y grave).

Del mismo modo se determinó la afectación a las vías de acceso esto con ayuda del shape de vías obtenido en el geoportal de la IGM (editado para una mejor precisión con la realidad), este shape se cortó con la herramienta (Geoprocessing-Clip) teniendo como clip features la mancha de inundación, seguido se creó un campo para la longitud.

Además de los análisis de las afectaciones en los elementos expuestos se realizaron mapas temáticos para su observación e interpretación.

3.6.3 Para el objetivo 3

"Definir un Plan de Emergencias con lineamientos generales que contemple acciones preventivas y protocolos de respuesta ante un posible desbordamiento", se adoptó una guía técnica española de Plan de Emergencia para represas, alineado con lo establecido en la Directriz Básica de Planificación de Protección Civil ante riesgos de inundaciones y en las Normas Técnicas de Seguridad aprobada por el Real Decreto 9 el 11 de enero del 2008. Esta guía determina la organización de los recursos humanos y materiales, así como las acciones específicas necesarias para gestionar y mitigar los riesgos que puedan comprometer tanto la seguridad de la infraestructura como la integridad de las poblaciones expuestas.

El plan se estructura con un enfoque integral que abarca medidas preventivas y protocolos claros de actuación en situaciones de emergencia. Entre estas medidas se incluyó:

- La identificación de la represa
- Descripción de la represa y su entorno
- Organización general en emergencias, medios y recursos.
- Normas de actuación en emergencias.

Además, se recomendó a la incorporación de mecanismos de monitoreo continuo y sistemas de alerta temprana que, junto con estrategias de mitigación como la planificación de rutas de evacuación, la construcción de barreras protectoras y el ordenamiento territorial, que permitirán actuar oportunamente para minimizar los impactos negativos en las comunidades y el medio ambiente, reduciendo daños materiales, protegiendo vidas humanas y promoviendo una gestión del riesgo más sostenible y resiliente.

CAPÍTULO 4. RESULTADOS

4.1 Resultado del objetivo 1. _ Elaborar un modelamiento del desbordamiento de la represa Mulacorral, utilizando datos relevantes y herramientas de simulación.

Para comenzar con la simulación y/o modelamiento hídrico, fue necesario contar con el caudal pico el cual se procesó junto con la duración para así obtener el hidrograma de onda de rotura, este fue ingresado en el software IBER esto junto con diferentes parámetros que se presentaran a continuación.

Para la realización de la simulación se contó con la siguiente información y archivos:

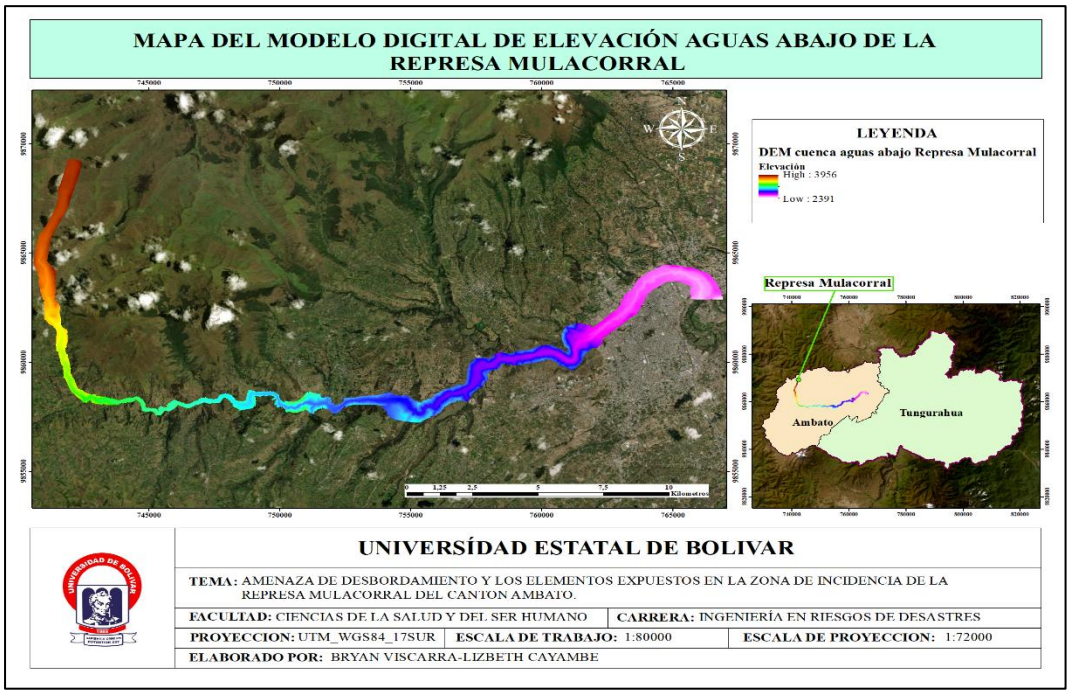
4.1.1 Tipo de rotura

Progresiva

4.1.2 Topografía aguas abajo

Gráfico 2

Mapa del Modelo Digital de Elevación de la zona de estudio.

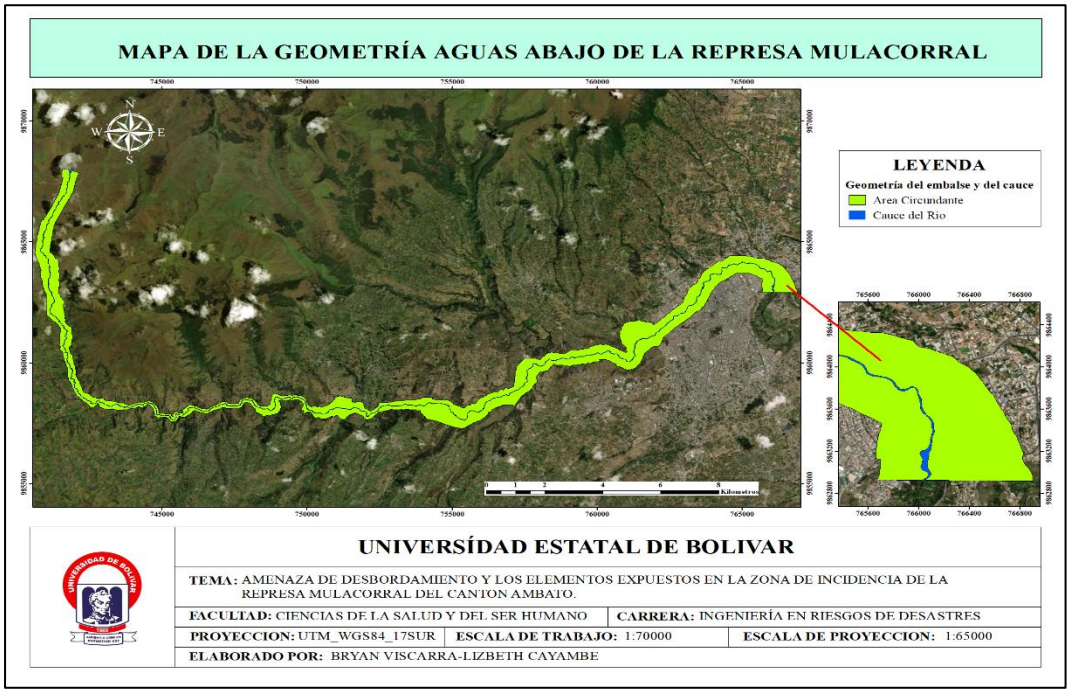


Nota. El Gráfico muestra el Modelo Digital de Elevación que se tomó de la zona aguas debajo de la represa Mulacorral. Fuente: (Elaboración propia, 2025)

4.1.3 Geometría del cauce agua abajo

Gráfico 3

Mapa de la Geometría aguas debajo de la represa Mulacorral



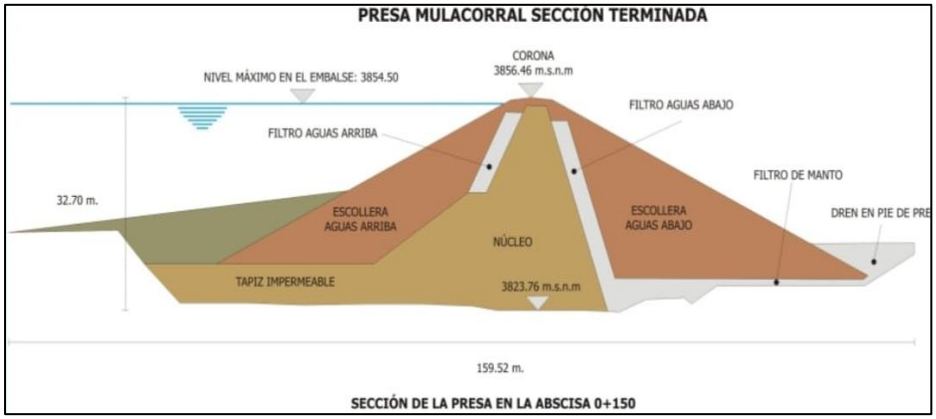
Nota. El Gráfico muestra geometría establecida aguas debajo de la represa Mulacorral.

Fuente: (Elaboración propia, 2025)

4.1.4 Estructura de la represa

Gráfico 4

Estructura física de la represa Mulacorral



Nota. Se presenta la estructura y las partes que lo conforman a la represa. Fuente: Dirección de recursos hídricos-HGPT.

4.1.5 Características principales de la represa

- Altura desde la cimentación hasta la corona: 32,70 m,

- Longitud en el sentido transversal: 159,52 m,
- Longitud del cierre: 332,0 m
- Volumen del núcleo y del tapiz impermeable: 136,490,0 m3
- Volumen de espaldones (escollera): 158,081,0 m3
- Volumen de filtros: 31,868,0 m3
- Volumen de almacenamiento de agua: 3'000,000,0 m3

A partir de la información obtenida, se procederá al cálculo del caudal pico, volumen removido, ancho de la brecha, ancho inferior de la brecha, así como del tiempo estimado de formación, con el fin de generar el hidrograma correspondiente a la onda de rotura.

4.1.6 Caudal Pico

Para este proceso se consideraron diferentes autores de los que se adoptó el resultado más prudente u acorde.

Donde:

$\boldsymbol{V_w} = 3000000m^3$

$\boldsymbol{h_w} = 3854{,}50m,s,n,m - 3823{,}76m,s,n,m = 30{,}74m$

$\boldsymbol{V_{OUT}} = 3000000m^3$

Mac Donald and Langridge- Monopolis (1984)

$\boldsymbol{Q} = 1{,}154(V_W * h_w)^{0{,}412}$

$\boldsymbol{Q} = 1{,}154(3000000 * 30{,}74)^{0{,}412}$

$$\underline{\boldsymbol{Q = 2206{,}55m^3/s}}$$

$\boldsymbol{Q} = 3{,}85(V_W * h_w)^{0{,}411}\ levelope\ equation$

$\boldsymbol{Q} = 3{,}85(3000000 * 30{,}74)^{0{,}411}$

$$\underline{\boldsymbol{Q = 7227{,}76m^3/s}}$$

Evans (1986)

$$\boldsymbol{Q} = 0{,}72 * {V_W}^{0{,}53}$$

$$\boldsymbol{Q} = 0{,}72 * 3000000^{0{,}53}$$

$$\underline{\boldsymbol{Q = 1950{,}77 m^3/s}}$$

Froehlich (1986):

$$\boldsymbol{Q} = 0{,}607 * {V_W}^{0{,}295} * {h_w}^{1{,}24}$$

$$\boldsymbol{Q} = 0{,}607 * 3000000^{0{,}295} * 30{,}74^{1{,}24}$$

$$\boldsymbol{Q = 3465{,}94 m^3/s}$$

Pierce et al, (2010)

$$\boldsymbol{Q} = 0{,}038({V_{OUT}}^{0{,}475} * {h_w}^{1{,}09})$$

$$\boldsymbol{Q} = 0{,}038(3000000^{0{,}475} * 30{,}74^{1{,}09})$$

$$\underline{\boldsymbol{Q = 1896{,}764 m^3/s}}$$

Tomando una interpretación personal se determinó que el resultado obtenido con la ecuación de ***Pierce et al, (2010)*** es la que más se apega a nuestro escenario dado a que para represas con un volumen similar a los 3000000 de metros cúbicos en diversos estudios los caudales picos no son superiores a los 2000m^3/s.

4.1.7 Volumen removido

Se adopta las ecuaciones impuestas por Mac Donald and Langridge- Monopolis y al ser la represa construida con material rocoso y con un núcleo fuerte se adoptó esta ecuación:

Por lo cual:

$$\boldsymbol{V_{er}} = 0{,}00348\ (\mathbf{V_{OUT}} * \mathbf{h_w})^{0{,}852}$$

$$\boldsymbol{V_{er}} = 0{,}00348\ (3000000 * 30{,}74)^{0{,}852}$$

$$\underline{\boldsymbol{V_{er} = 21262{,}30 m^3}}$$

Este resultado será necesario para la obtención del ancho inferior de la brecha, y así poder determinar la forma que esta tendrá.

4.1.8 Ancho de la brecha ($\bar{B}$)

Se adopto la ecuación empírica de Von Thun y Gillette (1990) para la determinación del ancho medio de brecha basada en altura de agua y almacenamiento:

Donde:

$\mathbf{h_w} = 30{,}74m$

$\mathbf{C_b} =$ 18,3 al ser esta un embalse de 3000000m^3

Por lo cual

$$\bar{\boldsymbol{B}} = 2{,}5 * \mathrm{h}_w + \mathrm{C}_b$$

$$\bar{\boldsymbol{B}} = 2{,}5 * 30{,}74 + 18{,}3$$

$$\underline{\bar{\boldsymbol{B}} = \mathbf{95{,}15 m}}$$

Este resultado nos proporciona una parte importante como es el ancho sobre la corona de la represa que colapsara y así formara la brecha.

4.1.9 Ancho inferior de la brecha W_b

Para obtener este resultado se utilizó la ecuación empírica:

Donde:

$\boldsymbol{h_b}$= 32,70m

$\boldsymbol{V_{er}} = 21262{,}30m^3$

$\boldsymbol{C}$ =95,15m

$\boldsymbol{Z_b}$= 1,5 está siendo el valor típico en este tipo de represas.

Tabla 4

Taludes estructurales de la represa Mulacorral

Taludes	Inclinación
Exteriores	1V:2H
Aguas abajo	1V:10H, bajo la cota 3842m.s.n.m y hasta el pie de represa
Aguas abajo	1V:2H, termina en la cota 3834 m.s.n.m. En esta se ubica una plataforma a manera de relleno estabilizador de material granular.

Nota. Se muestran los taludes de la represa Mulacorral donde la V representa la vertical y H la horizontal esto en ejes cartesianos. Fuente: (Elaboración propia, 2025)

Dado que la pendiente aguas arriba es 1V:10H y aguas abajo es 1V:2H, se establece que:

$$\boldsymbol{Z_3} = 10 + 2 = 12$$

Por lo cual:

$$\boldsymbol{W_b} = \frac{V_{er} - {h_b}^2(C * Z_b + \frac{h_b * Z_b * Z_3}{3})}{h_b(C + \frac{h_b * Z_3}{2})}$$

$$\boldsymbol{W_b} = \frac{21262{,}30 - 32{,}70^2(95{,}15 * 1{,}5 + \frac{32{,}70 * 1{,}5 * 12}{3})}{32{,}70(95{,}15 + \frac{32{,}70 * 12}{2})}$$

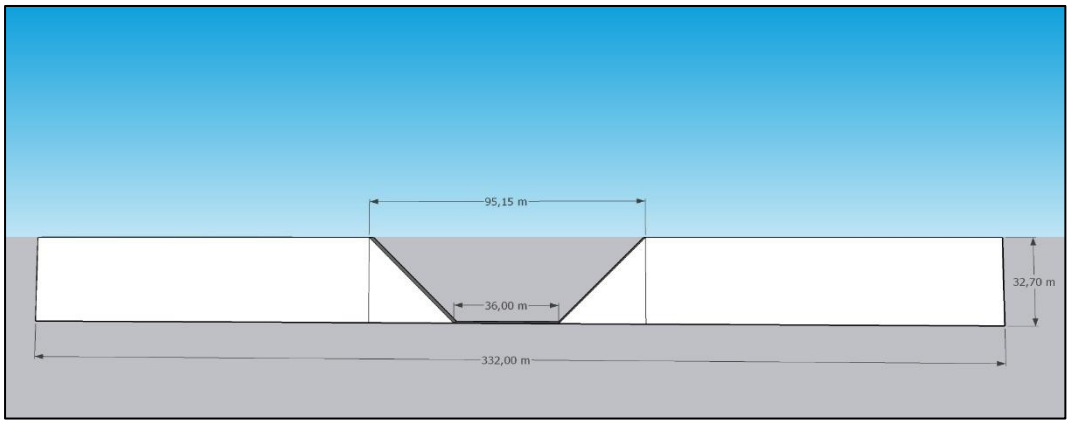
$$\boldsymbol{W_b} = \frac{-341146{,}81325}{9527{,}145}$$

$$\underline{\boldsymbol{W_b = |-35{,}80| = 36m}}$$

A partir de este resultado y conociendo que el ancho superior de la brecha es de **95,15m** y que la rotura será total, es decir que la altura de esta será la misma que el tamaño de la represa desde el pie a la corona de esta es decir **32,70m** , en el Gráfico 4 se muestra la forma relativa que va tomaría la brecha al darse la rotura de la represa.

Gráfico 5

Forma relativa de la brecha.



Nota. Fuente: (Elaboración propia, 2025)

4.1.10 Tiempo de formación de la brecha t_f

Se adopto la ecuación propuesta por Von Thun y Gillette (1990) basada en fórmulas alternativas lineales con respecto a la profundidad de agua, usando la que es para materiales erosión resistente.

Por lo cual:

$$t_f = 0{,}020 * h_w + 0{,}25$$

$$t_f = 0{,}020 * 30{,}74 + 0{,}25$$

$$\underline{t_f = 0{,}865h = 51{,}9min = 3114sg}$$

Este resultado junto al caudal pico son los que se cruzaran para la realización del hidrograma de rotura.

4.1.11 Hidrograma de rotura de la represa Mulacorral

Para modelar el comportamiento del caudal tras una rotura progresiva de la represa Mulacorral, se elaboró un hidrograma tipo "campana" que representa la variación del caudal en función del tiempo esto se puede observar en la Tabla 5.

Fórmulas utilizadas:

- **Caudal pico (Q_p):** estimado con la fórmula empírica de Pierce et al, (2010):

$$\boldsymbol{Q_p} = 0{,}038({V_{OUT}}^{0{,}475} * {h_w}^{1{,}09})$$

$$\boldsymbol{Q_p} = 1896{,}8\, m3/s$$

- **Tiempo de formación de brecha** $(\boldsymbol{t_f})$: calculado con la relación de Von Thun & Gillette (1990) para materiales resistentes:

$$\boldsymbol{t_f} = 0{,}02 * h_w + 0{,}25$$

$$\boldsymbol{t_f} = 0{,}02 * 30{,}74 + 0{,}25$$

$$\boldsymbol{t_f} = 0{,}865\text{h}$$

- **Caudal en función del tiempo:** Para simular la evolución del caudal, se usó una función seno tipo campana:

$$\boldsymbol{Q(t_i)} = Q_p \cdot sin(\frac{\pi * t_i}{2 * t_f})$$

Donde:

$\boldsymbol{Q_p}$: Caudal pico

$\boldsymbol{t_i}$: $Tiempo\ del\ intervalo\ en\ (h)$

$\boldsymbol{t_f}$: $Tiempo\ final\ de\ formacion\ de\ la\ brecha$

Antes de realizar el hidrograma se determinará los intervalos de tiempo en horas el número de intervalos serán 13 contando el intervalo 0, este proceso se realizó con la siguiente formula:

$$\boldsymbol{t_i} = i * \frac{2 * t_f}{12}$$

Donde:

$\boldsymbol{t_i} = tiempo\ del\ intervalo\ en\ (h)$

$\boldsymbol{i} = intervalo\ (0{,}1{,}2 \dots \dots \dots 12)$

$\boldsymbol{t_f} = tiempo\ final\ de\ formacion\ de\ la\ brecha$

La siguiente tabla resume los valores generados:

Tabla 5

Hidrograma de onda de rotura

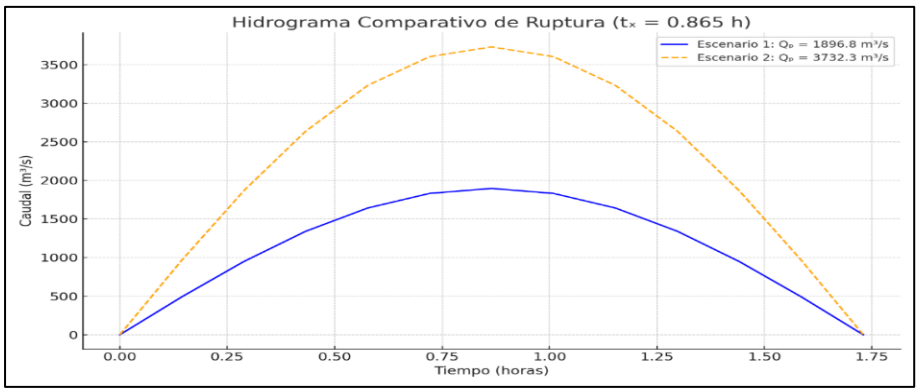
$\boldsymbol{i}$	**(t_i)Tiempo (h)**	**Tiempo (min)**	**Tiempo (sg)**	**Q (m^3/s) - Escenario 1**	**Q (m^3/s) - Escenario 2**
0	0	0	0	0	0
1	0,144	8,64	518,4	490,4	965
2	0,288	17,28	1036,8	947,4	1864,2
3	0,432	25,92	1555,2	1340	2637
4	0,577	34,62	2077,2	1643,2	3233,4
5	0,721	43,26	2595,6	1832,3	3605,4
6	0,865	51,9	3114	1896,8	3732,3
7	1,009	60,54	3632,4	1832,3	3605,4
8	1,153	69,18	4150,8	1643,2	3233,4
9	1,297	77,82	4669,2	1342,4	2637
10	1,442	86,52	5191,2	947,4	1864,2
11	1,586	95,16	5709,6	490,4	965
12	1,73	103,8	6228	0	0

Nota. Fuente: (Elaboración propia, 2025)

El Gráfico 5 se muestra la comparativa entre los dos escenarios establecidos en la Tabla 5 en el mismo lapso de tiempo.

Gráfico 6

Hidrograma tipo campana comparativo entre ambos escenarios.



Nota. Fuente: (Elaboración propia, 2025)

En el Gráfico 6 se presenta el hidrograma de la onda de rotura de la represa Mulacorral, esta muestra la evolución del caudal a lo largo del tiempo y posterior a una falla progresiva del muro, se compararon dos escenarios de caudal pico:

- **Escenario 1**: estimado con la fórmula de Pierce et al, (2010), da como resultado un caudal pico de **1896,8 m³/s**.
- **Escenario 2**: utilizando otra referencia técnica (Froehlich), se obtiene un caudal pico más alto de **3732,3 m³/s**, para considerar un posible caso extremo.

Ambos escenarios comparten el mismo tiempo de formación de la brecha, calculado como $t_f = 0{,}865\ h$, según Von Thun y Gillette (1990).

Este hidrograma permite identificar la magnitud y duración del flujo liberado, lo cual es esencial para estimar áreas de afectación aguas abajo.

4.1.12 Simulación

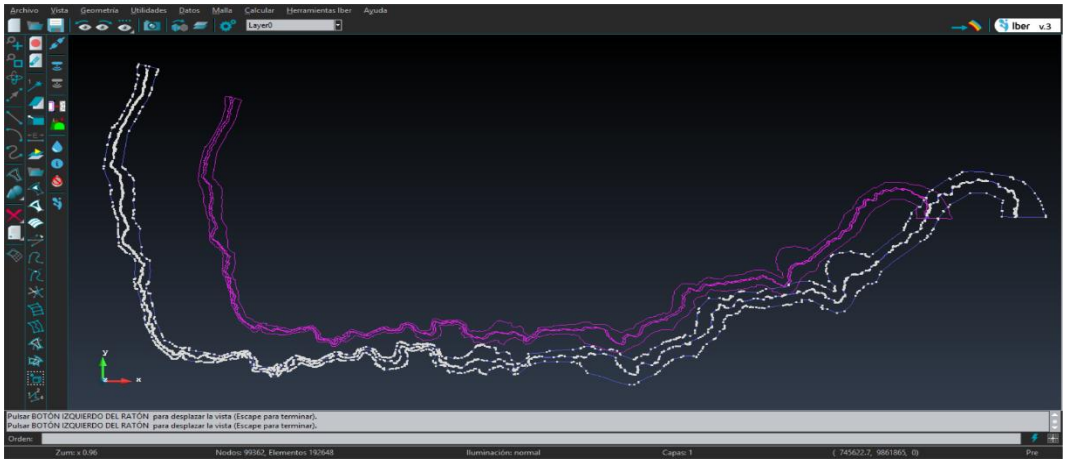
Ya obtenidos los diferentes datos y archivos se realiza el ingreso de estos en el software IBER el primero será la geometría de la a zona de estudio en formato shape.

Como se muestra en el Gráfico 6 se establecen dos tipos de estructuras en las cuales se ingresaron los datos obtenidos: en la de color azul y que está más a la izquierda, se

ingresan los datos de contorno, además del hidrograma de rotura, y en la estructura que está de color rosado, se establece la malla que en este caso será una no estructura además de la topografía.

Gráfico 7

Ingreso de la geometría en el software IBER.



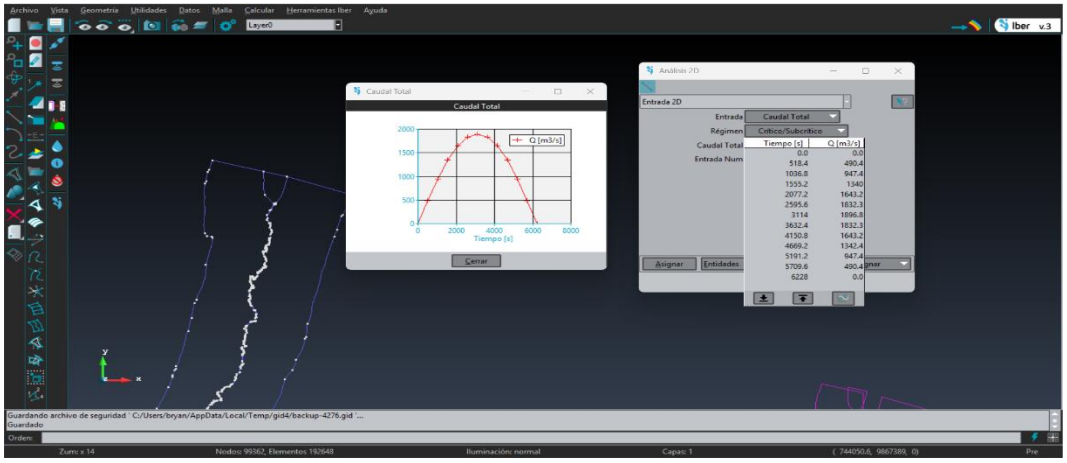
Nota: Fuente: (Elaboración propia, 2025)

4.1.12.1 Ingreso de hidrograma y las condiciones de contorno

El Gráfico 7 se observa cómo se ingresó los datos obtenidos en el hidrograma de rotura, que servirán como valores de entrada en la simulación.

Gráfico 8

Ingreso del hidrograma de onda de rotura en el software IBER

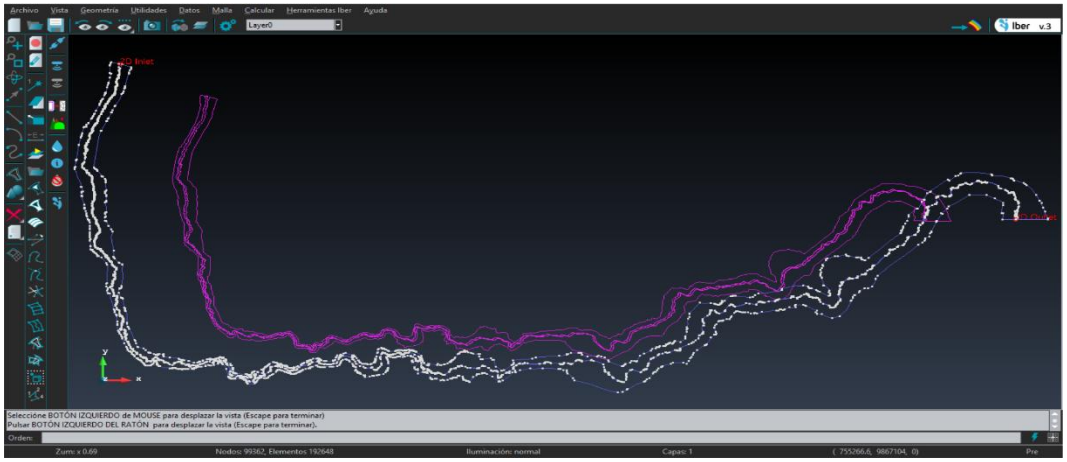


Nota: Fuente: (Elaboración propia, 2025)

Se establecieron las condiciones de contorno, tanto la de entrada donde está el hidrograma, como también la de salida que será el fin del tramo y por donde se evacuará el agua en la simulación esto se muestra en el Grafico 8.

Gráfico 9

Establecimiento de las condiciones de contorno (entra y salida).



Nota: Fuente: (Elaboración propia, 2025)

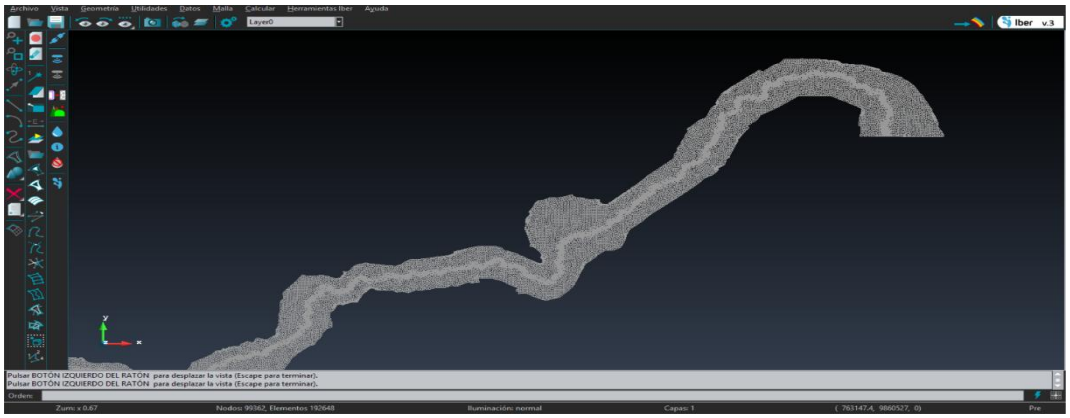
4.1.12.2 Mallado

En el Gráfico 9 se muestra el ingreso el mallado dentro de la geometría del proyecto, el tamaño de la malla se establecido de la siguiente manera:

- El cauce del rio se le dispuso un mallado de 5
- La zona circundante al cause se le dispuso un mallado de 30.

Gráfico 10

Ingreso del mallado en el software IBER.



Nota. Fuente: (Elaboración propia, 2025)

4.1.12.3 Uso de suelo y rugosidad

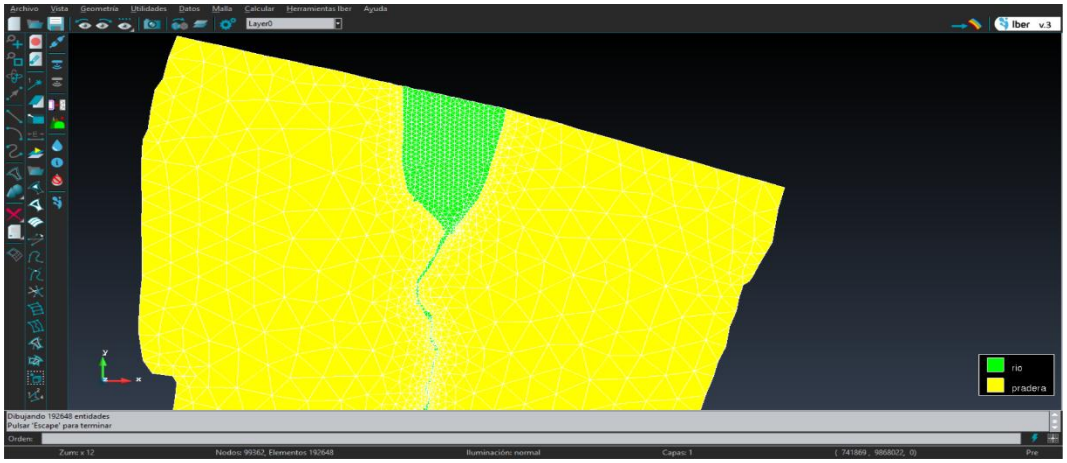
En el Gráfico 10 se muestra el ingreso del uso de suelo de forma automática en el mallado con ayuda de un archivo tipo ASCII que fue realizado con anterioridad en el software ArcGIS.

Los usos de suelo y la rugosidad se establecieron de forma automática con valores ya fijados por el software, estos se dispusieron de la siguiente forma:

- El área verde es decir uso suelo (rio) tiene una rugosidad de 0,025
- El área amarilla es decir uso de suelo (pradera) tiene una rugosidad de 0,05

Gráfico 11

Ingreso del uso de suelo y rugosidad en el mallado del proyecto



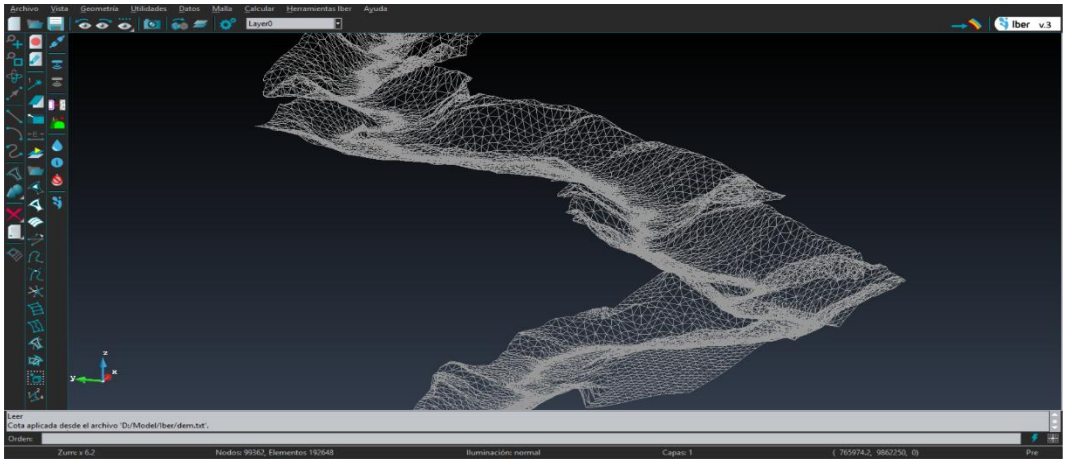
Nota. Fuente: (Elaboración propia, 2025)

4.1.12.4 Topografía

Se ingreso la topografía a la malla esto con un archivo tipo ASCCI realizado dentro realizó en el software ArcGIS, usando el DEM de la zona esto se muestra en el Gráfico 11.

Gráfico 12

Ingreso en la topografía en el mallado del proyecto.

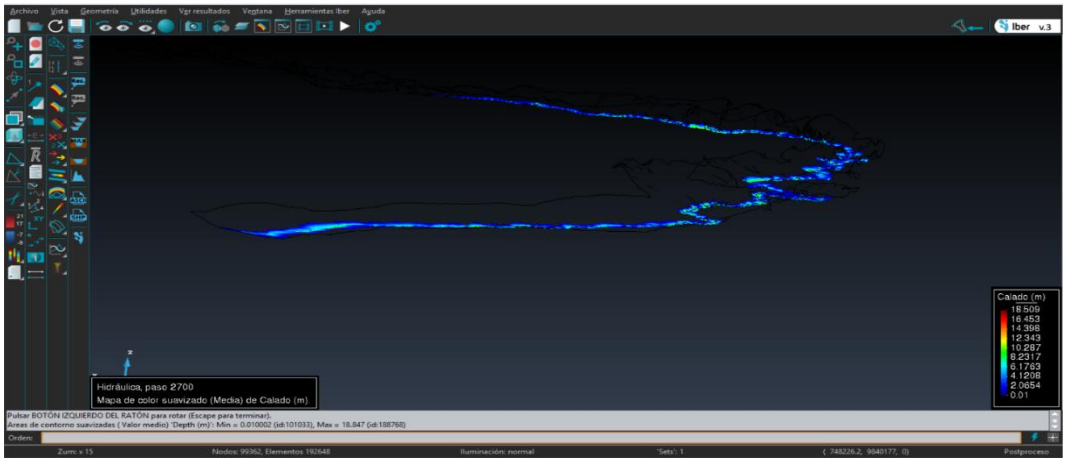


Nota. Fuente: (Elaboración propia, 2025)

Una vez ingresados los parámetros de entrada en el software, se dispuso a la modelación del evento y así obtener tanto el calado máximo como la velocidad de flujo registrados en los diferentes tramos de la simulación, esto para su posterior análisis, se muestra en el Gráfico 12.

Gráfico 13

Postproceso de los resultados obtenidos en la simulación.



Nota. Fuente: (Elaboración propia, 2025)

Se establecieron varios puntos focales dentro del área de estudio, en los cuales se llevó a cabo la recolección y el análisis de los datos obtenidos en dichas zonas.

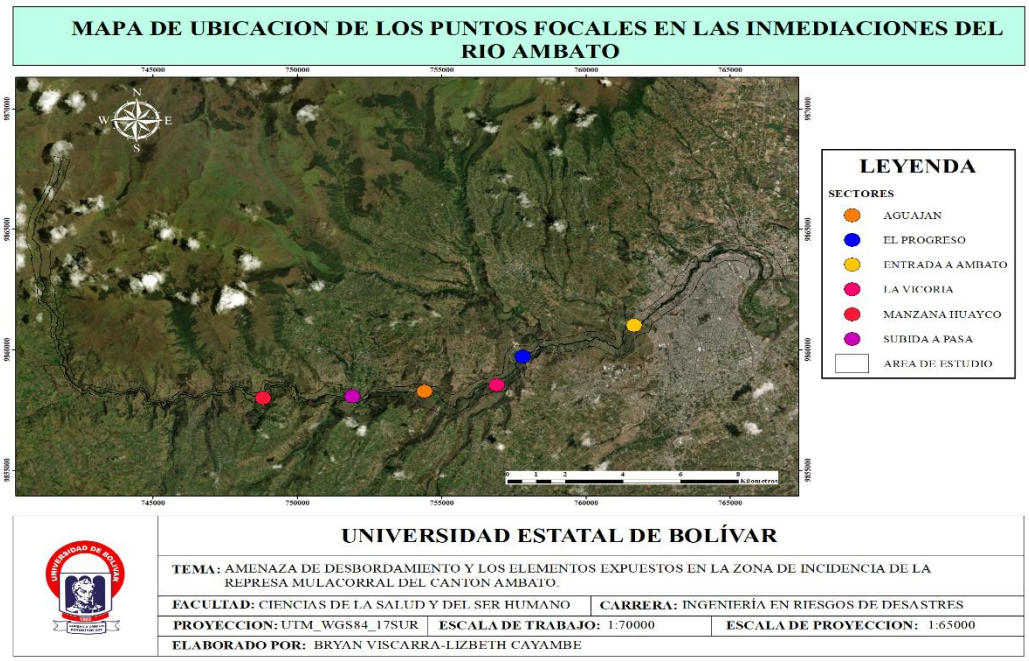
Como se muestra en la Tabla 6 y Gráfico 13 se tomaron en cuenta seis puntos importantes en las inmediaciones del río Ambato, seleccionados estratégicamente debido a su

alto índice poblacional. Estos sectores presentan una mayor concentración de habitantes, lo que los convierte en áreas clave para el análisis.

Estos puntos son:

Gráfico 14

Mapa de ubicación de los puntos para la toma y análisis de los resultados.



Nota: Fuente: (Elaboración propia, 2025)

Tabla 6

Puntos focales establecidos para la toma y análisis de los datos.

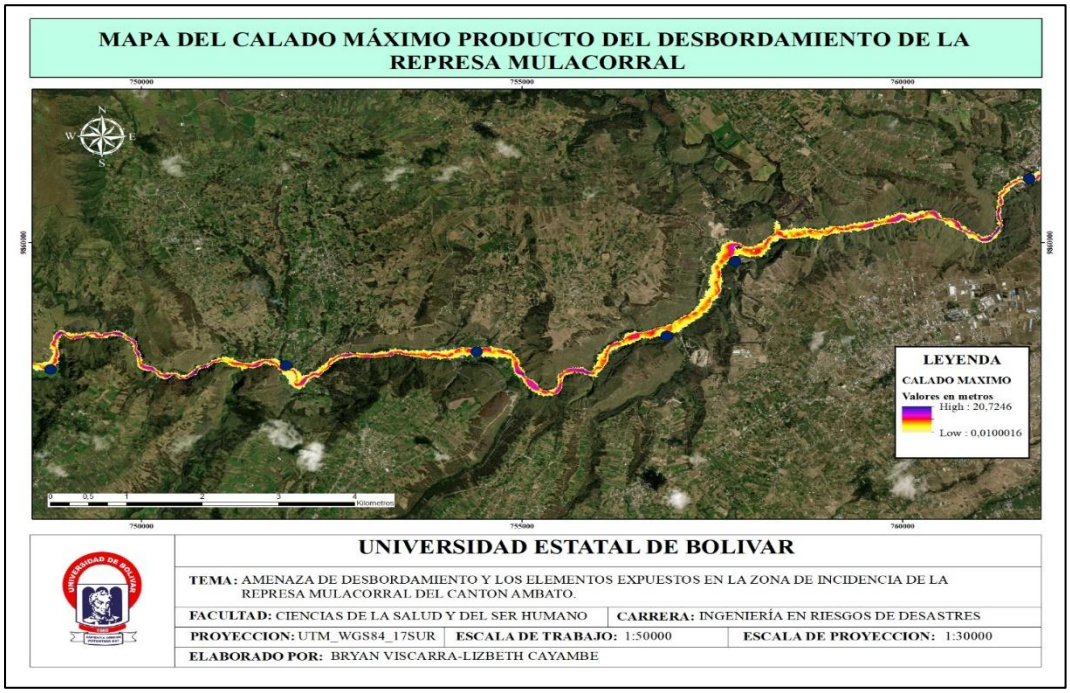
Puntos Focales		
Sectores	**Coordenadas**	
	Este	**Norte**
Entrada a Ambato	761495	9860888
El Progreso	757796	9859716
La Victoria	756896	9858533
Aguaján	754404	9858285
Subida A Pasa	751898	9858064
Manzana Huayco	748800	9858006

Nota. Fuente: (Elaboración propia, 2025)

4.1.13 Calado máximo producto del desbordamiento

Gráfico 15

Mapa del calado máximo producto del desbordamiento de la represa Mulacorral.



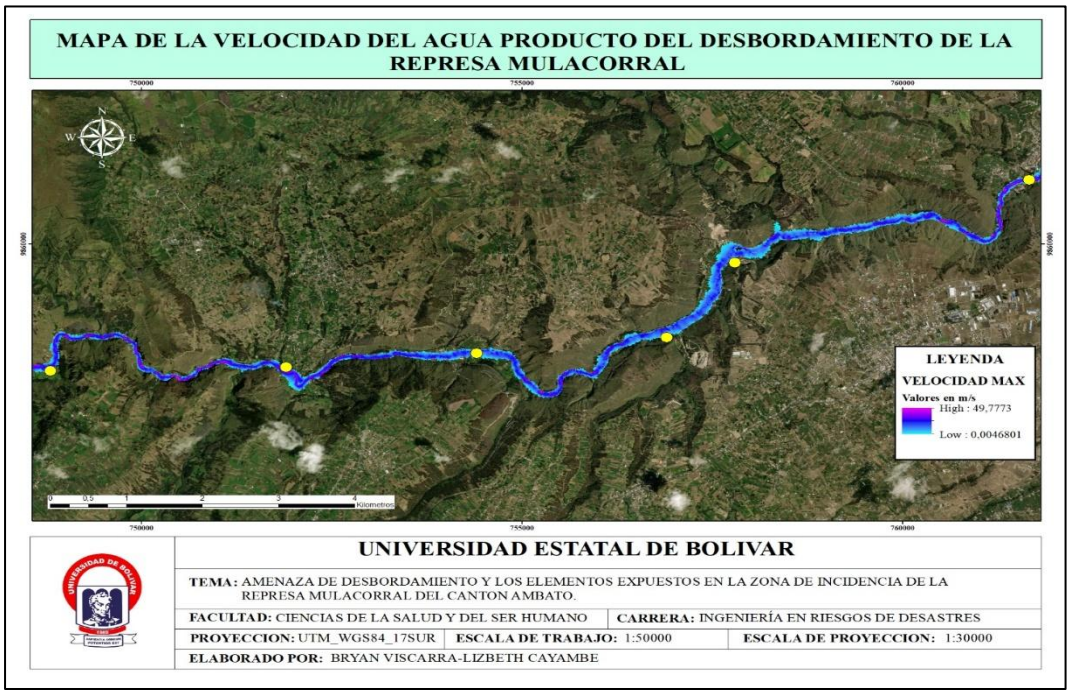
Nota: Mapeo del calado producto de la rotura de la represa Mulacorral. Fuente: (Elaboración propia, 2025)

Producto de la simulación de la rotura de la represa y su desbordamiento con un volumen total de tres millones de metros cúbicos de agua, se registran valores de calado máximo de inundación de entre 0,01m a 20,72 a lo largo del trayecto que finaliza en la entrada a la zona urbana de Ambato. Estos valores reflejan la magnitud del impacto en distintos puntos del recorrido, evidenciando zonas de riesgo considerable para la infraestructura, los asentamientos humanos y el entorno natural.

4.1.14 Velocidad Máxima del flujo en m/s

Gráfico 16

Mapa de la velocidad máxima del flujo producto del desbordamiento de la represa Mulacorral.



Nota: Mapeo de velocidad del flujo producto de la rotura de la represa Mulacorral. Fuente: (Elaboración propia, 2025)

Producto de la simulación de la rotura y desbordamiento, se registran valores de velocidad máxima del flujo de 0,0046 a 49,78 esto en m/s a lo largo del trayecto que finaliza en la entrada a la zona urbana de Ambato Estos valores reflejan la magnitud del impacto en distintos puntos del recorrido, evidenciando zonas de riesgo considerable para la infraestructura, los asentamientos humanos y el entorno natural.

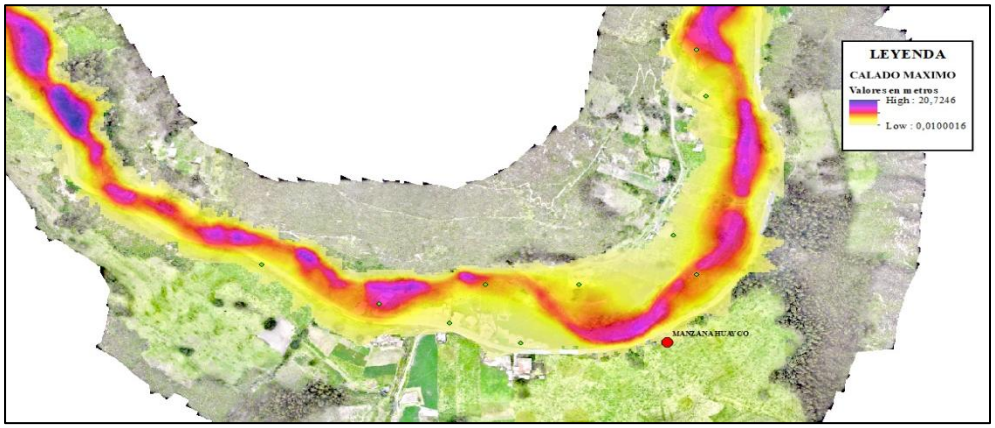
4.1.15 Análisis de resultados hidráulicos por sectores

A partir de la simulación realizada en IBER para modelar una posible rotura de represa, hemos obtenido información detallada sobre los efectos hidráulicos en varios sectores aguas abajo del cauce. Este análisis se concentra en los calados y velocidades máximas del flujo, esto los sectores ya establecidos. A continuación, se muestran los valores más significativos (promedios, máximos y mínimos) por sectores.

4.1.15.1 Sector 1 Manzana Huayco

Gráfico 17

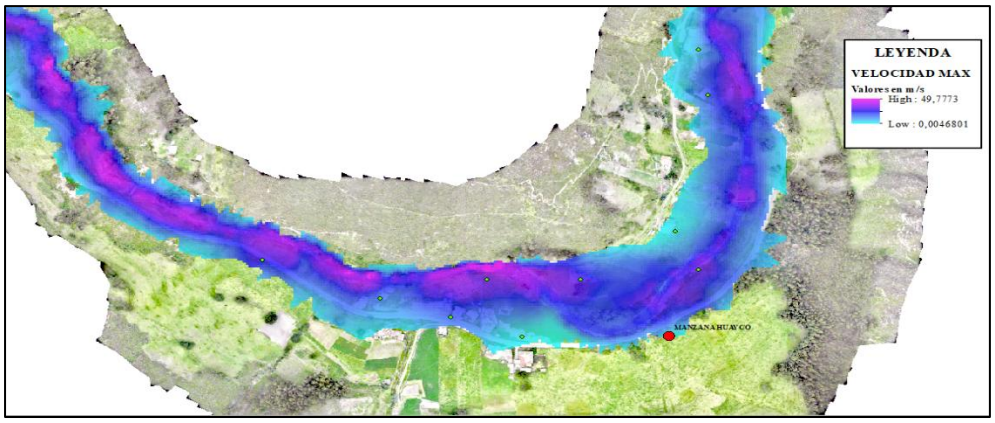
Puntos de la toma de las medidas del calado en Manzana Huayco.



Nota. Puntos establecidos en el sector 1 y el calado registrado donde el color amarillo representa niveles bajos y el morado niveles más altos. Fuente: (Elaboración propia, 2025)

Gráfico 18

Puntos de la toma de las medidas de la velocidad máximo del flujo en Manzana Huayco.



Nota: Puntos establecidos en el sector 1 y la velocidad de flujo donde el color celeste representa niveles bajos y el morado niveles más altos. Fuente: (Elaboración propia, 2025)

Tabla 7

Resultados de calado y velocidad máximo en Manzana Huayco.

Sector 1 Manzana Huayco				
Punto	**Calado**	**Velocidad**	**Coordenadas**	
			x	**y**
1	2,41	8,47	748.361,74	9.858.108,22
2	7,08	4,65	748.488,68	9.858.057,26
3	1,21	5,39	748.564,66	9.858.032,24
4	4,85	9,99	748.603,57	9.858.081,35
5	0,14	0,86	748.641,56	9.858.005,37

6	3,01	8,72	748.704,57	9.858.081,35
7	5,28	0,55	748.807,42	9.858.144,35
8	0,50	0,80	748.806,49	9.858.146,21
9	1,80	5,60	748.841,70	9.858.324,11
10	5,68	2,29	748.830,58	9.858.387,11
Promedio	3,20	4,73		
Mínimo	0,14	0,55		
Máximo	7,08	9,99		

Nota: Datos del calado y la velocidad de flujo registrados en el sector (Manzana Huayco).

Fuente: (Elaboración propia, 2025)

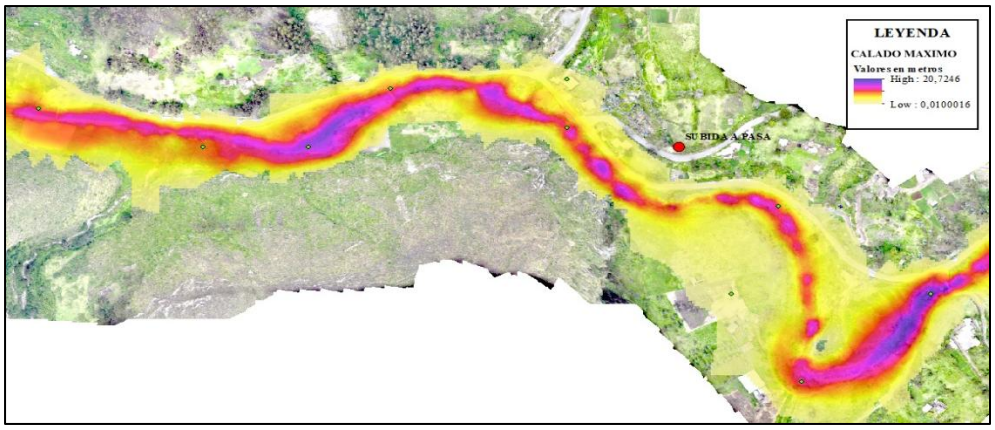
Análisis:

Este sector presenta condiciones hidráulicas de alto riesgo. Los calados máximos que se presentan son de 7,08 metros, mientras que las velocidades máximas superan los 9,99 metros por segundo, lo que indica una cantidad significativa de energía de flujo. El calado promedio es de 3,20 metros y la velocidad promedio es de 4,73 metros por segundo, lo que representa un grave riesgo para las edificaciones, especialmente aquellas construidas con materiales frágiles o sin soporte estructural. Las condiciones observadas en esta área sugieren la posibilidad de daños significativos y destrucción de las infraestructuras a lo largo de la cuenca y un alto riesgo para la vida humana si el incidente ocurre sin una evacuación previa.

4.1.15.2 Sector 2 Subida a Pasa

Gráfico 19

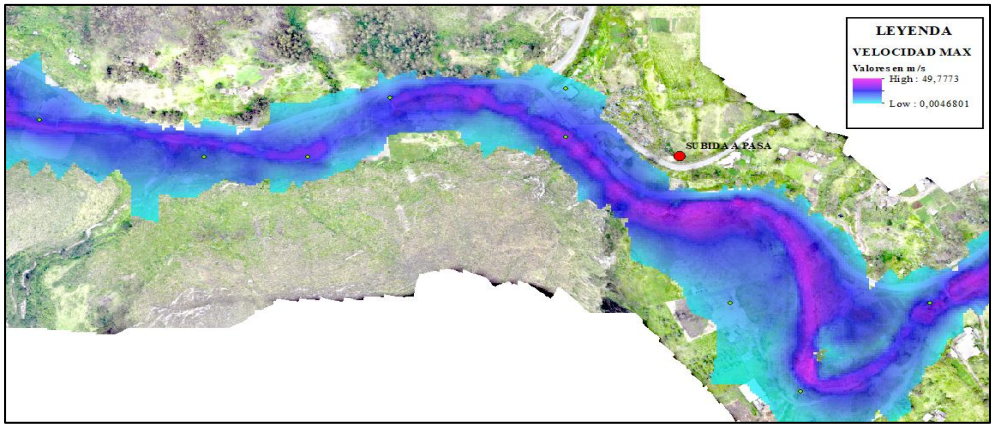
Puntos de la toma de las medidas del calado en la subida a Pasa.



Nota. Puntos establecidos en el sector 2 y el calado registrado donde el color amarillo representa niveles bajos y el morado niveles más altos. Fuente: (Elaboración propia, 2025)

Gráfico 20

Puntos de la toma de las medidas de la velocidad máximo del flujo en la subida a Pasa.



Nota. Puntos establecidos en el sector 2 y la velocidad de flujo donde el color celeste representa niveles bajos y el morado niveles más altos. Fuente: (Elaboración propia, 2025)

Tabla 8

Resultados de calado y velocidad máximo en la subida a Pasa.

Sector 2 Subida a Pasa				
Punto	**Calado**	**Velocidad**	**Coordenadas**	
			x	**y**
1	6,55	6,68	751.202,83	9.858.115,04
2	5,19	6,13	751.380,93	9.858.064,02
3	9,77	8,62	751.495,95	9.858.064,02
4	5,30	6,91	751.585,00	9.858.140,08

5	1,12	1,38	751.776,08	9.858.152,14
6	6,85	10,41	751.776,08	9.858.088,14
7	5,32	9,01	752.006,12	9.857.987,03
8	0,52	3,07	751.955,10	9.857.872,94
9	7,32	5,60	752.031,16	9.857.758,85
10	10,73	8,14	752.170,30	9.857.872,94
Promedio	5,87	6,60		
Mínimo	0,52	1,38		
Máximo	10,73	10,41		

Nota. Datos del calado y la velocidad de flujo registrados en el sector (Subida a Pasa).

Fuente: (Elaboración propia, 2025)

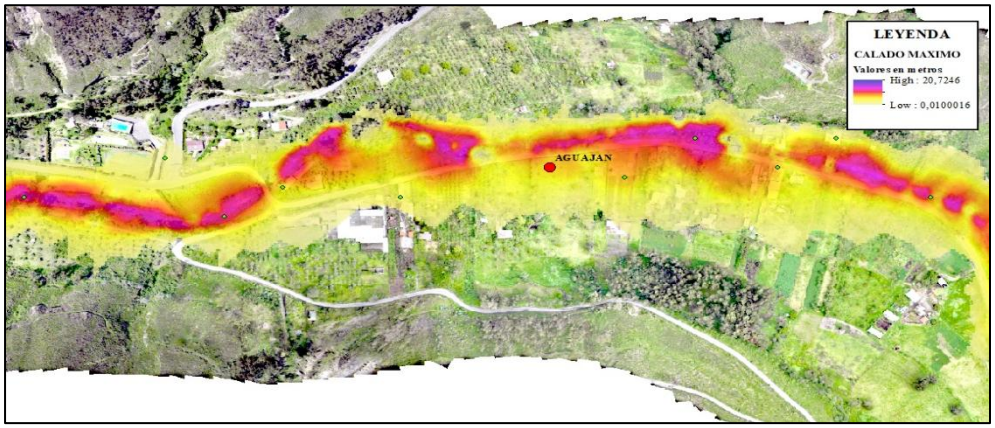
Análisis:

En este sector se registraron algunos de los valores más altos de toda la zona modelada, con calados que alcanzan los 10,73 m y velocidades de hasta 10,41 m/s. El promedio de calado es de 5,87 m y el de velocidad es de 6,60 m/s, lo que evidencia un flujo extremadamente destructivo. Estas condiciones son características de un flujo sobre concentrado que puede destruir estructuras enteras y causar una profunda erosión del suelo. Dado que este sector combina un calado alto con una alta velocidad, se clasifica como una zona de pérdida total de infraestructura y vienes.

4.1.15.3 Sector 3 Aguaján.

Gráfico 21

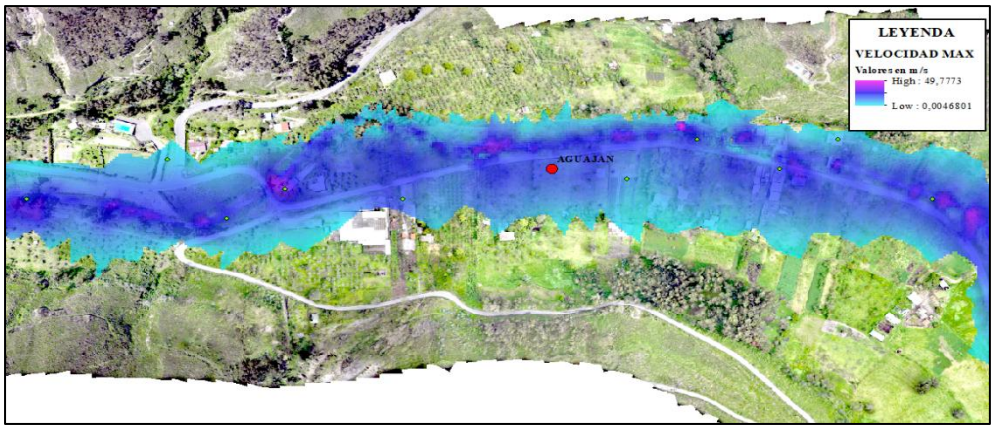
Puntos de la toma de las medidas del calado en Aguaján.



Nota. Puntos establecidos en el sector 3 y el calado registrado donde el color amarillo representa niveles bajos y el morado niveles más altos. Fuente: (Elaboración propia, 2025)

Gráfico 22

Puntos de la toma de las medidas de la velocidad máximo del flujo en Aguaján.



Nota. Puntos establecidos en el sector 3 y la velocidad de flujo donde el color celeste representa niveles bajos y el morado niveles más altos. Fuente: (Elaboración propia, 2025)

Tabla 9

Resultados de calado y velocidad máximo en Aguaján.

Sector 3 Aguaján				
Punto	**Calado**	**Velocidad**	**Coordenadas**	
			x	**y**
1	7,41	6,73	753.837,16	9.858.249,22
2	0,36	1,53	753.989,12	9.858.298,32
3	7,07	6,88	754.053,05	9.858.222,35
4	3,54	9,08	754.116,06	9.858.259,41
5	1,93	5,46	754.243,92	9.858.247,36

6	4,23	3,19	754.485,76	9.858.272,38
7	7,79	6,78	754.559,88	9.858.324,27
8	3,87	6,87	754.650,68	9.858.285,35
9	1,70	2,16	754.712,76	9.858.323,34
10	5,81	6,64	754.814,68	9.858.246,44
Promedio	4,37	5,53		
Mínimo	0,36	1,53		
Máximo	7,79	9,08		

Nota. Datos del calado y la velocidad de flujo registrados en el sector (Aguaján). Fuente: (Elaboración propia, 2025)

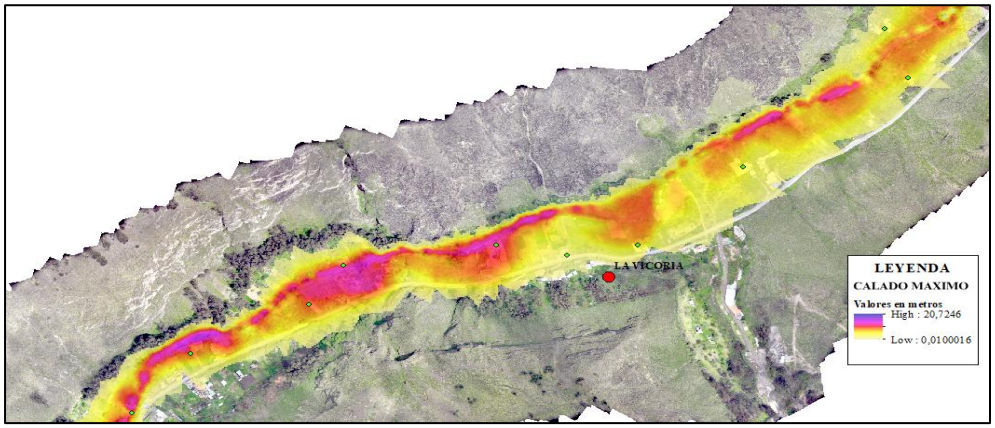
Análisis:

El comportamiento hidráulico en esta zona también indica una situación de riesgo significativo. Se han registrado velocidades de hasta 9,08 m/s y calados de hasta 7,79 m. Los valores promedio de calado y velocidad son de 4,37 m y 5,53 m/s, respectivamente. Si bien los niveles de energía del flujo son inferiores a los de los sectores anteriores, son suficientes para causar graves daños estructurales y arrastre de materiales. Las estructuras de una o dos plantas, así como las carreteras secundarias, estarían altamente comprometidas. Esta es una zona de muy alto riesgo donde se deben considerar medidas de protección estructurales y no estructurales.

4.1.15.4 Sector 4 La Victoria

Gráfico 23

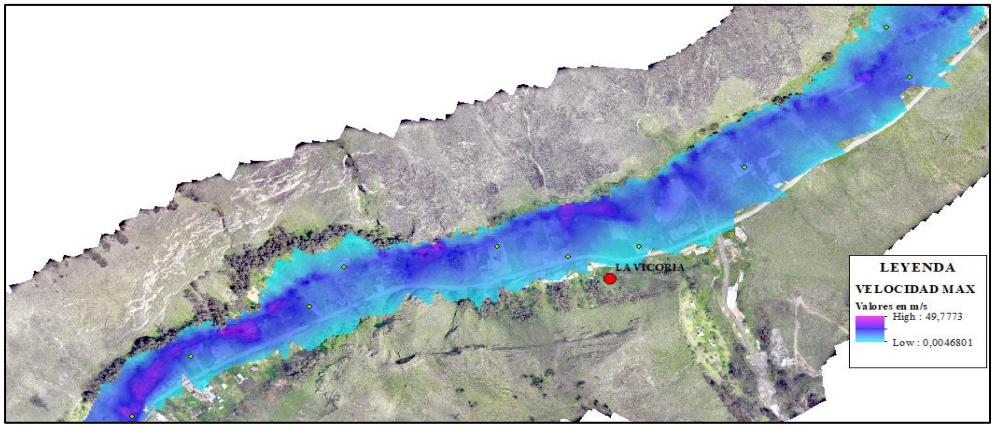
Puntos de la toma de las medidas del calado en La Victoria.



Nota. Puntos establecidos en el sector 4 y el calado registrado donde el color amarillo representa niveles bajos y el morado niveles más altos. Fuente: (Elaboración propia, 2025)

Gráfico 24

Puntos de la toma de las medidas de la velocidad máximo del flujo en La Victoria.



Nota. Puntos establecidos en el sector 4 y la velocidad de flujo donde el color celeste representa niveles bajos y el morado niveles más altos. Fuente: (Elaboración propia, 2025)

Tabla 10

Resultados de calado y velocidad máximo en La Victoria.

Sector 4 La Victoria				
Punto	**Calado**	**Velocidad**	**Coordenadas**	
			x	**y**
1	5,75	10,24	756.122,42	9.858.270,71
2	5,76	5,73	756.217,69	9.858.385,64
3	5,82	5,26	756.411,26	9.858.479,40
4	5,98	4,52	756.465,70	9.858.555,01

5	6,72	5,08	756.712,20	9.858.594,33
6	1,27	3,80	756.827,13	9.858.576,18
7	3,67	1,51	756.946,60	9.858.597,36
8	2,99	4,51	757.114,46	9.858.745,56
9	3,17	4,63	757.382,13	9.858.914,93
10	2,14	2,68	757.344,32	9.859.014,74
Promedio	4,33	4,80		
Mínimo	1,27	1,51		
Máximo	6,72	10,24		

Nota. Datos del calado y la velocidad de flujo registrados en el sector (La Victoria). Fuente: (Elaboración propia, 2025)

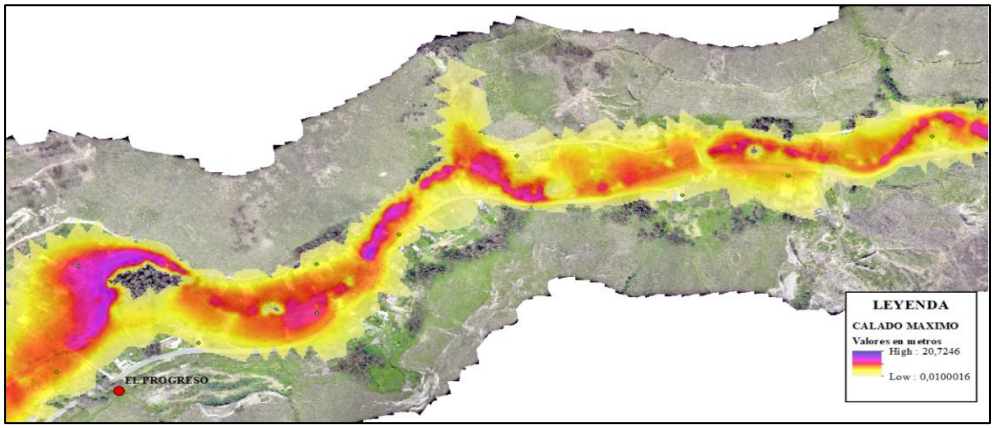
Análisis:

Este sector presenta una dinámica hidráulica particularmente fuerte. El calado máximo alcanzado fue de 6,72 metros, mientras que la velocidad máxima fue de 10,24 metros por segundo. Con calados promedio de 4,33 metros y velocidades de 4,80 metros por segundo, existe evidencia de un flujo con suficiente poder destructivo para dañar seres vivos, pequeños puentes y redes viales. El comportamiento observado apunta a una posible acumulación y descarga violenta de agua en algunas zonas del sector.

4.1.15.5 Sector 5 El Progreso.

Gráfico 25

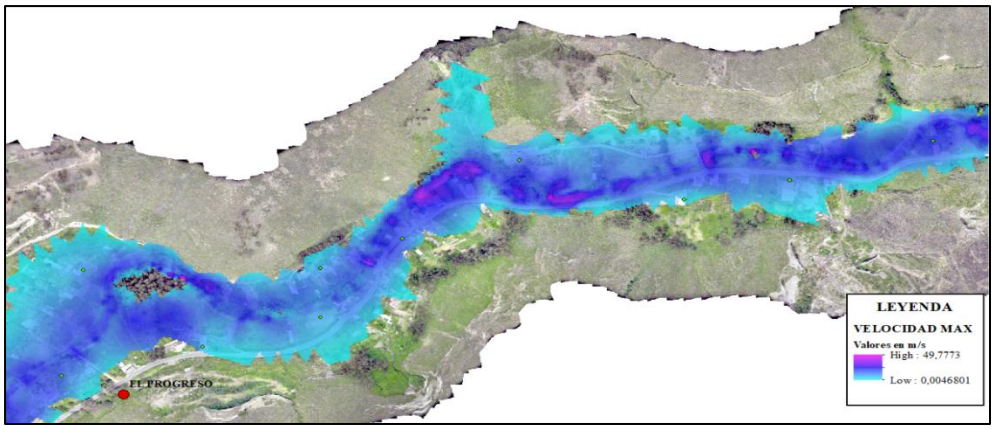
Puntos de la toma de las medidas del calado en El Progreso.



Nota. Puntos establecidos en el sector 5 y el calado registrado donde el color amarillo representa niveles bajos y el morado niveles más altos. Fuente: (Elaboración propia, 2025)

Gráfico 26

Puntos de la toma de las medidas de la velocidad máximo del flujo en El Progreso.



Nota. Puntos establecidos en el sector 5 y la velocidad de flujo donde el color celeste representa niveles bajos y el morado niveles más altos. Fuente: (Elaboración propia, 2025)

Tabla 11

Resultados de calado y velocidad máximo en El Progreso.

Sector 5 El Progreso				
Punto	**Calado**	**Velocidad**	**Coordenadas**	
			x	**y**
1	5,34	5,20	757.694,64	9.859.752,13
2	7,42	2,90	757.729,85	9.859.957,54
3	1,14	2,12	757.923,52	9.859.807,29
4	6,75	2,64	758.113,68	9.859.865,98
5	2,78	2,64	758.116,03	9.859.959,89

6	3,64	5,40	758.247,49	9.860.018,58
7	2,07	4,47	758.437,64	9.860.172,34
8	0,64	1,41	758.705,27	9.860.096,05
9	4,15	3,85	758.875,47	9.860.133,61
10	3,35	7,00	759.109,05	9.860.208,73
Promedio	3,73	3,76		
Mínimo	0,64	1,41		
Máximo	7,42	7,00		

Nota. Datos del calado y la velocidad de flujo registrados en el sector (El Progreso). Fuente: (Elaboración propia, 2025)

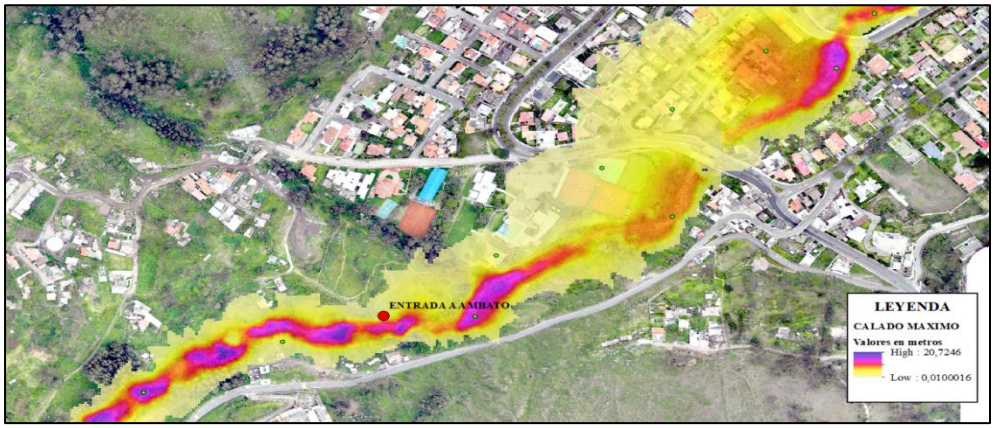
Análisis:

Si bien existen valores algo más moderados en este sector, aún representan una amenaza alta. El calado máximo es de 7,42 metros y la velocidad máxima es de 7,0 metros por segundo. En promedio, la altura es de 3,73 metros y la velocidad es de 3,76 metros por segundo. Estos ubican al sector dentro de un nivel de peligro alto, particularmente en zonas con edificaciones de baja resistencia. La variabilidad de los datos sugiere que el flujo en este sector podría experimentar aumentos recurrentes de intensidad especialmente en las zonas más cercanas al cauce principal.

4.1.15.6 Sector 6 Entrada a Ambato

Gráfico 27

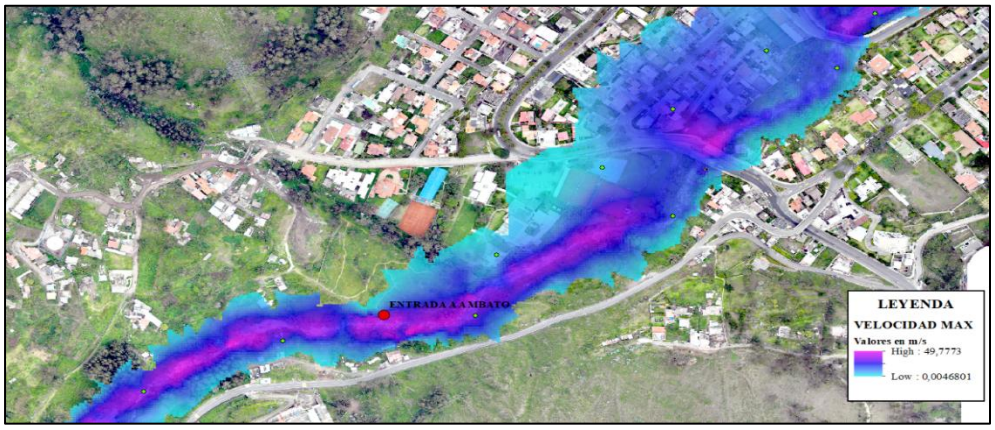
Puntos de la toma de las medidas del calado en la entrada a Ambato.



Nota. Puntos establecidos en el sector 6 y el calado registrado donde el color amarillo representa niveles bajos y el morado niveles más altos. Fuente: (Elaboración propia, 2025)

Gráfico 28

Puntos de la toma de las medidas de la velocidad máximo del flujo en la entrada a Ambato.



Nota. Puntos establecidos en el sector 6 y la velocidad de flujo donde el color celeste representa niveles bajos y el morado niveles más altos. Fuente: (Elaboración propia, 2025)

Tabla 12

Resultados de calado y velocidad máximo en la entrada a Ambato.

Sector 6 Entrada a Ambato				
Punto	**Calado**	**Velocidad**	**Coordenadas**	
			x	**y**
1	10,02852	11,09468	761.403,70	9.860.920,31
2	1,764982	8,3579	761.555,58	9.860.987,08
3	8,302469	9,160074	761.763,22	9.861.018,63
4	0,938808	2,49214	761.787,43	9.861.098,61

5	4,650129	5,120394	761.976,73	9.861.149,97
6	1,302734	2,147931	761.900,43	9.861.211,60
7	1,610126	8,318666	761.976,73	9.861.289,37
8	4,781913	3,760535	762.078,72	9.861.365,68
9	8,090633	6,662907	762.154,29	9.861.342,20
10	5,511216	9,812181	762.196,11	9.861.412,63
Promedio	4,70	6,69		
Mínimo	0,94	2,15		
Máximo	10,03	11,09		

Nota. Datos del calado y la velocidad de flujo registrados en el sector (Entrada Ambato).

Fuente: (Elaboración propia, 2025)

Análisis:

Esta es una de las áreas de análisis más críticas. Se registró un calado máximo de 10,03 metros y una velocidad máxima de 11,09 metros por segundo, lo que la convierte en una de las zonas con mayor energía hidroeléctrica. La altura promedio de 4,70 metros y la velocidad de 6,69 metros por segundo lo que evidencia la persistencia de condiciones de alto riesgo en todo el sector. La existencia de flujos de esta magnitud conlleva la destrucción total de la infraestructura expuesta, la pérdida de accesibilidad y graves daños a la seguridad de la población.

4.1.16 Conclusión general del análisis hidráulico por sectores

La modelación hidráulica realizada para una posible rotura de la represa Mulacorral muestra que las condiciones del flujo de agua a lo largo del cauce representan un riesgo significativo para todos los sectores examinados. Calados máximos de 10 metros y velocidades que ocasionalmente, superan los 11 metros por segundo indican la presencia de un flujo altamente energético con potencial destructivo para arrasar edificios, carreteras, puentes pequeños e infraestructura urbana y rural.

Los valores promedio también confirman que el riesgo no es puntual, sino generalizado en todo el eje del cauce, afectando zonas densamente pobladas y sectores con importantes elementos vulnerables. En la mayoría de los sectores, el calado promedio oscila

entre 3 y 6 metros, y la velocidad promedio, entre 4 y 7 metros por segundo. Esto representa una grave amenaza, incluso para las estructuras de hormigones armado, si carecen de los recursos necesarios.

Estos valores se mostrarán a continuación como resumen de los datos obtenidos en los respectivos sectores.

4.1.16.1 Resumen de los Calados registrados en los 6 sectores

Tabla 13

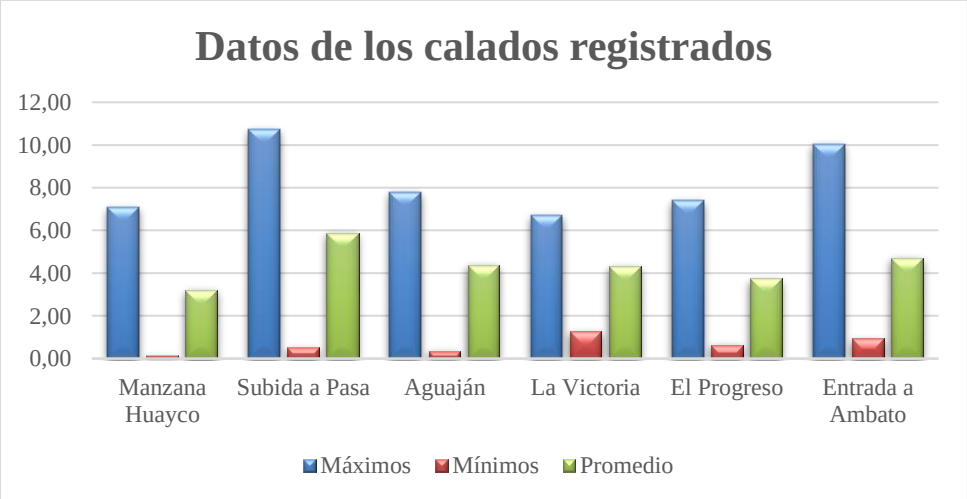
Resumen de los calados registrados

Tabla resumen de los calados registrados en los 6 sectores			
Sector	**Máximos**	**Mínimos**	**Promedio**
Manzana Huayco	7,08	0,14	3,20
Subida a Pasa	10,73	0,52	5,87
Aguaján	7,79	0,36	4,37
La Victoria	6,72	1,27	4,33
El Progreso	7,42	0,64	3,73
Entrada a Ambato	10,03	0,94	4,70

Nota. Datos del calado máximos, mínimos y promedios registrados en los 6 sectores. Fuente: (Elaboración propia, 2025)

Gráfico 29

Grafica de barras de los calados registrados en los 6 sectores



Nota. Grafica de los datos de los calados obtenidos en los diferentes sectores detallados en la Tablas 13. Fuente: (Elaboración propia, 2025)

4.1.16.2 Resumen de las Velocidades del flujo registradas en los 6 sectores

Tabla 14

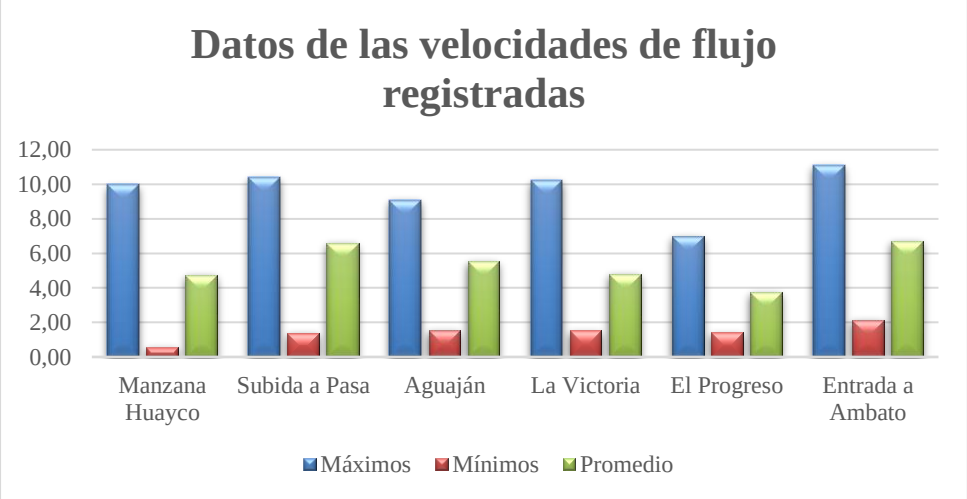
Resumen de las velocidades de flujo registradas

Tabla resumen de las velocidades del flujo registradas en los 6 sectores			
Sector	**Máximos**	**Mínimos**	**Promedio**
Manzana Huayco	9,99	0,55	4,73
Subida a Pasa	10,41	1,38	6,60
Aguaján	9,08	1,53	5,53
La Victoria	10,24	1,51	4,80
El Progreso	7,00	1,41	3,76
Entrada a Ambato	11,09	2,15	6,69

Nota. Datos de las velocidades del flujo máximas, mínimas y promedios registrados en los 6 sectores. Fuente: (Elaboración propia, 2025)

Gráfico 30

Grafica de barras de las velocidades del flujo registradas en los 6 sectores



Nota. Grafica de los datos de las velocidades del flujo obtenidos en los diferentes sectores detallados en la Tabla 14. Fuente: (Elaboración propia, 2025)

4.2 Resultado del objetivo 2. Determinar los elementos expuestos ante la zona de afectación del posible desbordamiento de la represa Mulacorral en el cantón Ambato.

Una vez identificadas las zonas con mayor nivel de afectación mediante el modelamiento hidráulico de la posible rotura de la represa Mulacorral, se propuso a la identificación de los elementos expuestos que podrían ser afectados por el evento.

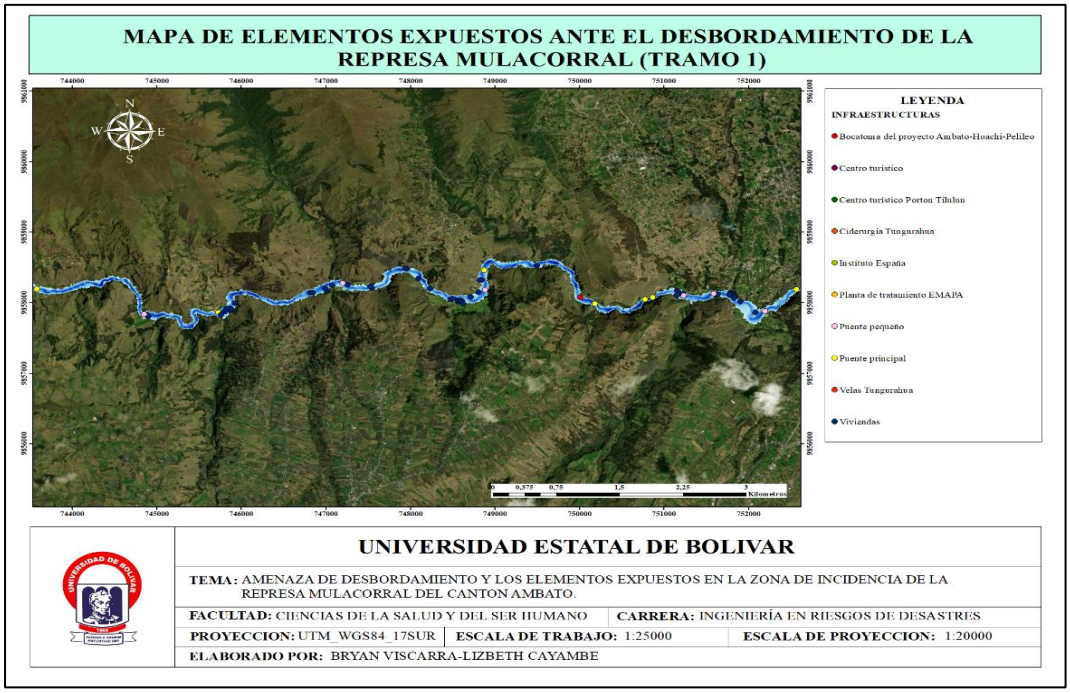
Este proceso se realizó en el software ArcGIS determinando las viviendas e infraestructuras que están dentro de la zona de incidencia del desbordamiento.

A continuación, se presentan los mapas obtenidos y la tabla con todos los elementos expuesto dentro del a zona de incidencia.

4.2.1 Elementos expuestos

Gráfico 31

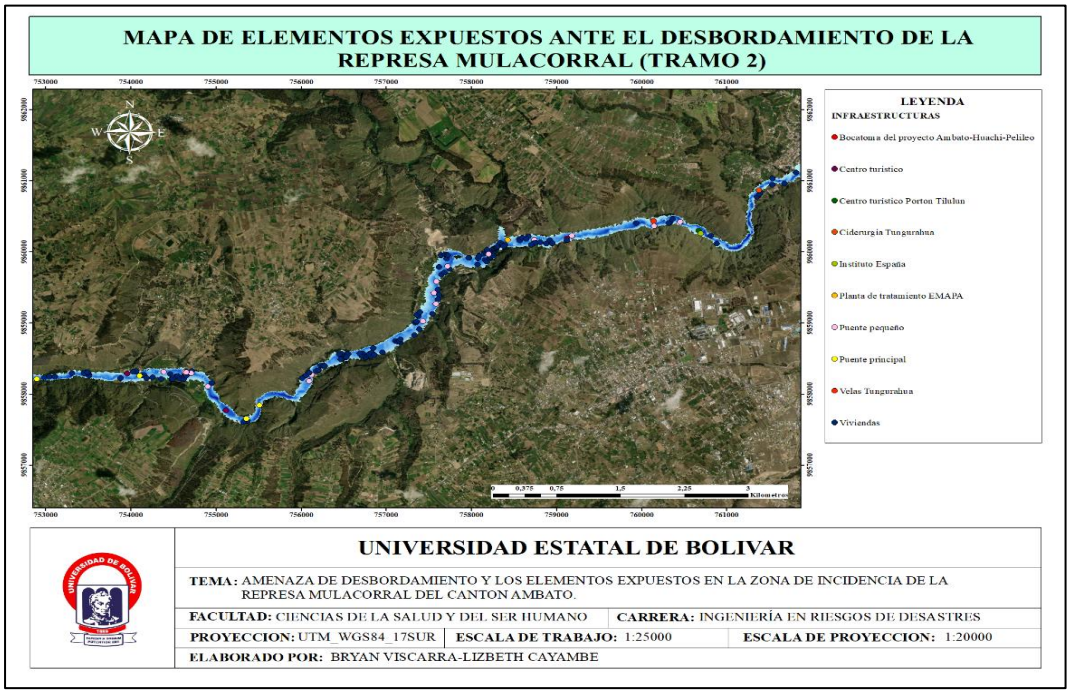
Mapa de los elementos expuestos producto al desbordamiento (tramo 1)



Nota. Se muestran los elementos expuestos en el primer tramo donde comienza la zona poblada y la mancha de la inundación producto de la rotura de la represa. Fuente: (Elaboración propia, 2025)

Gráfico 32

Mapa de los elementos expuestos producto al desbordamiento (tramo 2)



Nota. Se muestran los elementos expuestos en el segundo tramo donde comienza la zona poblada y la mancha de la inundación producto de la rotura de la represa. Fuente: (Elaboración propia, 2025)

Tabla 15

Elementos expuestos y afectación de estos.

ELEMENTOS EXPUESTOS										
N	**Provincia**	**Cantón**	**Elemento afectado**	**Coordenadas**		**Afectación**	**Tipo de afección**	**Calado Máximo (m)**	**Velocidad Máximo (m/s)**	**Índice hidráulico (c*v)**
				x	**y**					
1	Tungurahua	Ambato	Vivienda	761806	9861120	Leve	Daños materiales.	0,31	2,35	0,72
2	Tungurahua	Ambato	Vivienda	761533	9861040	Leve	Daños materiales.	0,07	1,32	0,09
3	Tungurahua	Ambato	Ciderurgia Tungurahua	761375	9860870	Grave	Daños materiales.	2,23	10,41	23,21
4	Tungurahua	Ambato	Vivienda	761378	9860820	Moderada	Daños materiales.	0,87	1,98	1,72
5	Tungurahua	Ambato	Vivienda	761385	9860830	Leve	Daños materiales.	0,23	1,78	0,40
6	Tungurahua	Ambato	Vivienda	761389	9860850	Moderada	Daños materiales.	0,48	3,96	1,90
7	Tungurahua	Ambato	Vivienda	761351	9860780	Leve	Daños materiales.	0,69	0,7	0,48
8	Tungurahua	Ambato	Vivienda	760331	9860420	Grave	Daños materiales con riesgo potencial de vidas humanas.	2,01	7,39	14,85

9	Tungurahua	Ambato	Vivienda	760359	9860470	Grave	Daños materiales con riesgo potencial de vidas humanas.	5,3	8,77	46,48
10	Tungurahua	Ambato	Puente pequeño	760450	9860420	Grave	Daños materiales.	9,13	7,61	69,47
11	Tungurahua	Ambato	Velas Tungurahua	760135	9860440	Grave	Daños materiales.	1,77	1,77	3,13
12	Tungurahua	Ambato	Vivienda	759932	9860410	Grave	Daños materiales con riesgo potencial de vidas humanas.	7,61	4,04	30,74
13	Tungurahua	Ambato	Vivienda	760315	9860410	Grave	Daños materiales con riesgo potencial de vidas humanas.	1,77	6,17	10,92
14	Tungurahua	Ambato	Puente pequeño	760140	9860370	Grave	Daños materiales.	2,61	9,3	24,27
15	Tungurahua	Ambato	Centro turístico Portón Tilulún	760666	9860300	Grave	Daños materiales.	2,17	3,74	8,11

16	Tungurahua	Ambato	Puente pequeño	759177	9860230	Grave	Daños materiales.	7,08	9,22	65,27
17	Tungurahua	Ambato	Puente pequeño	760692	9860260	Grave	Daños materiales.	4,05	1,77	7,16
18	Tungurahua	Ambato	Vivienda	760808	9860230	Grave	Daños materiales con riesgo potencial de vidas humanas.	2,47	6,44	15,90
19	Tungurahua	Ambato	Vivienda	758559	9860180	Grave	Daños materiales con riesgo potencial de vidas humanas.	2,67	3,33	8,89
20	Tungurahua	Ambato	Vivienda	758592	9860200	Grave	Daños materiales.	1,74	1,95	3,39
21	Tungurahua	Ambato	Vivienda	758663	9860220	Moderada	Daños materiales.	1	1,54	1,54
22	Tungurahua	Ambato	Vivienda	758641	9860180	Grave	Daños materiales con riesgo potencial de vidas humanas.	3,28	3,63	11,90

23	Tungurahua	Ambato	Centro turístico	759115	9860200	Grave	Daños materiales con riesgo potencial de vidas humanas.	2,59	6,57	17,01
24	Tungurahua	Ambato	Planta de tratamiento EMAPA	758422	9860170	Grave	Daños materiales con riesgo potencial de vidas humanas.	3,15	3,89	12,25
25	Tungurahua	Ambato	Vivienda	758563	9860160	Grave	Daños materiales con riesgo potencial de vidas humanas.	3,38	4,2	14,19
26	Tungurahua	Ambato	Puente pequeño	758731	9860170	Moderada	Daños materiales.	3,03	7,3	22,11
27	Tungurahua	Ambato	Vivienda	758804	9860130	Grave	Daños materiales con riesgo potencial de vidas humanas.	3,79	4,15	15,72

28	Tungurahua	Ambato	Vivienda	758918	9860170	Grave	Daños materiales con riesgo potencial de vidas humanas.	5,72	7,01	40,09
29	Tungurahua	Ambato	Vivienda	759119	9860170	Moderada	Daños materiales.	0,77	2,9	2,23
30	Tungurahua	Ambato	Vivienda	758309	9860090	Grave	Daños materiales con riesgo potencial de vidas humanas.	2,34	7,35	17,19
31	Tungurahua	Ambato	Vivienda	758352	9860100	Grave	Daños materiales con riesgo potencial de vidas humanas.	1,52	6,84	10,39
32	Tungurahua	Ambato	Vivienda	758346	9860110	Grave	Daños materiales con riesgo potencial de vidas humanas.	2,41	6,96	16,77

33	Tungurahua	Ambato	Vivienda	758336	9860130	Grave	Daños materiales con riesgo potencial de vidas humanas.	4,37	7,1	31,02
34	Tungurahua	Ambato	Vivienda	758364	9860110	Grave	Daños materiales con riesgo potencial de vidas humanas.	1,92	6,27	12,03
35	Tungurahua	Ambato	Vivienda	758392	9860100	Grave	Daños materiales con riesgo potencial de vidas humanas.	2,5	1,92	4,8
36	Tungurahua	Ambato	Vivienda	758374	9860080	Moderada	Daños materiales.	0,85	2,47	2,09
37	Tungurahua	Ambato	Vivienda	758729	9860130	Grave	Daños materiales con riesgo potencial de vidas humanas.	1,95	4,54	8,85

38	Tungurahua	Ambato	Vivienda	758752	9860130	Grave	Daños materiales con riesgo potencial de vidas humanas.	2,22	5,37	11,92
39	Tungurahua	Ambato	Vivienda	758697	9860100	Moderada	Daños materiales.	0,94	1,82	1,71
40	Tungurahua	Ambato	Vivienda	758873	9860120	Grave	Daños materiales con riesgo potencial de vidas humanas.	3,52	3,25	11,44
41	Tungurahua	Ambato	Vivienda	758937	9860130	Moderada	Daños materiales.	0,66	3,34	2,20
42	Tungurahua	Ambato	Vivienda	758948	9860130	Leve	Daños materiales.	0,24	2,38	0,57
43	Tungurahua	Ambato	Vivienda	760876	9860120	Moderada	Daños materiales.	0,94	4,36	4,09
44	Tungurahua	Ambato	Vivienda	758285	9860040	Grave	Daños materiales con riesgo potencial de vidas humanas.	2,04	4,77	9,73

45	Tungurahua	Ambato	Vivienda	758265	9860050	Grave	Daños materiales con riesgo potencial de vidas humanas.	4,58	5,78	26,47
46	Tungurahua	Ambato	Vivienda	758277	9860060	Grave	Daños materiales con riesgo potencial de vidas humanas.	3,56	5,97	21,25
47	Tungurahua	Ambato	Vivienda	758283	9860060	Grave	Daños materiales con riesgo potencial de vidas humanas.	3,13	6,3	19,71
48	Tungurahua	Ambato	Vivienda	758290	9860070	Grave	Daños materiales con riesgo potencial de vidas humanas.	2,93	6,76	19,80

49	Tungurahua	Ambato	Vivienda	758297	9860070	Grave	Daños materiales con riesgo potencial de vidas humanas.	2,79	7,08	19,75
50	Tungurahua	Ambato	Vivienda	758167	9859990	Grave	Daños materiales con riesgo potencial de vidas humanas.	2,64	5,8	15,31
51	Tungurahua	Ambato	Vivienda	758185	9860000	Grave	Daños materiales con riesgo potencial de vidas humanas.	4,7	4,29	20,16
52	Tungurahua	Ambato	Vivienda	758227	9860020	Grave	Daños materiales con riesgo potencial de vidas humanas.	6,43	5,96	38,32
53	Tungurahua	Ambato	Vivienda	758180	9860030	Moderada	Daños materiales.	0,64	1,6	1,02

54	Tungurahua	Ambato	Vivienda	758242	9860040	Grave	Daños materiales con riesgo potencial de vidas humanas.	5,39	6,33	34,11
55	Tungurahua	Ambato	Vivienda	758263	9860020	Grave	Daños materiales con riesgo potencial de vidas humanas.	1,65	3,56	5,87
56	Tungurahua	Ambato	Vivienda	758276	9860030	Grave	Daños materiales con riesgo potencial de vidas humanas.	1,7	3,59	6,10
57	Tungurahua	Ambato	Vivienda	758273	9860020	Grave	Daños materiales.	1,38	2,81	3,87
58	Tungurahua	Ambato	Vivienda	758251	9859990	Grave	Daños materiales con riesgo potencial de vidas humanas.	1,55	4,1	6,35
59	Tungurahua	Ambato	Vivienda	757638	9859960	Leve	Daños materiales.	1	0,49	0,49

60	Tungurahua	Ambato	Vivienda	757686	9859970	Grave	Daños materiales con riesgo potencial de vidas humanas.	4,44	1,53	6,79
61	Tungurahua	Ambato	Vivienda	757706	9859960	Grave	Daños materiales con riesgo potencial de vidas humanas.	5,91	2	11,82
62	Tungurahua	Ambato	Vivienda	757723	9859950	Grave	Daños materiales con riesgo potencial de vidas humanas.	7,2	3	21,6
63	Tungurahua	Ambato	Vivienda	758088	9859950	Grave	Daños materiales con riesgo potencial de vidas humanas.	3,36	2,63	8,83

64	Tungurahua	Ambato	Vivienda	758219	9859950	Grave	Daños materiales con riesgo potencial de vidas humanas.	4,52	3,48	15,72
65	Tungurahua	Ambato	Vivienda	758141	9859970	Grave	Daños materiales con riesgo potencial de vidas humanas.	2,69	3,59	9,65
66	Tungurahua	Ambato	Vivienda	758231	9859970	Grave	Daños materiales con riesgo potencial de vidas humanas.	2,67	4,04	10,78
67	Tungurahua	Ambato	Vivienda	758243	9859960	Moderada	Daños materiales con riesgo potencial de vidas humanas.	1,16	1,56	1,80
68	Tungurahua	Ambato	Vivienda	758250	9859950	Leve	Daños materiales.	0,53	0,79	0,41
69	Tungurahua	Ambato	Puente pequeño	758195	9859970	Grave	Daños materiales.	7,5	10,7	80,25

70	Tungurahua	Ambato	Vivienda	757705	9859910	Grave	Daños materiales con riesgo potencial de vidas humanas.	5,31	2,82	14,97
71	Tungurahua	Ambato	Vivienda	758074	9859920	Grave	Daños materiales con riesgo potencial de vidas humanas.	5,4	4,67	25,21
72	Tungurahua	Ambato	Vivienda	757969	9859920	Grave	Daños materiales con riesgo potencial de vidas humanas.	3,2	5,56	17,79
73	Tungurahua	Ambato	Vivienda	757959	9859920	Grave	Daños materiales con riesgo potencial de vidas humanas.	3,37	6,15	20,72

74	Tungurahua	Ambato	Vivienda	758212	9859910	Grave	Daños materiales con riesgo potencial de vidas humanas.	2,71	2,15	5,82
75	Tungurahua	Ambato	Vivienda	758217	9859930	Grave	Daños materiales con riesgo potencial de vidas humanas.	3,62	2,81	10,17
76	Tungurahua	Ambato	Vivienda	758219	9859940	Grave	Daños materiales con riesgo potencial de vidas humanas.	3,88	2,86	11,09
77	Tungurahua	Ambato	Vivienda	758156	9859890	Grave	Daños materiales con riesgo potencial de vidas humanas.	3,35	4,21	14,10

78	Tungurahua	Ambato	Vivienda	758173	9859870	Grave	Daños materiales con riesgo potencial de vidas humanas.	2,36	2,62	6,18
79	Tungurahua	Ambato	Vivienda	758069	9859830	Grave	Daños materiales con riesgo potencial de vidas humanas.	5,68	2,9	16,47
80	Tungurahua	Ambato	Puente pequeño	757713	9859800	Grave	Daños materiales.	6,53	7,72	50,41
81	Tungurahua	Ambato	Vivienda	757617	9859790	Grave	Daños materiales con riesgo potencial de vidas humanas.	3,61	3,33	12,02
82	Tungurahua	Ambato	Vivienda	757741	9859760	Grave	Daños materiales con riesgo potencial de vidas humanas.	2,68	2,56	6,86

83	Tungurahua	Ambato	Vivienda	757678	9859710	Grave	Daños materiales con riesgo potencial de vidas humanas.	2,94	5,82	17,11
84	Tungurahua	Ambato	Vivienda	757647	9859680	Grave	Daños materiales. con riesgo potencial de vidas humanas.	3,73	5,87	21,89
85	Tungurahua	Ambato	Puente pequeño	757587	9859580	Grave	Daños materiales.	3,01	9,96	29,97
86	Tungurahua	Ambato	Vivienda	757601	9859470	Grave	Daños materiales con riesgo potencial de vidas humanas.	4,74	6,97	33,03
87	Tungurahua	Ambato	Puente pequeño	757556	9859420	Grave	Daños materiales.	4,4	3,3	14,52
88	Tungurahua	Ambato	Vivienda	757617	9859400	Grave	Daños materiales.	1,25	2,74	3,42

89	Tungurahua	Ambato	Vivienda	757601	9859340	Grave	Daños materiales con riesgo potencial de vidas humanas.	1,66	3,37	5,59
90	Tungurahua	Ambato	Puente pequeño	757580	9859270	Grave	Daños materiales.	6,33	6,01	38,04
91	Tungurahua	Ambato	Vivienda	757388	9859150	Grave	Daños materiales con riesgo potencial de vidas humanas.	0,61	1,39	0,84
92	Tungurahua	Ambato	Vivienda	757536	9859130	Grave	Daños materiales con riesgo potencial de vidas humanas.	1,12	3,47	3,88
93	Tungurahua	Ambato	Vivienda	757376	9859100	Grave	Daños materiales con riesgo potencial de vidas humanas.	1,43	2,22	3,17
94	Tungurahua	Ambato	Vivienda	757353	9859110	Leve	Daños materiales.	0,21	0,95	0,19

95	Tungurahua	Ambato	Vivienda	757333	9859010	Grave	Daños materiales con riesgo potencial de vidas humanas.	1,57	2,04	3,20
96	Tungurahua	Ambato	Vivienda	757350	9859010	Grave	Daños materiales con riesgo potencial de vidas humanas.	2,84	3,21	9,11
97	Tungurahua	Ambato	Vivienda	757347	9859030	Grave	Daños materiales con riesgo potencial de vidas humanas.	1,93	2,39	4,61
98	Tungurahua	Ambato	Puente pequeño	757426	9859020	Grave	Daños materiales.	5,49	5,77	31,67
99	Tungurahua	Ambato	Vivienda	757384	9858910	Grave	Daños materiales con riesgo potencial de vidas humanas.	3,04	4,41	13,40
100	Tungurahua	Ambato	Vivienda	757323	9858830	Moderada	Daños materiales.	1,2	1,95	2,34

101	Tungurahua	Ambato	Vivienda	757103	9858740	Grave	Daños materiales con riesgo potencial de vidas humanas.	3,47	4,15	14,40
102	Tungurahua	Ambato	Vivienda	757147	9858750	Grave	Daños materiales con riesgo potencial de vidas humanas.	2,02	4,49	9,06
103	Tungurahua	Ambato	Vivienda	757164	9858770	Grave	Daños materiales con riesgo potencial de vidas humanas.	2,6	4,67	12,14
104	Tungurahua	Ambato	Vivienda	757132	9858730	Grave	Daños materiales con riesgo potencial de vidas humanas.	2,1	4,42	9,28
105	Tungurahua	Ambato	Vivienda	757162	9858720	Grave	Daños materiales.	1,12	3,52	3,94

106	Tungurahua	Ambato	Vivienda	756841	9858650	Grave	Daños materiales con riesgo potencial de vidas humanas.	2,93	6,85	20,07
107	Tungurahua	Ambato	Vivienda	756462	9858560	Grave	Daños materiales con riesgo potencial de vidas humanas.	5,49	3,6	19,76
108	Tungurahua	Ambato	Vivienda	756470	9858560	Grave	Daños materiales con riesgo potencial de vidas humanas.	5,74	4,9	28,12
109	Tungurahua	Ambato	Vivienda	756472	9858570	Grave	Daños materiales con riesgo potencial de vidas humanas.	4,57	3,45	15,76

110	Tungurahua	Ambato	Vivienda	756442	9858560	Grave	Daños materiales con riesgo potencial de vidas humanas.	4,66	2,21	10,29
111	Tungurahua	Ambato	Vivienda	756533	9858560	Grave	Daños materiales con riesgo potencial de vidas humanas.	6,18	5,03	31,08
112	Tungurahua	Ambato	Vivienda	756551	9858570	Grave	Daños materiales con riesgo potencial de vidas humanas.	4,55	7,25	32,98
113	Tungurahua	Ambato	Vivienda	756537	9858550	Grave	Daños materiales con riesgo potencial de vidas humanas.	5,76	5,11	29,43

114	Tungurahua	Ambato	Vivienda	756701	9858560	Grave	Daños materiales con riesgo potencial de vidas humanas.	5,97	3,59	21,43
115	Tungurahua	Ambato	Vivienda	756727	9858570	Grave	Daños materiales con riesgo potencial de vidas humanas.	5,94	2,97	17,64
116	Tungurahua	Ambato	Vivienda	756683	9858570	Grave	Daños materiales con riesgo potencial de vidas humanas.	5,52	5,18	28,59
117	Tungurahua	Ambato	Vivienda	756793	9858560	Grave	Daños materiales con riesgo potencial de vidas humanas.	1,71	3,14	5,36

118	Tungurahua	Ambato	Vivienda	756825	9858580	Grave	Daños materiales con riesgo potencial de vidas humanas.	1,36	4,03	5,48
119	Tungurahua	Ambato	Vivienda	756855	9858550	Leve	Daños materiales.	0,24	1,33	0,31
120	Tungurahua	Ambato	Vivienda	756946	9858590	Moderada	Daños materiales con riesgo potencial de vidas humanas.	2,35	1,12	2,63
121	Tungurahua	Ambato	Vivienda	749490	9858530	Grave	Daños materiales con riesgo potencial de vidas humanas.	5,54	11,06	61,27
122	Tungurahua	Ambato	Vivienda	756525	9858520	Grave	Daños materiales con riesgo potencial de vidas humanas.	6,34	3,1	19,65

123	Tungurahua	Ambato	Vivienda	756705	9858530	Grave	Daños materiales con riesgo potencial de vidas humanas.	4,78	2,45	11,71
124	Tungurahua	Ambato	Vivienda	756761	9858520	Leve	Daños materiales.	0,65	1,17	0,76
125	Tungurahua	Ambato	Vivienda	756786	9858540	Moderada	Daños materiales.	1,03	2,18	2,24
126	Tungurahua	Ambato	Vivienda	756814	9858540	Leve	Daños materiales.	0,27	0,97	0,26
127	Tungurahua	Ambato	Vivienda	747950	9858480	Grave	Daños materiales con riesgo potencial de vidas humanas.	1,84	6,37	11,72
128	Tungurahua	Ambato	Vivienda	747936	9858490	Grave	Daños materiales con riesgo potencial de vidas humanas.	1,27	6,17	7,83

129	Tungurahua	Ambato	Vivienda	756474	9858490	Grave	Daños materiales con riesgo potencial de vidas humanas.	5,01	4,09	20,49
130	Tungurahua	Ambato	Vivienda	756470	9858490	Grave	Daños materiales. con riesgo potencial de vidas humanas.	5,68	4,43	25,16
131	Tungurahua	Ambato	Vivienda	756458	9858490	Grave	Daños materiales con riesgo potencial de vidas humanas.	5,6	4,22	23,63
132	Tungurahua	Ambato	Puente principal	748864	9858470	Grave	Daños materiales.	7,63	8,62	65,77
133	Tungurahua	Ambato	Vivienda	756225	9858400	Grave	Daños materiales con riesgo potencial de vidas humanas.	5,73	7,26	41,59

134	Tungurahua	Ambato	Vivienda	756256	9858390	Grave	Daños materiales con riesgo potencial de vidas humanas.	5,01	5,04	25,25
135	Tungurahua	Ambato	Vivienda	756269	9858400	Grave	Daños materiales con riesgo potencial de vidas humanas.	5,67	4,85	27,49
136	Tungurahua	Ambato	Vivienda	748092	9858350	Grave	Daños materiales con riesgo potencial de vidas humanas.	2,01	2,46	4,94
137	Tungurahua	Ambato	Vivienda	748838	9858330	Grave	Daños materiales con riesgo potencial de vidas humanas.	1,58	5,26	8,31
138	Tungurahua	Ambato	Vivienda	748821	9858320	Moderada	Daños materiales.	0,6	2,11	1,26
139	Tungurahua	Ambato	Vivienda	754056	9858320	Leve	Daños materiales.	0,17	0,29	0,04

140	Tungurahua	Ambato	Vivienda	754640	9858320	Grave	Daños materiales con riesgo potencial de vidas humanas.	2,73	4,43	12,0
141	Tungurahua	Ambato	Vivienda	754712	9858320	Grave	Daños materiales con riesgo potencial de vidas humanas.	2,14	2,56	5,47
142	Tungurahua	Ambato	Vivienda	756185	9858330	Grave	Daños materiales.	1,03	3,96	4,07
143	Tungurahua	Ambato	Vivienda	756174	9858320	Grave	Daños materiales.	0,85	4,36	3,70
144	Tungurahua	Ambato	Vivienda	756201	9858340	Moderada	Daños materiales.	1,04	1,9	1,97
145	Tungurahua	Ambato	Puente pequeño	754380	9858310	Grave	Daños materiales.	4,53	7,72	34,97
146	Tungurahua	Ambato	Puente pequeño	754629	9858310	Grave	Daños materiales.	4,52	3,03	13,69
147	Tungurahua	Ambato	Vivienda	753301	9858290	Grave	Daños materiales con riesgo potencial de vidas humanas.	3,62	5,82	21,06

148	Tungurahua	Ambato	Vivienda	753465	9858300	Moderada	Daños materiales.	0,65	2,96	1,92
149	Tungurahua	Ambato	Vivienda	753482	9858290	Grave	Daños materiales.	1,04	3,23	3,35
150	Tungurahua	Ambato	Vivienda	753445	9858290	Grave	Daños materiales.	1,1	4,23	4,65
151	Tungurahua	Ambato	Vivienda	753503	9858270	Grave	Daños materiales con riesgo potencial de vidas humanas.	3,52	5,96	20,97
152	Tungurahua	Ambato	Vivienda	753490	9858300	Leve	Daños materiales.	0,51	1,5	0,76
153	Tungurahua	Ambato	Vivienda	753483	9858310	Leve	Daños materiales.	0,12	0,75	0,09
154	Tungurahua	Ambato	Centro turístico	753953	9858290	Moderada	Daños materiales.	0,95	2,4	2,28
155	Tungurahua	Ambato	Vivienda	754123	9858260	Grave	Daños materiales con riesgo potencial de vidas humanas.	4,11	8,63	35,46

156	Tungurahua	Ambato	Vivienda	754151	9858260	Grave	Daños materiales con riesgo potencial de vidas humanas.	4,27	6,08	25,96
157	Tungurahua	Ambato	Vivienda	754457	9858280	Grave	Daños materiales con riesgo potencial de vidas humanas.	3,62	5,69	20,59
158	Tungurahua	Ambato	Vivienda	754628	9858280	Grave	Daños materiales con riesgo potencial de vidas humanas.	5,01	6,13	30,71
159	Tungurahua	Ambato	Vivienda	754648	9858270	Grave	Daños materiales con riesgo potencial de vidas humanas.	3,64	6,5	23,66
160	Tungurahua	Ambato	Puente pequeño	754705	9858290	Grave	Daños materiales.	4,6	6,2	28,52

161	Tungurahua	Ambato	Vivienda	756053	9858270	Grave	Daños materiales con riesgo potencial de vidas humanas.	1,39	5,1	7,08
162	Tungurahua	Ambato	Puente pequeño	756119	9858270	Grave	Daños materiales.	5,38	9,49	51,05
163	Tungurahua	Ambato	Vivienda	756089	9858300	Grave	Daños materiales con riesgo potencial de vidas humanas.	3,03	5,93	17,96
164	Tungurahua	Ambato	Puente pequeño	747192	9858280	Grave	Daños materiales.	9,21	9,18	84,54
165	Tungurahua	Ambato	Puente principal	754097	9858260	Grave	Daños materiales.	4,85	7,93	38,46
166	Tungurahua	Ambato	Puente pequeño	754644	9858310	Grave	Daños materiales.	4,22	3,67	15,48
167	Tungurahua	Ambato	Vivienda	747066	9858250	Grave	Daños materiales con riesgo potencial de vidas humanas.	3,91	7,45	29,12
168	Tungurahua	Ambato	Vivienda	747254	9858260	Moderada	Daños materiales.	1,71	2,26	3,86

169	Tungurahua	Ambato	Vivienda	747519	9858230	Grave	Daños materiales con riesgo potencial de vidas humanas.	2,29	4,86	11,12
170	Tungurahua	Ambato	Puente principal	752892	9858210	Grave	Daños materiales.	6,15	8,07	49,63
171	Tungurahua	Ambato	Vivienda	752980	9858240	Grave	Daños materiales con riesgo potencial de vidas humanas.	5,37	4,99	26,79
172	Tungurahua	Ambato	Vivienda	753037	9858250	Grave	Daños materiales con riesgo potencial de vidas humanas.	2,25	4,98	11,20
173	Tungurahua	Ambato	Vivienda	753103	9858250	Grave	Daños materiales con riesgo potencial de vidas humanas.	2,82	4,53	12,77

174	Tungurahua	Ambato	Vivienda	753503	9858260	Grave	Daños materiales con riesgo potencial de vidas humanas.	5,27	6,64	34,99
175	Tungurahua	Ambato	Vivienda	753874	9858230	Grave	Daños materiales con riesgo potencial de vidas humanas.	4,68	5,24	24,52
176	Tungurahua	Ambato	Vivienda	754183	9858220	Moderada	Daños materiales.	0,43	1,79	0,76
177	Tungurahua	Ambato	Vivienda	754252	9858230	Grave	Daños materiales con riesgo potencial de vidas humanas.	1,45	4,29	6,22
178	Tungurahua	Ambato	Vivienda	754522	9858250	Grave	Daños materiales. con riesgo potencial de vidas humanas.	1,69	2,15	3,63
179	Tungurahua	Ambato	Vivienda	754545	9858250	Grave	Daños materiales	1,11	4,04	4,48

180	Tungurahua	Ambato	Vivienda	754576	9858220	Leve	Daños materiales.	0,63	1,15	0,72
181	Tungurahua	Ambato	Vivienda	754615	9858210	Moderada	Daños materiales.	0,98	2	1,96
182	Tungurahua	Ambato	Vivienda	754624	9858260	Grave	Daños materiales con riesgo potencial de vidas humanas.	4,05	5,36	21,70
183	Tungurahua	Ambato	Vivienda	754647	9858260	Grave	Daños materiales con riesgo potencial de vidas humanas.	3,6	5,88	21,16
184	Tungurahua	Ambato	Vivienda	756007	9858230	Moderada	Daños materiales	0,73	1,22	0,89
185	Tungurahua	Ambato	Puente principal	743572	9858200	Grave	Daños materiales.	4,29	10,89	46,71
186	Tungurahua	Ambato	Vivienda	747005	9858180	Moderada	Daños materiales.	1,2	1,41	1,69
187	Tungurahua	Ambato	Vivienda	746986	9858200	Grave	Daños materiales con riesgo potencial de vidas humanas.	4,32	3,23	13,95

188	Tungurahua	Ambato	Vivienda	747536	9858210	Grave	Daños materiales con riesgo potencial de vidas humanas.	8,48	9,84	83,44
189	Tungurahua	Ambato	Vivienda	748225	9858200	Grave	Daños materiales con riesgo potencial de vidas humanas.	5,65	10,23	57,79
190	Tungurahua	Ambato	Puente pequeño	748879	9858190	Grave	Daños materiales.	4,61	10,12	46,65
191	Tungurahua	Ambato	Vivienda	751152	9858170	Grave	Daños materiales con riesgo potencial de vidas humanas.	1,59	4,98	7,91
192	Tungurahua	Ambato	Puente principal	752565	9858190	Grave	Daños materiales.	6,06	10,64	64,47
193	Tungurahua	Ambato	Vivienda	754348	9858210	Leve	Daños materiales.	0,24	1,45	0,34
194	Tungurahua	Ambato	Vivienda	754487	9858210	Leve	Daños materiales.	0,3	0,42	0,12
195	Tungurahua	Ambato	Puente pequeño	756089	9858180	Grave	Daños materiales.	4,17	12,14	50,62

196	Tungurahua	Ambato	Vivienda	746809	9858150	Grave	Daños materiales con riesgo potencial de vidas humanas.	6,45	4,7	30,31
197	Tungurahua	Ambato	Vivienda	746836	9858150	Grave	Daños materiales con riesgo potencial de vidas humanas.	5,25	5,65	29,66
198	Tungurahua	Ambato	Vivienda	748801	9858150	Leve	Daños materiales.	0,33	0,53	0,17
199	Tungurahua	Ambato	Vivienda	751167	9858150	Grave	Daños materiales con riesgo potencial de vidas humanas.	2,83	8,34	23,60
200	Tungurahua	Ambato	Vivienda	751215	9858130	Grave	Daños materiales con riesgo potencial de vidas humanas.	2,91	5,93	17,25

201	Tungurahua	Ambato	Vivienda	751629	9858130	Grave	Daños materiales con riesgo potencial de vidas humanas.	3,26	8,28	26,99
202	Tungurahua	Ambato	Vivienda	751781	9858150	Moderada	Daños materiales.	1,33	1,79	2,38
203	Tungurahua	Ambato	Vivienda	751777	9858130	Grave	Daños materiales con riesgo potencial de vidas humanas.	2,28	4,71	10,73
204	Tungurahua	Ambato	Vivienda	751801	9858120	Grave	Daños materiales	1,1	4	4,4
205	Tungurahua	Ambato	Vivienda	754945	9858160	Grave	Daños materiales	1,44	4,74	6,82
206	Tungurahua	Ambato	Puente pequeño	751586	9858130	Grave	Daños materiales.	7,49	7,73	57,89
207	Tungurahua	Ambato	Vivienda	748708	9858080	Grave	Daños materiales con riesgo potencial de vidas humanas.	2,75	8,2	22,55

208	Tungurahua	Ambato	Bocatoma del proyecto Ambato-Huachi-Pelileo	750007	9858080	Grave	Daños materiales.	8,45	12,55	106,04
209	Tungurahua	Ambato	Puente principal	750857	9858080	Grave	Daños materiales.	4,23	17,78	75,20
210	Tungurahua	Ambato	Vivienda	751145	9858110	Grave	Daños materiales con riesgo potencial de vidas humanas.	2,32	4,17	9,67
211	Tungurahua	Ambato	Vivienda	751616	9858110	Grave	Daños materiales con riesgo potencial de vidas humanas.	2,22	6,67	14,80
212	Tungurahua	Ambato	Vivienda	751767	9858110	Grave	Daños materiales con riesgo potencial de vidas humanas.	3,91	7,08	27,68

213	Tungurahua	Ambato	Vivienda	751830	9858070	Grave	Daños materiales con riesgo potencial de vidas humanas.	1,97	5,34	10,51
214	Tungurahua	Ambato	Puente pequeño	754898	9858100	Grave	Daños materiales.	4,88	6,85	33,42
215	Tungurahua	Ambato	Puente pequeño	751225	9858110	Grave	Daño material	6,45	8,01	51,66
216	Tungurahua	Ambato	Vivienda	748468	9858050	Grave	Daños materiales con riesgo potencial de vidas humanas.	5,15	5,03	25,90
217	Tungurahua	Ambato	Vivienda	748494	9858060	Grave	Daños materiales con riesgo potencial de vidas humanas.	7,78	4,94	38,43
218	Tungurahua	Ambato	Vivienda	748561	9858040	Grave	Daños materiales con riesgo potencial de vidas humanas.	1,48	5,95	8,80

219	Tungurahua	Ambato	Vivienda	748573	9858040	Grave	Daños materiales con riesgo potencial de vidas humanas.	1,24	6,19	7,67
220	Tungurahua	Ambato	Vivienda	748589	9858040	Grave	Daños materiales con riesgo potencial de vidas humanas.	1	5,61	5,61
221	Tungurahua	Ambato	Vivienda	748606	9858030	Moderada	Daños materiales.	0,72	4,07	2,93
222	Tungurahua	Ambato	Puente principal	750773	9858050	Grave	Daños materiales.	5,5	12,94	71,17
223	Tungurahua	Ambato	Vivienda	751896	9858020	Moderada	Daños materiales.	0,49	3,3	1,61
224	Tungurahua	Ambato	Vivienda	748557	9858020	Moderada	Daños materiales.	0,61	3,44	2,09
225	Tungurahua	Ambato	Vivienda	745919	9857990	Grave	Daños materiales con riesgo potencial de vidas humanas.	5,74	3,01	17,27
226	Tungurahua	Ambato	Vivienda	748616	9857990	Leve	Daños materiales.	0,04	0,29	0,01

227	Tungurahua	Ambato	Puente principal	750175	9857990	Grave	Daños materiales.	5,46	11,13	60,76
228	Tungurahua	Ambato	Vivienda	745798	9857880	Grave	Daños materiales con riesgo potencial de vidas humanas.	5,7	5,98	34,08
229	Tungurahua	Ambato	Vivienda	745860	9857900	Grave	Daños materiales con riesgo potencial de vidas humanas.	1,85	4,01	7,42
230	Tungurahua	Ambato	Vivienda	745873	9857920	Grave	Daños materiales.	1,2	4,39	5,27
231	Tungurahua	Ambato	Vivienda	745819	9857920	Grave	Daños materiales con riesgo potencial de vidas humanas.	8,5	5,15	43,78
232	Tungurahua	Ambato	Puente pequeño	752188	9857890	Grave	Daños materiales.	8,33	9,96	82,97

233	Tungurahua	Ambato	Vivienda	744875	9857830	Grave	Daños materiales con riesgo potencial de vidas humanas.	5,89	10,13	59,67
234	Tungurahua	Ambato	Puente principal	745723	9857870	Grave	Daños materiales.	6,64	6,46	42,89
235	Tungurahua	Ambato	Vivienda	745752	9857830	Grave	Daños materiales con riesgo potencial de vidas humanas.	4,58	6,41	29,35
236	Tungurahua	Ambato	Vivienda	752076	9857860	Grave	Daños materiales con riesgo potencial de vidas humanas.	1,98	8,04	15,91
237	Tungurahua	Ambato	Puente principal	755508	9857840	Grave	Daños materiales.	5,71	9,83	56,12
238	Tungurahua	Ambato	Puente pequeño	744845	9857840	Grave	Daños materiales.	5,58	11,2	62,49

239	Tungurahua	Ambato	Vivienda	744889	9857810	Grave	Daños materiales con riesgo potencial de vidas humanas.	3,38	5,16	17,44
240	Tungurahua	Ambato	Vivienda	744887	9857830	Grave	Daños materiales con riesgo potencial de vidas humanas.	5,12	8,73	44,69
241	Tungurahua	Ambato	Centro turístico	755109	9857770	Grave	Daños materiales con riesgo potencial de vidas humanas.	8,15	4,23	34,47
242	Tungurahua	Ambato	Puente principal	755355	9857650	Grave	Daños materiales.	6,21	7,63	47,38
243	Tungurahua	Ambato	Vivienda	755362	9857620	Grave	Daños materiales con riesgo potencial de vidas humanas.	2,45	6,89	16,88

244	Tungurahua	Ambato	Vivienda	755319	9857600	Grave	Daños materiales con riesgo potencial de vidas humanas.	2,38	4,48	10,66

Nota. Se muestran todos los elementos expuestos situados en la mancha de la inundación producto de la rotura de la represa Mulacorral. Fuente:

(Elaboración propia, 2025)

En la tabla 14 se plantearon diferentes escalas para determinar el nivel de afectación estas se presenta a continuación:

Tabla 16

Escalas afectación a los elementos expuestos.

Calados	**Velocidad del flujo (m/s)**	**Índice hidráulico (c*v)**	**Escalas**
≤ 0,30 – 0,50 m	≤ 0,5 – 1,0 m/s	≤ 0,8	Leve
0,50 – 1,50 m	1,0 – 2,5 m/s	0,8 – 3,0	Moderada
≥ 1,50 m en adelante	≥ 2,5 – 3,0 m/s en adelante	≥ 3,0 – en adelante	Grave

Nota. Fuente: FEMA, USACE, UNESCO

4.2.2 Resumen del análisis de los elementos expuestos

Tabla 17

Resumen afectaciones a los elementos expuestos.

Tabla resumen afectación a los elementos expuestos					
Estructura		**Afectación**			**Total**
		Leve	**Moderada**	**Grave**	
Viviendas		19	25	157	201
Puentes	Principales	0	0	11	11
	Pequeños	0	1	23	24
Infraestructura Critica	Ciderurgia Tungurahua	0	0	1	1
	Velas Tungurahua	0	0	1	1
	Centro turístico Portón Tilulún	0	0	1	1
	Centro turístico	0	1	2	3
	Planta de tratamiento EMAPA	0	0	1	1
	Bocatoma del proyecto Ambato-Huachi-Pelileo	0	0	1	1
Total		19	27	198	244

Nota. Se resume los datos obtenidos y establecidos en la Tabla 13. Fuente: (Elaboración propia, 2025)

Además de las viviendas e infraestructuras críticas que serían afectadas por el posible desbordamiento de la represa Mulacorral, también las vías que conectan y sirven como medio para el traslado se verán afectadas en parte o en su totalidad por este hecho catastrófico, a continuación, en el Gráfico 39 y Tabla 16 se presenta la afectación en metros de vías en la zona de incidencia del evento.

Gráfico 33

Mapa de vías afectadas producto del desbordamiento de la represa Mulacorral.



Nota. Fuente: (Elaboración propia, 2025)

Tabla 18

Afectación a las vías aguas abajo de la represa Mulacorral en (m).

Afectación a las vías		
Nombre	**Orden**	**Afectación (m)**
Vía Flores	Primer orden	20173,20 m
Vía a Mogato	Segundo orden	47,30 m
Vía a Calamaca	Segundo orden	8,58 m
Vía Aguaján-Chibuleo	Segundo orden	118,17 m
Vía a Pasa	Segundo orden	37,97 m
Vía a San Fernando	Segundo orden	24,16 m
Total		20409,39 m

Nota. Fuente: (Elaboración propia, 2025)

4.2.3 Análisis General

Los datos obtenidos al cruzar los elementos de la zona de incidencia con el área de inundación nos dieron como resultados los elementos expuestos al desbordamiento y futura rotura de la represa Mulacorral, y al analizarlos junto a los datos de calado y velocidad del fluido, los podemos clasificar dependiendo de su nivel de afectación, estos en leve, moderada y grave.

En el caso de las viviendas, se determinó que la mayor parte de estas, es decir, 157 presentarán afectaciones graves, 25 afectaciones moderadas y solo 19 afectaciones leves. Esto refleja el nivel destructivo que tendrá el evento y las grandes afectaciones en las zonas pobladas del área de incidencia.

En cuanto a la infraestructura crítica, se producirían impactos relevantes en sistemas de abastecimiento de agua, atracciones turísticas y puentes. Entre ellos, destacan los 34 puentes, tanto principales como pequeños, los cuales presentan graves o totales afectaciones. Además, instalaciones como la planta de tratamiento EMAPA y la bocatoma del proyecto Ambato-Huachi-Pelileo también presentarían graves afectaciones o su colapso total, lo que sugiere una posible interrupción de los servicios de agua potable en la parte sur de Ambato, ya que esta zona se abastece de la planta EMAPA y aproximante 14000 familias que usan la bocatoma para la parte agrícola verán sus trabajos mermados o disminuidos.

Con respecto a las vías de transporte, estas presentarían grandes afectaciones, conllevando el aislamiento para diversas comunidades y dificultando la pronta recuperación y rehabilitación, ya que muestra una acumulación de más de 20 km de daños, siendo la vía más afectada la Flores, con un tramo de 20.173 m o 20,17 km. Además, se producirían daños en vías secundarias como Mogato, Calamaca, Aguaján-Chibuleo, Pasa y San Fernando en una menor longitud, pero de igual manera representando afectaciones en la movilidad local.

4.3 Resultado del objetivo 3: Definir un Plan de Emergencias con lineamientos generales que contemple acciones preventivas y protocolos de respuesta ante un posible desbordamiento.

PROYECTO VASOS DE REGULACIÓN DE LA CUENCA ALTA DEL RÍO AMBATO

PLAN DE EMERGENCIAS DE LA REPRESA MULACORRAL



4.3.1 Identificación de la Represa Mulacorral

4.3.1.1 Nombre oficial:

Plan de Emergencia de la Represa Mulacorral

4.3.1.2 Identificación del titular:

La Represa de Regulación Mulacorral se encuentra en la Cuenca Alta del Río Ambato, en la quebrada Mulacorral, afluente del Río Calamaca y Ambato, 26 km en dirección noreste, de la ciudad de Ambato sus coordenadas son 9867947.72 m N; 741797.21 m E., parroquia San Fernando.

4.3.1.3 Identificación del director del plan de emergencia de la represa Mulacorral.

El técnico a cargo de Operación, Mantenimiento y Auscultación de la represa Mulacorral. Ing. Carlos Tavares, director de recursos hídricos.

4.3.1.4 Clasificación de la represa en función de su riesgo potencial

La represa Mulacorral está clasificada como una represa grande según el criterio técnico de la (ICOLD), si supera una altura de 15 metros, midiendo desde los cimientos más bajos hasta la coronación. Así también según Bureau of Reclamation determina la misma clasificación si la represa retiene más de 500.000 metros cúbicos.

4.3.2 Descripción de la Represa y su Entorno

4.3.2.1 Situación de la represa

El área del proyecto ocupa una pequeña parte de la cuenca Alta del río Ambato, dentro de la subcuenca de la quebrada Mulacorral que a su vez constituye parte de la subzona Noroccidental de la Cuenca Alta. Esta subzona se caracteriza por poseer áreas naturales, cuerpos de agua y se ubica en una altitud de 3860 m.s.n.m., gracias a su orientación, un régimen de precipitaciones oriental, con lluvias del orden 1.200 mm al año.

4.3.2.2 Orografía

La represa Mulacorral, se ubica en la quebrada del mismo nombre en la cota 3831.m.s.n.m., en la margen derecha de la quebrada Mulacorral se destaca, Loma Huajalo, 4.385 m.s.n.m., Cerro Carapungo 4.286 m.s.n.m., Loma Negro Huañuna 4.273, Loma Gorda 4.215 y Loma Yañatañi 4328, la margen izquierda de la quebrada está ramificada por ramificaciones del Cerro Yanantzay con alturas mayores a los 4200 m.s.n.m.

4.3.2.3 Hidrografía

El drenaje principal de la subcuenca es la quebrada de segundo orden denominada Mulacorral, la cual luego de unirse con la Quebrada Tingo desembocan en el Río Calamaca, que constituye a su vez un afluente de tercer orden del curso principal del río Ambato.

4.3.2.4 Clima

Clima de alta montaña, registrando diferentes variables meteorológicas en la estación Mulacorral-tipo automática, ubicación 9867947.72 m N; 741797.21 m E.

Tabla 19

Clima en las inmediaciones de la Represa Mulacorral.

Resumen anual 2024	
Temperatura anual	6.17 °C
Temperatura máxima	7.45 °C
Temperatura mínima	4.5 °C
Humedad Relativa	83.56 %
Precipitación Anual	806.30 mm
Precipitación Máxima diaria	25.60 mm
Días de lluvia	165.00
Velocidad media anual del viento	2.76 m/s
Dirección media anual del viento	SSO

Nota. Se considero la época más lluviosa mayo-septiembre. Fuente: Red Hidrometereológica de Tungurahua

4.3.2.5 Vegetación

La vegetación predominante es del tipo herbácea perenne, es de tipo páramo con pajonales y plantas propias de pantano; con vegetación de tipo chaparro y matorral bajo.

4.3.2.6 Hidrología

Los mese más lluviosos en la zona del proyecto son de febrero a septiembre, y la época menos lluviosa o de estiaje entre los meses septiembre a febrero. Información obtenida en el informe de Factibilidad. En la actualidad la provincia de Tungurahua el cambio climático ha cambiado los meses de lluvia torrencial ente los meses desde mayo hasta agosto, en situación de crisis del año 2024 y con estadísticas de meses de sequía se registra desde septiembre hasta febrero.

4.3.2.7 Accesos

La Represa Mulacorral se encuentra ubicada a 42 Km de distancia de la ciudad de Ambato en dirección Noreste, su acceso por la Vía flores antigua vía a Guaranda, hasta llegar al sector de Llangahua, tomar la carretera que lleva hasta los páramos del mismo lugar y continuar hasta llegar a la Represa.

Gráfico 34

Mapa referencial de las vías de accesibilidad a la represa Mulacorral.



Nota. La línea de color rojo es la que conduce a la represa desde el centro de la ciudad de Ambato. Fuente: (Elaboración propia, 2025)

4.3.3 Tipología de la Represa

Los desarrollos de embalses utilizan una represa para crear un depósito que pueda almacenar agua. Existen diferentes métodos para categorizarlos, el primero se basa en el material utilizado para su construcción. Las represas construidas de hormigón, piedra o mampostería se denominan represas de gravedad, represas de arco o represas de contrafuerte, respectivamente. La represa Mulacorral construidas con materiales sueltos se llaman represa de terraplén.

4.3.4 Componentes del Proyecto

4.3.4.1 Embalse

El embalse formado por la Represa Mulacorral tiene una capacidad de 3´millones de metros cúbicos cuando su nivel alcanza la cota 3854.50 m.s.n.m., la superficie inundada de 35.2 hectáreas.

4.3.4.2 Obras de derivación y trasvase

El embalse Mulacorral recibe el aporte de los caudales naturales de la quebrada el Sombrero en la cota 3882.50 m.s.n.m., con una captación de trasvase de 400 litros /s., y la quebrada el Tingo 3863.30 m.s.n.m., con una captación de 350 litros/s.

El almacenamiento del agua es principalmente de las tomas El tingo y El Sombrero en las cuales se han construido obras de captación. La conducción del agua desde la quebrada el Sombreo a la quebrada el Tingo es mediante una tubería PVC de 700 mm de diámetro con una capacidad de 400 l/s, en una longitud de 7.7 km, desde la quebrada el Tingo hasta el embalse Mulacorral y la conducción es por una tubería de PVC de 900 mm de diámetro, que tiene la capacidad de 750 l/s y 2.7 km de longitud.

4.3.4.3 Obra de torre de toma

La obra de toma consiste en una estructura de torre, de forma hexagonal, apoyada sobre el tramo inicial de la estructura en la cota 3833 m.s.n.m.

4.3.4.4 Túnel de desvió

Dentro de la estructura de hormigón armada se encuentra alojada la tubería metálica de 760 mm de diámetro con una longitud de 200 metros de longitud.

4.3.5 Estructura del Aliviadero de Excesos

El vertedero al comienzo del aliviadero es de tipo de vertido lateral de 5 metros de longitud y con un caudal unitario de 3 metros por segundo. La corona del vertedero está localizada en la cota 3854.50 m.s.n.m., desde allí las aguas son vertidas a un canal recolector de 1 metro de ancho en la base y 0.98 m de profundidad máxima de agua. El caudal de diseño del aliviadero de excesos es de 1.54 m3/s.

Esta estructura en hormigón está compuesta por un canal de acercamiento, vertedero canal de descarga en forma rápida y el estanque de amortiguamiento.

4.3.6 Sistema de llenado

El de almacenar el exceso de los meses lluviosos que corresponde de mayo hasta septiembre y con el aporte del trasvase del caudal de la Quebrada Tingo y Sombrero. En la gráfica podemos observar el que tiempo que dura el llenado del embalse.

Tabla 20

Proceso de llenado de la represa Mulacorral.

LLENADO			
Cantidad	**Período**		**Duración**
	Desde	**Hasta**	**Días**
1	7/1/2006	7/4/2006	90
2	24/2/2007	28/4/2007	63
3	21/4/2008	25/6/2008	65
4	6/4/2010	24/6/2010	79
5	19/9/2012	17/1/2013	120
6	21/2/2015	6/6/2015	105
7	6/1/2017	25/5/2017	139

8	31/5/2020	22/8/2020	83
9	25/5/2022	10/7/2022	46
10	5/3/2023	17/9/2023	196

Nota. Se presenta el inicio, fin y duración del llenado que obtuvo la represa hasta el 2023.

Fuente: HGPT- (Recursos Hídricos)

4.3.7 Sistemas de auscultación de las obras

Para la auscultación de la represa Mulacorral, se cuenta con un sistema de instrumentación que se encuentra alojada en el cuerpo de la estructura. Los instrumentos instalados son:

- 13 piezómetros, con la finalidad de medir la presión de agua en el interior del terraplén
- 2 medidores magnéticos, para evaluar los movimientos verticales.
- 2 celdas eléctricas de carga total para verificar las cargas que actúan en la cimentación.
- 9 hitos de movimientos superficiales en la corona de la represa, detectar movimientos horizontales y verticales.

La válvula de distribución ubicada en el túnel de desvió de la estructura de represa Mulacorral está anclado al Sistema de adquisición y supervisión de datos SCADA, el mismo que facilita monitorear el comportamiento de la represa en tiempo real y asegurar su óptimo y eficiente funcionamiento.

4.3.8 Sistemas de alimentación eléctrica

El abastecimiento del suministro de energía eléctrica en la represa Mulacorral es de la subestación de Yatzaputzán, ubicada en la parroquia Pilahuín.

4.3.9 Datos de la represa

Gráfico 35

Estructura y partes de la represa Mulacorral.



Nota. Se presenta la estructura y las partes que lo conforman a la represa. Fuente: Dirección de recursos hídricos-HGPT.

- Altura desde la cimentación hasta la corona: 32.70 m
- Longitud en el sentido transversal: 159.52m.
- Longitud de cierre: 332.0 m
- Volumen del núcleo y del tapiz impermeable: 136, 490. 0 m3
- Volumen de espaldones (escollera): 158,081.0 m3
- Volumen de filtros: 31,868.0 m3
- Volumen de almacenamiento de agua: 3 000 000 m3

4.3.9.1 Datos sísmicos de emplazamientos

El estudio sismológico se efectuó en la etapa de factibilidad con el propósito de efectuar una evaluación en base al riesgo sísmico para el proyecto de la represa Mulacorral. En el área del proyecto Mulacorral cae un total de 80 eventos sísmicos con magnitudes entre 3.8 y 6.3 magnitud de onda de cuerpo (Mb) y con profundidades que varían entre 3 y 225 km los cuales demuestran una gran variedad de los parámetros sísmicos por lo cual determinan

como una zona sísmicamente muy activa es decir que se han producido sismos de carácter muy destructivo.

Las evidencias presentadas permiten suponer que el sistema de fallas Pallatanga-Pisayambo como responsables de los eventos sísmicos catastróficos, según el estudio realizado por el HGPT (*PVRCARA (1)*, n.d.)

Tabla 21

Consideraciones de fallas geológicas que atraviesan la zona de estudio.

CUADRO DE ACELERACIONES SUPERFICIALES MÁXIMOIMAS ESTIMADAS PARA LAS FUENTES SISMICAS DE LA ZONA DE ESTUDIO MULACORRAL				
Fuente	**Distancia al sitio (km)**	**Magnitud Estimada**	**Aceleración**	**Duración (S)**
Falla Pallatanga-Pisayambo	39	7.5	0.21	26
Zona de subducción	150	8	0.18	40
Fosa Costa Afuera	270	8.5	0.10	50

Nota. Se tomo en cuenta estos antecedentes que también pueden influir de una u otra manera en la falla de la represa Mulacorral. Fuente: Dirección de recursos hídricos-HGPT.

4.3.10 Uso y usuarios de la represa Mulacorral

La provincia de Tungurahua se ubica en el centro del país, en la región Sierra, está conformado por 9 cantones, con una superficie 3.335 km2 aproximado, es la segunda provincia más pequeña del país según censo de 2022 se cuenta 563.532 habitantes /km2. El Honorable Gobierno Provincial de Tungurahua es la entidad del sector público responsable de la planificar e impulsar el desarrollo socioeconómico de la provincia.

4.3.10.1 Uso

Embalse de la represa Mulacorral tiene con objetivo generar agua en cantidad y calidad y como objetivos específicos, aportar agua potable-riego y caudal ecológico del río Ambato.

4.3.10.2 Usuarios

- **Proyecto Ambato Huachi Pelileo:** Capta las aguas del rio Ambato, tiene adjudicado 3.058 m3/s en la cota 2.950 m.s.n.m. en la margen derecha de la derivación. El sistema de conducción comprende la construcción de 11.5 kilómetros de túneles desde el Río Ambato hasta la quebrada Terremoto y luego la construcción de 2 canales principales 3 km y 12 Km respectivamente. El área de riego es de 9.255 hectáreas se benefician 14.000 familias aproximadamente.
- **EP-EMAPA-A:** La empresa pública Municipal de Agua Potable tiene su captación en la estación de bombeo Huachi- San José, Su adjudicación es el 10% del caudal derivado en la bocatoma del proyecto Ambato Huachi Pelileo.
- **Zonas situadas aguas abajo de la represa:** Existen varias zonas pobladas ubicadas en la cercanía del cauce del rio Ambato, los más cercanos al cauce son: San Antonio, Santa Rita, Manzana Huaico, Quindibana, Aguaján, San Vicente y Atocha-Ficoa. Además, se encuentran infraestructuras públicas como vías, puentes, líneas de transmisión, obras de captación, plantas de tratamiento, estaciones de bombeo, centrales hidroeléctricas e infraestructura particular como complejos turísticos.

Con referencia a obras públicas de importancia, se encuentran siete obras de captación para usos de agua potable, riego e hidroelectricidad, donde se incluye la toma del Sistema Ambato-Huachi-Pelileo. Además, están la Planta de Tratamiento de aguas servidas de Pasa, la Planta de Tratamiento de agua potable de Tilulún, dos estaciones de bombeo de la EMAPA, el sifón de aguas servidas aguas arriba del sector El Socavón, el paso del poliducto y la Central Hidroeléctrica La Península de la Empresa Eléctrica de Ambato.

Las coordenadas UTM de la represa, en el sistema de coordenadas WGS 84

- **Coordenada X:** *741797.21 m E*
- **Coordenada Y:** *9867947.72 m N*

4.3.11 Organización General en Emergencias Medios y Recursos

4.3.11.1 Equipo humano y organigrama.

En un plan de emergencias, es importante establecer roles y responsabilidades claras para el personal y equipos clave que incluyen un jefe de emergencias, jefes de intervención, equipos de primeros auxilios, equipos de evacuación y personal de apoyo. Cada equipo debe estar capacitado y contar con los recursos necesarios para actuar eficazmente ante diferentes situaciones de emergencia. Los medios y recursos son herramientas técnicas, recursos humanos como el personal capacitado de esa manera preparar a la población ante cualquier amenaza.

Para el equipo de los responsables del presente plan se consideró al personal competente en el área del mantenimiento de la represa.

Tabla 22

Equipo responsable del Plan de Emergencias.

Área	Funciones principales	Características	Faces de seguridad	Asignación de la represa (propio/ajeno)
Titular Prefecto Dr. Manuel Caizabanda	Apoyo total al director del Plan de Emergencia de la Represa y debe poner a disposición de los medios y recursos requeridos.	En caso de darse una emergencia será el encargado de liderar y coordinar acciones de respuesta y la ejecución de obras necesarias.	Permanente	Propio

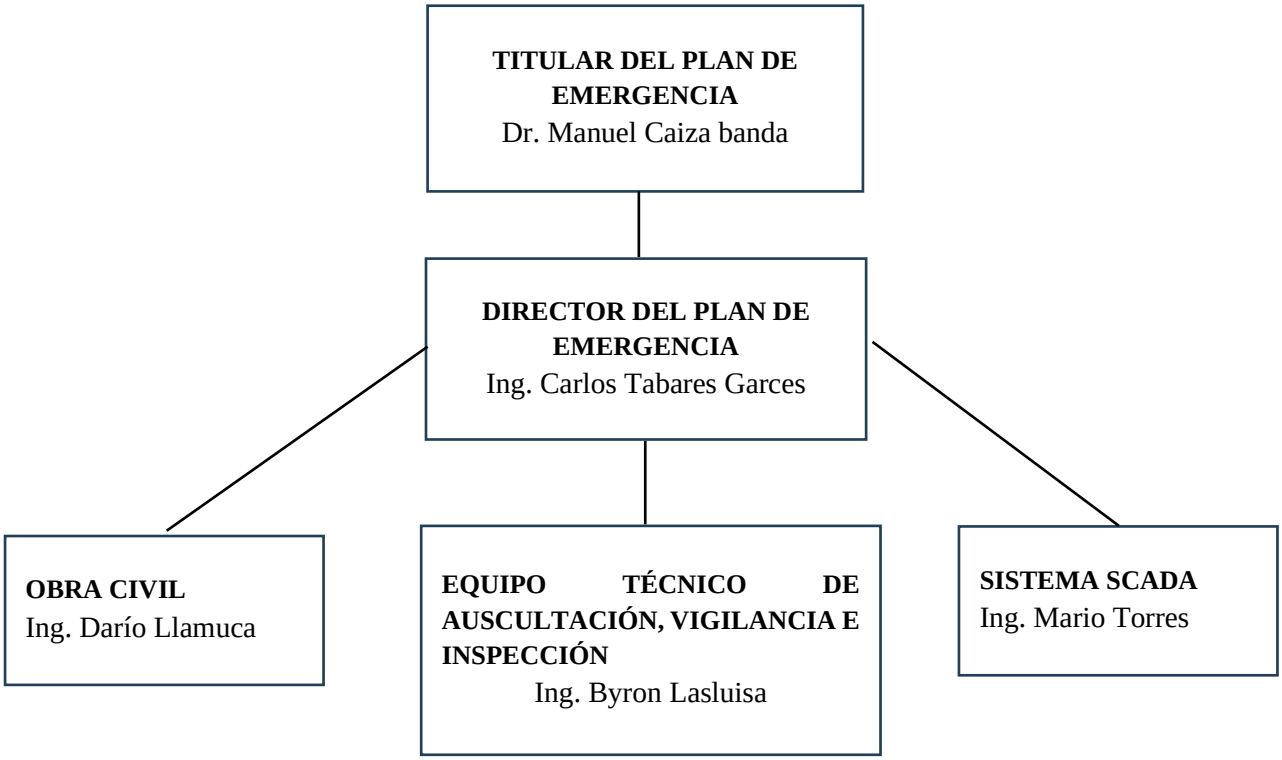
Director del Plan de Emergencias de la represa Mulacorral Ing. Carlos Tabares	Responsable de todas las actuaciones derivadas del Plan de Emergencia	Técnico cualificado con experiencia en represas.	Permanente	Propio
Equipo técnico de Operación y Monitoreo				
Técnico de RRHH Darío Llamuca Benalcázar	Ejecución de las actuaciones derivadas del Plan de Emergencia	Técnico cualificado con experiencia en represas con manuales de seguridad y operación	Permanente	Propio
Byron Lasluisa Vázquez	Vigilancia e inspección inmediata, ordinaria o intensiva de los indicadores vitales de la represa.	Encargado de controlar el llenado y vaciado de la represa.	Permanente	Propio
Técnico sistemas SCADA				
Mario Torres	Control permanente del software y hardware del sistema SCADA.	La supervisión de niveles de agua, caudales, compuertas, bombas y otros elementos críticos para el funcionamiento seguro y eficiente de la represa	Permanente	Propio

Nota. Se estableció responsabilidades netamente a los técnicos que están relacionados estrechamente en el monitoreo y mantenimiento de la represa. Fuente: (Elaboración propia, 2025)

4.3.11.2 Organigrama de los responsables del Plan de Emergencias

Gráfico 36

Encargados de la seguridad de la represa.



Nota. El personal mencionado serán los primeros en atender la emergencia. Fuente: (Elaboración propia, 2025)

4.3.11.3 Recursos materiales.

Los materiales adscritos al Plan de Emergencias han de cumplir con los siguientes criterios. Para el cumplimiento del proyecto sobre el tema de implementación del sistema de alerta temprana (tecnológico) con el objetivo de monitorear y controlar las amenazas que puede suscitar en las poblaciones aledañas del río principal.

Debido a las fuertes lluvias presentadas en el país en el periodo Mayo-Julio del 2025, Tungurahua es una de las Provincias con afectaciones. Además, las dos represas (Mulacorral y Chiquiurco) han alcanzado su nivel máximo, tal manera que ha aumentado el caudal del río, lo que alarmo a la población que está ubicada aguas abajo.

Para hacer frente a esta problemática el gobierno Provincial de Tungurahua en conjunto del área de recursos hídricos, la unidad de gestión de riesgos y la colaboración de los dirigentes de las poblaciones expuestas han visto la necesidad de implementar un sistema de alerta temprana, indicador que les va permitir a la institución trabajar en la parte social-capacitación a la población planes de evacuación.

Tabla 23

Recursos del sistema tecnológico para alertar a la población expuesta.

X	Y	SECTORES	CANTIDAD	EQUIPOS
761495	9860888	Ciderurgia Tungurahua	1	Sirena
757796	9859716	El Progreso	1	Sirena
756896	9858533	La Victoria	1	Sirena
754404	9858285	Aguaján	1	Sirena
751898	9858064	La playa	1	Sirena
751334	9858024	Quebrada Chiquicahua	1	Estacion hidrométrica
751334	9858024	Quebrada Chiquicahua	1	Cámara
748800	9858006	Manzana Huayco	1	Sirena
748800	9858006	Manzana Huayco	1	Cámara
747070	9858562	Calamaca - desemboque aguas embalses	1	Estacion hidrométrica
747070	9858562	Calamaca - desemboque aguas embalses	1	Cámara

Nota. Los recursos mencionados se implementarán de acuerdo a la gestión del Gobierno Provincial de Tungurahua. Fuente: (Elaboración propia, 2025)

4.3.11.4 Sistema de comunicaciones.

En la represa Mulacorral se encuentra anclado 5 torres de comunicación con fibra óptica, línea telefónica directa desde la represa Mulacorral hacia el departamento de recursos hídricos de la H. Gobierno Provincial de Tungurahua y con llamada de emergencia al 911. Además, el sistema de alerta temprana estará anclado al sistema del ECU 911

Con objeto de avisar y comunicar con todos los organismos involucrados en la gestión de la emergencia de forma rápida y segura, se dispondrá de un sistema de comunicaciones que utilice Internet como medio de comunicación, con integración de la voz y los datos a través de la telefonía IP.

4.3.11.5 Sistema de aviso a la población.

Para comunicar a la población situada en la zona inundable en un intervalo no superior a 30 minutos, se dispone de un sistema general de sirenas con las siguientes características:

- Conectados a la red nacional de la subestación de la zona de Yatzaputzan
- Paneles solares en el campamento de operación aproximadamente de 2 horas de funcionamiento
- Potencia 65 dB con alcance en la zona inundable en la primera media hora.
- Dispositivo de desbloqueo con acceso desde el Centro de Gestión de Emergencias.
- Sistema de activación desde el Centro de Gestión de Emergencias.

4.3.12 Protocolo-Centro de Gestión de Emergencias.

4.3.12.1 Posibilidad de disposición de un Centro de Gestión de Emergencias fijo en las proximidades de la represa Mulacorral.

Se dispone de un Centro de Gestión de Emergencias ubicado en la ciudad de Ambato en la dirección de recursos hídricos de la H. Gobierno Provincial de Tungurahua, que albergará el Sistema de Comunicaciones y aviso a la población y toda la documentación básica y técnica del Plan de Emergencia de la represa.

Adicionalmente, el Centro de Gestión de Emergencias cumplirá los siguientes requisitos:

- Estar fuera de la zona inundable.
- Acceso asegurado en situaciones extremas.
- Alimentación de energía redundante.
- Estar permanentemente en condiciones de operatividad.

4.3.12.2 Formación del personal

Se otorga una formación técnica a los distintos usuarios del sistema, cuyo objetivo es conseguir que el personal implicado en la emergencia tenga los conocimientos y hábitos de comportamiento, para que, en el momento en que sea necesario, este Plan de Emergencia de la Represa sea puesto en práctica y funcione correctamente.

Para ello, todo el personal que forma parte de este Plan de Emergencia de la Represa Mulacorral, lo ha leído, y tiene conocimiento de éste en el momento de su incorporación al puesto y participa en la realización de actividades de simulación de situaciones de emergencia.

4.3.12.3 Revisión y actualización del Plan de Emergencia de la Represa

Según la Ley Orgánica para la Gestión Integral del Riesgo de Desastres, el plan de emergencia será actualizado cada año o cuando ocurra desastres, cambio en los procesos, readecuación de la infraestructura física, remodelación y otros aspectos que cambien o modifiquen sustancialmente las condiciones y los riesgos. Posteriormente el director administrativo se encargará de su respectiva aprobación y todo cambio y actualización del plan de emergencias, deberá ser difundido a los integrantes de la Estructura de Atención de Emergencias.

4.3.13 Normas de Actuación en Emergencias

4.3.13.1 Definición de la emergencia y sus escenarios

Se producirá una situación de emergencia en la represa Mulacorral, cuando así haya sido declarado por el director del Plan de Emergencia de la Represa. La declaración de la emergencia se producirá cuando se presenten, a su juicio y en función de lo establecido en el presente Plan de Emergencia de la Represa. A continuación, se menciona los escenarios de seguridad de la represa:

a. Escenario de control de la seguridad o “Escenario 0”. En la cota 3852,50 m.s.n.m., las condiciones de la represa son normales, no requieren la puesta en práctica de medidas de intervención para la reducción del riesgo.
b. Escenario de aplicación de medidas correctoras o “Escenario 1”. Para este escenario se consideró la cota 3854,50 m.s.n.m., ubicado en el labio del vertedero, para la seguridad de la estructura comienza el proceso de operación y se abren las válvulas a un volumen de entrega que sea igual o relacionado al caudal que ingresa de la cuenca alta.
c. Son acontecimientos que, de no aplicarse medidas de corrección (técnicas, de explotación, desembalses, etc.), podrían ocasionar peligro de avería grave o de rotura de la represa, si bien la situación puede solventarse con seguridad mediante la aplicación de las medidas previstas y los medios disponibles.
d. Escenario excepcional o “Escenario 2”. Para este escenario se consideró la cota 3855,50 m.s.n.m., núcleo de la represa, se encuentra una tubería de 760 de diámetro por donde sale 2400 lit/s, la operación de las válvulas es un promedio del 50% a 80 % y un monitoreo de 24 horas permanentes. Existe peligro de rotura o avería grave de la represa y no puede asegurarse con certeza que pueda ser controlado mediante la aplicación de las medidas y medios disponibles.
e. Escenario límite o “Escenario 3”. Para este escenario se tomó la cota máxima 3856,46 m.s.n.m., ubicada en la corona de la represa en donde el agua sobrepasa el tamiz impermeable, las acciones que se toman es abrir las válvulas al 100% con un estado de emergencia y la probabilidad de rotura de la represa es elevada o ésta ya ha comenzado, resultando prácticamente inevitable el que se produzca la onda de avenida generada por dicha rotura.

Adicional a las acciones de los eventos anteriormente señalados, está la auscultación de las lecturas de la instrumentación instalada en el cuerpo de la represa como son: los piezómetros de cuerda vibrante, con el objetivo de medir el nivel freático; las celdas de asentamiento, la función registrar asentamientos horizontales o verticales, tenemos celdas de carga instaladas en la cimentación y en la estructura del desagüe.

Las cotas mencionadas para los diferentes escenarios se realizaron con el propósito de establecer los niveles de alerta dispuesta por la Secretaría Nacional de Gestión de Riesgos, con el fin de que las entidades y la población involucrada activen procedimientos de acción previamente establecidas. Los organismos encargados del monitoreo de la amenaza de desbordamiento, en función de su competencia deben informar de manera inmediata, directa y permanente a la SGR a través de su unidad responsable de monitoreo.

Gráfico 37

Niveles de alerta de la represa Mulacorral.

Cota de la represa	**Nivel de alerta**
3852,50 m.s.n.m.	Condiciones normales, sin alerta.
3854,50 m.s.n.m., labio del vertedero	Activación de la amenaza
3855,50 m.s.n.m., núcleo de la represa	Evento inminente.
3856,46 m.s.n.m., corona de la represa	Evento en curso.

Nota. De acuerdo a los escenarios, será función del director del Plan de Emergencia de la Represa Mulacorral la declaración de la emergencia y de sus escenarios. Fuente: (Elaboración propia, 2025)

4.3.14 Modos de Fallo para las Distintas Situaciones de Emergencia

4.3.14.1 Modos de fallo

Para cualquier represa es fundamental diagnosticar adecuadamente cuál es el modo de fallo más desfavorable y evaluar correctamente cuáles son las acciones y resistencias asociadas. Los modos de fallo consensuados por ICOLD (International Commission On Large Dams) se corresponden con los que se señalan a continuación.

A continuación, se analiza los modos asociados al indicador que servirá para detectar una posible situación de emergencia, a partir de los cuales es necesario que el director del Plan de Emergencia de la Represa Mulacorral active el Plan y establezca el escenario adecuado.

No obstante, de entre todas las expresiones empleadas, es necesario que previamente se haga una aclaración en los siguientes casos:

- **Acciones correctivas:** Se establecerá el escenario correspondiente por decisión del director del Plan de Emergencia de la Represa como consecuencia de su interpretación de los resultados de monitoreo permanente a vigilancia intensiva realizada, derivada de escenarios anteriores.
- **No operativo:** Debe interpretarse como que no existe el modo de fallo, al que se aplica asociado al indicador al que hace referencia.
- **Falla pendiente:** la represa puede ser salvada mediante la implementación de acciones inmediatas evaluación de falla.
- **Falla inminente:** existe la posibilidad de que la represa pueda ser salvada mediante la implementación de acciones inmediatas evaluación de falla.
- **Falla en curso:** No existe la posibilidad de que la represa sea salvada evaluación de falla.

Tabla 24

Factores que implican en la falla de la Represa.

MODO DE FALLA			
Indicador	**Escenario 1** Probable	**Escenario 2** Posible	**Escenario 3** Acciones a tomar
Escala de nivel de embalse.	**Épocas lluviosas** Lluvias ligeras **s**obre la cresta del vertedero de excesos en la cota 3854.50 m.s.n.m.	**Épocas lluviosas** lluvias intensas hace que rebose de 1 metro sobre el vertedero de excesos punto crítico cota núcleo 3855,50 m.s.n.m.	**Épocas lluviosas** Embalse en su nivel máximo de operación 3856.46 corona de la represa.
Grietas grandes	La cimentación puede haberse desplazado provocando el movimiento del terraplén.	Indica el desarrollo de un deslizamiento masivo o un asentamiento causado por fallas en la cimentación.	Abatir el nivel máximo del embalse. Convocar a la comisión técnica para el monitoreo e inspección especial.
Deslizamientos, desprendimientos.	Se pueden deslizar materiales debido a una fuerte pendiente del talud.	Serie de deslizamientos que pueden obstruir la obra de toma o provocar la falla de la represa	Revisar deslizamientos en el vaso del embalse. Convocar a la Comisión Técnica para una Inspección Especial.
CORONA DE LA REPRESA - 338 metros de longitud			
Grieta longitudinal	Pueden darse asentamientos desiguales cercanos a las zonas del terraplén. Etapas de inicio de un deslizamiento en el terraplén.	Puede ser el punto de inicio de futuros movimientos estructurales, deformaciones o fallas.	Inspeccionar si existen gritas y registrar cuidadosamente la localización, longitud, profundidad, ancho, alineación y otras características físicas pertinentes.
Deslizamiento vertical	Deformaciones o fallas por esfuerzos estructurales o fallas en la cimentación	Producen puntos de infiltración de agua superficial.	Inspeccionar cuidadosamente los desplazamientos y registrar su localización, desplazamientos horizontales y verticales.

Hundimiento de la cresta	Puede darse por erosión interna o tubificación del material del terraplén por filtraciones.	Posibles hundimientos por los vacíos dentro de la represa lo que puede reducir la sección del terraplén.	Inspección constante y convocar a la Comisión Técnica para determinar las causas para reducir la amenaza de la represa.
Grietas transversales	Movimientos diferenciales entre las zonas cercanas al terraplén o relleno de la represa.	Puede originar una ruta para la filtración a través de la sección transversal del terraplén.	Corregir la grieta porque si el embalse llega a su nivel máximo es difícil controlar.
ESPALDON AGUAS ABAJO			
Acelerógrafo **Master:** Espaldón aguas abajo **Esclavo:** Se encuentra en la estructura del túnel de desvió o desagüe.	Presencia de un terremoto de magnitud 3,5 grados en la escala Richter.	Funcionamiento específico y constante, en caso de presentarse un sismo de 5grados en la escala de Richter y el caudal este en el núcleo de la represa.	Funcionamiento y monitoreo constante en caso de presentarse un sismo de 7 grados en la escala de Richter cuando el caudal este en la corona de la represa.
Formación de zanjas desde la cresta	Un drenaje inadecuado puede causar el escurrimiento superficial haciendo que se acumule y drene desde la cresta hasta un punto bajo en el talud ya sea aguas arriba o aguas abajo.	Puede resultar en una condición peligrosa y alertar un posible desbordamiento.	Reconformar la cresta con materiales que permitan un drenaje apropiado del escurrimiento superficial, de esa manera controlar el embalse cuando este en la cota máxima.
Grietas por secado	El material de la cresta se expande, debido a los cambios climáticos y se van formando grietas que son usualmente cortas, estrechas y numerosas.	Cuando el embalse llegue al núcleo, se provee ingreso de escurrimiento y humedad superficial causando saturación de las áreas adyacentes al terraplén.	Chequear rutinariamente la gradación del material de la cresta para permitir un drenaje adecuado cuando el embalse llegue a este punto.
Excesiva cantidad y/o turbiedad del flujo que sale desde un punto	Grandes cantidades de agua que se han acumulado en el talud aguas abajo en épocas de invierno.	Los flujos continuos de agua pueden erosionar los materiales del terraplén y	Si la cantidad de flujo está incrementándose, el nivel de agua en el embalse debe ser descargada hasta que el

		ocasionar fallas en la represa.	flujo se estabilice o se detenga
Corrientes de agua saliendo a través de las grietas cercanas a la cresta	Puede darse por un proceso severo de secado, causando la contracción del material del terraplén.	El flujo de agua a través de las grietas puede causar fallas de la represa y más en temporadas de invierno.	Cuando el embalse esté en su nivel máximo el agua debe ser descargado hasta que se ubique bajo el nivel de las grietas.
Gran área húmeda o flujo de filtración	Una ruta de filtración se ha desarrollado a través del estribo o de los materiales del terraplén y la falla de la represa puede ocurrir.	Si el agua se va incrementando puede ocasionar la saturación de terraplén y provocar deslizamientos locales.	Descargar el nivel de agua del embalse si las áreas saturadas incrementan su tamaño a un nivel fijo del embalse.

Nota. Los principales factores que pueden causar la falla de la represa. Fuente: (Elaboración propia, 2025)

4.3.15 Actuaciones Asociadas a los Distintos Escenarios

4.3.15.1 Escenario 0

Tabla 25

Medidas para las condiciones normales del Escenario 0.

ACTUACIÓN	RESPONSABLE
Comprobación de los sistemas de comunicaciones y alarma.	**Técnico sistema SCADA** Ing. Mario Torres
Comunicación al departamento de recursos hídricos del HGPT competentes en materia de seguridad de represas y embalses definida según la ley de gestión de riesgos y los estudios de impacto ambiental.	**Encargado de la obra civil.** Ing. Darío Llamuca
Preaviso a los medios necesarios en un escenario superior.	**Encargado del monitoreo constante** Ing. Byron Lasluisa.

Nota. Se menciono los puntos más importantes para las condiciones normales de la represa.

Fuente: (Elaboración propia, 2025)

4.3.15.2 Escenario 1

Tabla 26

Medidas a tomar si la amenaza se activa.

ACTUACIÓN	RESPONSABLE
Comunicación a la subdelegación del Gobierno de la provincia de Tungurahua.	**Director del departamento de R.H.** Ing. Carlos Tavares
Comunicación a los recursos hídricos competente en materia de seguridad de represas, embalses y represas definida según la ley de gestión de riesgos y los estudios de impacto ambiental	**Encargado de la obra civil.** Ing. Darío Llamuca
Comunicación a la población situada aguas abajo. Preaviso a los medios necesarios en un escenario superior.	**Encargado del monitoreo constante** Ing. Byron Lasluisa

Nota. Los responsables deben actuar de acuerdo al nivel de alerta. Fuente: Elaboración propia.

4.3.15.3 ESCENARIO 2

Tabla 27

Medidas a tomar si la amenaza es inminente.

ACTUACIÓN	RESPONSABLE
Comunicación a la subdelegación del H. Gobierno Provincial de Tungurahua.	**Director del área de Recursos Hídricos y C.A.** Ing. Carlos Tavares
Comunicación al Comité de Operaciones de Emergencias (COE).	**Prefecto del gobierno provincial de Tungurahua** Dr. Manuel Caizabanda
Comunicación al área de Recursos Hídricos competente en materia de seguridad de represas, embalses y represas definida según la ley de gestión de riesgos y los estudios de impacto ambiental.	**Encargado de la obra civil.** Ing. Darío Llamuca
Comunicación a la población situada aguas abajo.	**Encargado del monitoreo constante** Ing. Byron Lasluisa
Comprobación del sistema de alarma.	**Técnico sistema SCADA** Ing. Mario Torres
Desarrollo de medidas específicas en función de la causa desencadenante de la emergencia.	**Encargados de la parte técnica** Ing. Darío Llamuca Ing. Byron Lasluisa

Nota. En este escenario la probabilidad de ocurrir una emergencia es elevada. Fuente: (Elaboración propia, 2025)

4.3.15.4 Escenario 3

Tabla 28

Medidas a tomar si el evento está en curso.

ACTUACIÓN	RESPONSABLE
Activación de sirenas.	**Técnico sistema SCADA** Ing. Mario Torres
Comunicación a la subdelegación del Gobierno de la provincia de Tungurahua.	**Director del área de Recursos Hídricos y C.A.** Ing. Carlos Tavares
Comunicación al Comité de Operaciones y Emergencias.	**Prefecto del gobierno provincial de Tungurahua** Dr. Manuel Caizabanda
Comunicación a los recursos hídricos competente en materia de seguridad de represas, embalses y represas definida según la ley de gestión de riesgos y los estudios de impacto ambiental	**Encargado de la obra civil.** Ing. Darío Llamuca
Comunicación al Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica.	**Prefecto del gobierno provincial de Tungurahua** Dr. Manuel Caizabanda
Comunicación para la evacuación de la población situada aguas abajo.	**Técnico de la UGR del HGPT** Ing. Graciela Labre

Nota. En este escenario los responsables deben tomar decisiones para el manejo de la emergencia. Fuente: (Elaboración propia, 2025)

4.3.15.5 Fin de la Emergencia

Tabla 29

Medidas a tomar después de la emergencia.

ACTUACIÓN	RESPONSABLE
Comunicación de fin de emergencia de la represa a todos los organismos con los que se haya establecido comunicación hasta ese momento.	**Prefecto del gobierno provincial de Tungurahua** Dr. Manuel Caizabanda

Nota. El responsable será el encargado de dar este aviso a la población. Fuente: (Elaboración propia, 2025)

4.3.16 Escenarios de Rotura contemplados en la Brecha

De acuerdo a la Guía técnica para la Elaboración de Planes de emergencia de Balsas (De Agricultura et al., 2012).El escenario considerado para el presente estudio es el H2 como

escenario de rotura por avenidas, cuando el embalse este en su nivel de coronación, en este caso sería en la cota 3856.46 m.s.n.m., considerado el punto máximo de la represa Mulacorral.

Tabla 30

Niveles para la rotura de las represas.

H1	Embalse en su Nivel Máximo Normal
H2	Embalse con su nivel de coronación y desaguando la avenida extrema
A1	Embalse en su Nivel Máximo Normal y en régimen normal de explotación

Nota. Para el estudio de la represa se consideró el H2. Fuente: Guía Técnica para la elaboración de presas.

4.3.16.1 Rotura de la represa

Se ha analizado únicamente la hipótesis de rotura por avenida H2, lo cual describe que el agua almacenada por las fuertes precipitaciones, puede llevar a desbordar y causar inundaciones de la zona y considerada como una situación más desfavorable, los detalles se muestran en la **Tabla 29**.

4.3.16.2 Modelamiento de la rotura

Tabla 31

Características del modelamiento.

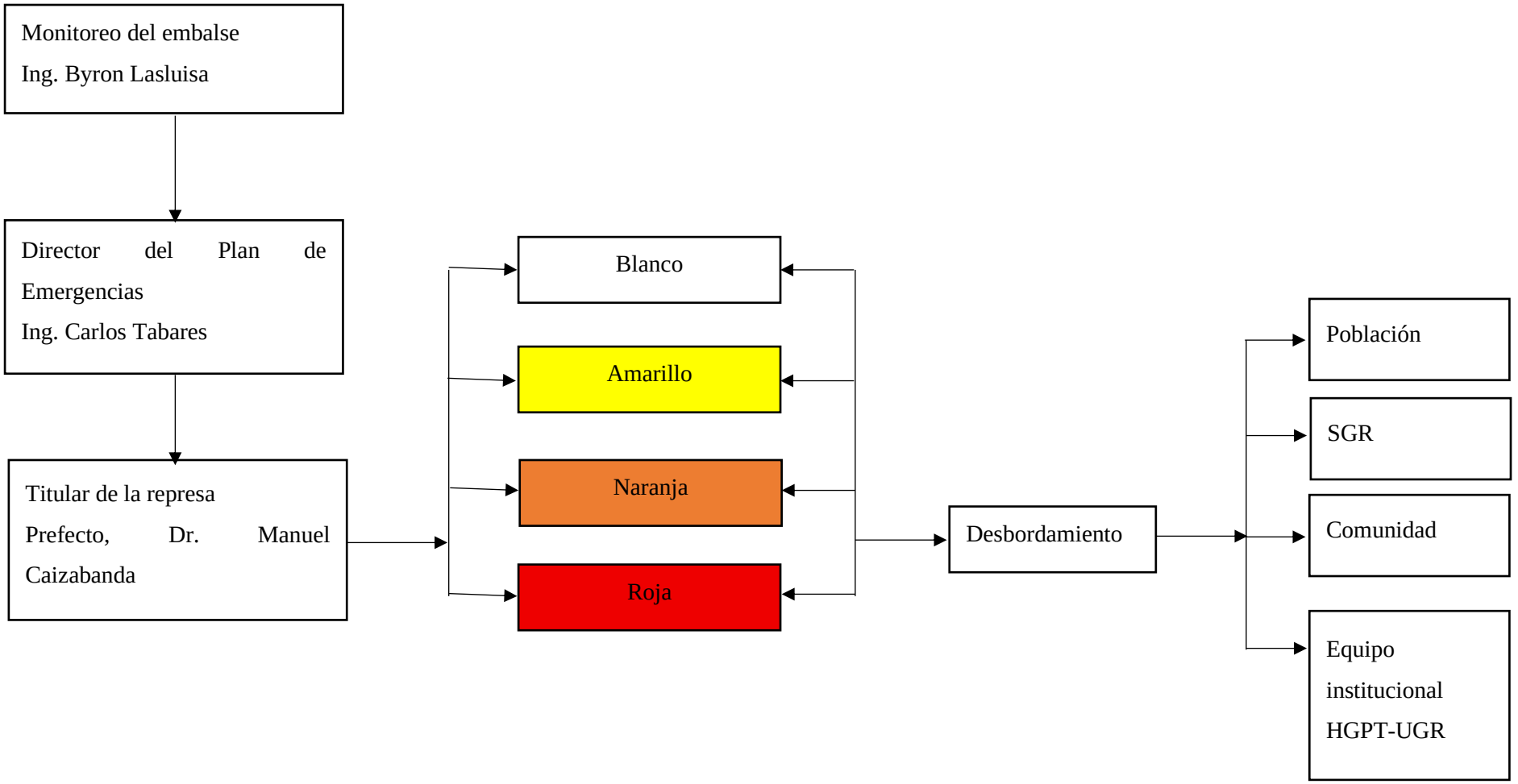
Modelamiento de rotura	
Modelo numérico	Modelamiento hidráulico con el uso del software IBER
Parámetros de la brecha	**Ancho de la brecha:** $\bar{B} = 95{,}15$m **Ancho inferior de la brecha:** $W_b = \lvert -35{,}80 \rvert = 36m$ **Tiempo de formación de la brecha:** $t_f = 0{,}865h = 51{,}9min = 3114sg$ **Profundidad de la brecha:** 32,70 m **Forma de la brecha:** trapecio invertido
Rugosidad del cauce	**Rugosidad del cauce**: de 0,025
Límite de estudio aguas abajo	30 km desde la represa Mulacorral hasta Miraflores
Hipótesis de rotura	H2 embalse con su nivel en la corona y desaguando la avenida extrema.
Hidrograma de rotura	**T=** 103,8 minutos (1 hora con 43 minutos) **Caudal pico =** 1896,8 m^3/s

Nota. Los datos de la tabla son los resultados del modelamiento realizado en el software IBER de la represa Mulacorral. Fuente: Guía Técnica para la elaboración de presas.

4.3.17 Flujograma del sistema de comunicación

Gráfico 38

Flujograma para el sistema de comunicación.



4.3.18 Puntos Seguros para la Población Expuesta

Tabla 32

Puntos seguros de las poblaciones expuestas.

Puntos de afectación	Numero de familias	Personas vulnerables	Puntos seguros	Coordenadas	Tiempo de llegada
San Antonio	3	2	Se deben dirigir a la parte alta por la vía que se dirige a la comunidad de Santa Ana, guíese en el Gráfico 36	745618.61 9858235.15	50 minutos
Santa Rita	2	2	En este punto las zonas son encañonadas y no se puede identificar un punto seguro cercano, por lo tanto, se pueden dirigir por la vía principal (vida-flores) hacia el sector de Quindibana de la parroquia Pasa, guíese en el Gráfico 37	752041.22 9858522.93	75 minutos
Manzana Huaico	16	10			65 minutos
La playa	11	4			75 minutos
Pallatanga	4	0			
Aguaján	17	5	Este sector se debe dirigir hacia la cancha que esta junto a las piscinas del complejo Aguaján, guíese en el Gráfico 38	753962.68 9858326.72	85 minutos
La Victoria	35	23			1 hora con 40 min
El Progreso	18	6	Se deben dirigir hacia la parte alta, en donde se encuentra un lote vacío, que se considera como el punto seguro dentro del sector, guíese en el Gráfico 39	757351.07 9859746.36	1 hora con 45 minutos
San Vicente	24	5			
Nueva Esperanza	10	11			

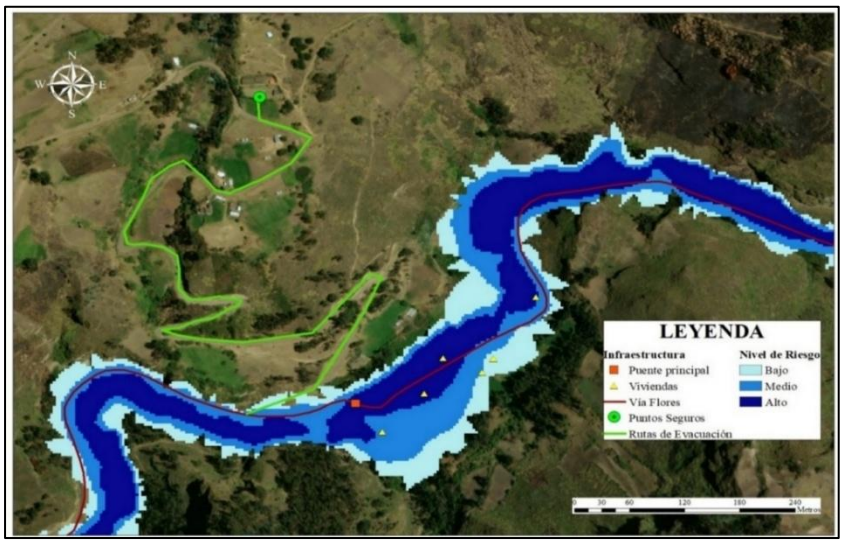
Nota. En toda la zona de incidencia se identificó cuatro puntos como zonas seguras. Fuente:

(Elaboración propia, 2025)

4.3.18.1 Mapas de ubicación de los puntos seguros para las zonas expuestas ante la amenaza de desbordamiento de la represa Mulacorral.

Gráfico 39

Mapa de ubicación del punto seguro 1.

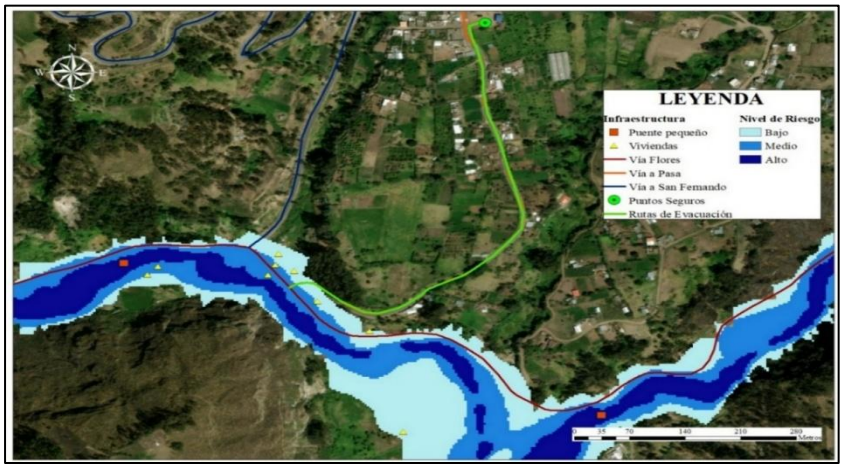


Nota. La línea de color verde muestra el punto seguro que está en el sector de Santa Ana.

Fuente: (Elaboración propia, 2025)

Gráfico 40

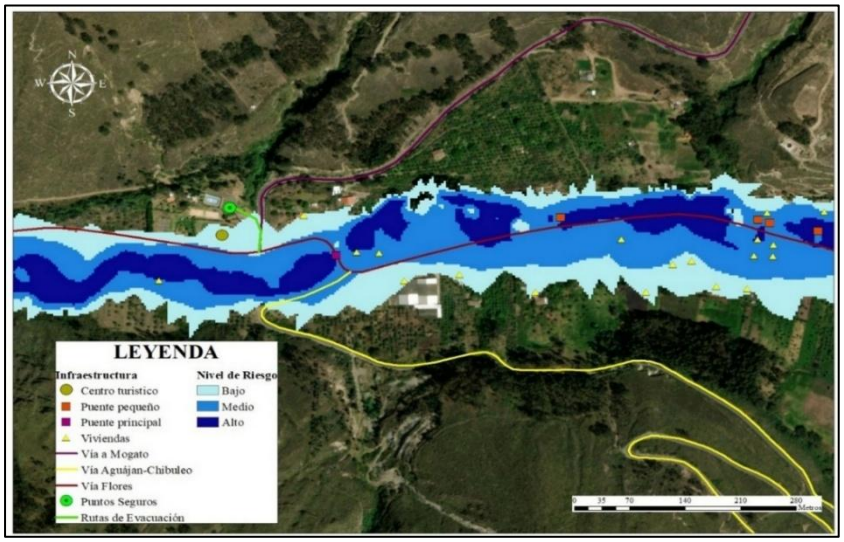
Mapa de ubicación del punto seguro 2.



Nota. Se guiarán por la línea verde que conduce al sector de Quindibana como punto seguro.
Fuente: (Elaboración propia, 2025)

Gráfico 41

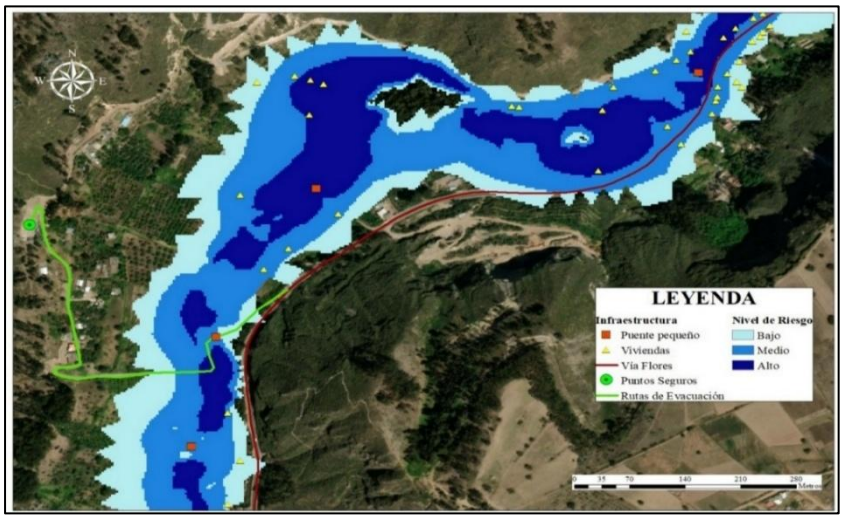
Mapa de ubicación del punto seguro 3.



Nota. Como tercer punto seguro es la cancha del complejo Aguaján. Fuente: (Elaboración propia, 2025)

Gráfico 42

Mapa de ubicación del punto seguro 4.



Nota. Como último punto seguro se ubica en el sector de San Vicente, lo que se muestra en el mapa elaborado en el software ArcGIS. Fuente: (Elaboración propia, 2025)

4.3.19 Atención post Desastre

La represa Mulacorral cumple con tres objetivos importantes, que son brindar agua para consumo humano, riego y el cuidado del caudal ecológico: el primer objetivo con la ayuda de la planta de tratamiento de agua EMAPA situada en las inmediaciones del río Ambato, que abastece de agua potable aproximadamente a 8 000 familias de la parte sur de Ambato; el segundo objetivo con el proyecto Ambato-Huachi Pelileo, que abastece de agua para riego a 14 mil familias; y el tercer objetivo, sirviendo como herramienta para el cuidado del caudal ecológico. Los mismos que se verían afectados en caso de suscitar este evento catastrófico que ha sido planteado en la presente investigación. Es aquí donde se cuestionan algunas situaciones como la distribución de agua potable y agua para riego.

Para responder a la crisis del desabastecimiento de agua causada por el evento mencionado en la presente investigación, es importante que realicen varias acciones tanto por parte del gobierno nacional y provincial, las misma que deben ser ejecutadas al momento.

4.3.19.1 Acciones a ejecutarse

1. **Coordinación interinstitucional**

Para responder a las familias afectadas se debe coordinar con las instituciones competentes, como agencias gubernamentales, no gubernamentales, el Municipio de Ambato, el Gobierno Provincial de Tungurahua (HGPT) y la EMAPA. La participación efectiva de las comunidades es esencial, pues las personas afectadas por una crisis o evento catastrófico deben tener mayor control sobre la respuesta y el impacto que esta genera en su vida. De esta manera se garantiza un servicio adecuado de agua potable que proteja la salud de la población.

El derecho a un abastecimiento de agua y a un saneamiento adecuado se vincula directamente con otros derechos fundamentales como el acceso a la salud, a la alimentación y

a una vivienda digna. En este sentido, la coordinación interinstitucional debe contribuir a garantizar de manera integral las necesidades de las familias afectadas.

2. **Priorización de servicios básicos**

En caso de darse el desbordamiento de la represa se deberá tomar como prioridad la salud y seguridad de las personas, una vez que se estabilice la situación las autoridades y los equipos de respuesta deben priorizar la restauración del suministro de agua potable y electricidad y la limpieza de las instalaciones de saneamiento. Esta acción permitirá reducir los impactos sanitarios y sociales del desabastecimiento de los servicios, asegurando que los recursos se concentren en los puntos más críticos.

3. **Distribución de agua potable**

Se debe implementar un sistema de distribución de agua mediante horarios establecidos para asegurar un reparto equitativo. El cálculo estimado es el siguiente:

Tabla 33

Demanda de agua en Litros/día para la zona afectada

Litros/día afectado	
Familias afectadas	8 000
Número de personas	32 000
Consumo mínimo por persona	15 litros diarios
Demanda total diaria	480 000 litros

Nota. Se presenta una estimación de litros de agua para abastecer a los sectores afectados.

Fuente: (Elaboración propia, 2025)

Para cubrir este volumen, es fundamental gestionar recursos externos, por ejemplo, mediante la cooperación internacional con entidades como la (Cooperación Alemana “DEUTSCHE ZUSAMMENARBEIT”, además de disponer de tanqueros permitan el acceso inmediato de la población.

4. **Seguridad hídrica para riego**

La represa Mulacorral también sirve como afluente para el abastecimiento de agua para riego para aproximadamente 14 000 familias, lo que representa un factor crucial para la seguridad alimentaria de la región, dado que la agricultura constituye el sustento principal de muchas comunidades. No obstante, al verse afectado el sistema del proyecto de la bocatoma Ambato-Huachi-Pelileo que es el eje central para la distribución de agua de riego y la reparación de este daño tomara varios meses, ya que el sistema de túneles de la bocatoma es la única manera factible para la distribución de agua para regadío y en el peor de los casos se puede tomar una alternativa que es la represa que se encuentra en construcción.

5. **Infraestructura alternativa**

El proyecto a ejecutarse de la represa Chiquicahua constituye una opción estratégica para suplir el déficit de agua en caso de un desbordamiento de la represa Mulacorral. Esta infraestructura, que recibe un aporte significativo de la acequia Cunukyacu-Chimborazo, puede destinar parte de su caudal a garantizar el abastecimiento de agua potable para la población humana y las actividades productivas.

6. **Protección del caudal ecológico**

El cuidado del caudal ecológico no debe ser relegado. Para ello, es posible recurrir al apoyo de agencias no gubernamentales que trabajan en la defensa del medio ambiente. Un ejemplo es la Fundación Pachamama, la cual promueve la protección de los ecosistemas y el desarrollo sostenible en comunidades locales. Su participación, junto con la de otras organizaciones ambientales, permitirá implementar programas de conservación y asegurar la sostenibilidad hídrica a largo plazo.

CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

- Los resultados de la simulación hidráulica realizada en el software IBER permiten evidenciar que, ante un eventual desbordamiento o rotura de la represa Mulacorral, la población, especialmente en las zonas rurales ubicadas aguas abajo, enfrentaría un riesgo extremadamente alto. El modelo muestra calados máximos de hasta 10 metros y velocidades superiores a 11 metros por segundo, condiciones que reflejan un flujo con gran capacidad destructiva capaz de devastar edificaciones, vías, puentes e infraestructura esencial. Además, los promedios de calado entre 3 y 6 metros y velocidades entre 4 y 7 metros por segundo demuestran que el impacto sería generalizado a lo largo del cauce. Cabe resaltar que la simulación considera únicamente el comportamiento del agua, sin incluir el arrastre de materiales o estructuras, lo que implica que en un escenario real los daños podrían ser aún más severos y el evento, considerablemente más catastrófico.
- El análisis de los elementos presentes en la zona de incidencia, debido a una posible rotura y desbordamiento de la represión Mulacorral, refleja un alto grado de vulnerabilidad generalizado. Los resultados muestran que 157 viviendas sufrirían afectaciones graves, 25 moderadas y solo 19 leves, lo que demuestra el gran impacto que el evento tendría en las zonas pobladas. La infraestructura crítica también se vería seriamente comprometida, con 34 puentes que presentarían daños graves o colapso total, así como efectos severos en la planta de tratamiento EMAPA y la bocatoma Ambato-Huachi-Pelileo, lo cual podría interrumpir el suministro de agua potable a la zona sur de Ambato y afectar a unas 14 000 familias que dependen de estos recursos

para la parte agrícola. En cuanto a las vías de transporte, el escenario prevé más de 20 km de daños, siendo la ruta más afectada la vía Flores, con una extensión comprometida de 20,17 km, seguida de vías secundarias como Mogato, Calamaca, Aguaján-Chibuleo, Pasa y San Fernando, que también sufrieron daños, pero en menor medida. Todo esto demuestra que un evento de tal magnitud causaría graves pérdidas humanas, económicas y funcionales, dificultando la recuperación y poniendo en peligro la continuidad de los servicios esenciales y la conectividad de varias comunidades en la zona afectada.

- El Plan de Emergencias de la Represa Mulacorral constituye una herramienta fundamental para fortalecer la seguridad de las poblaciones expuestas ante la amenaza de desbordamiento, caracterizando factores que influyen en la falla de la represa, así también establecen medidas de actuación, la propuesta para la implementación del sistema de alerta temprana, para el constante monitoreo de la represa. Considerando cuatro escenarios para la respectiva activación de niveles de alerta dispuesta por la SGR, la identificación de rutas de evacuación y puntos seguros, finalmente la atención post desastre que muestren estrategias para la planificación de la recuperación de la población después de un evento catastrófico de esa manera promover una cultura de prevención y resiliencia dentro del cantón Ambato, asegurando la protección de vidas humanas, bienes materiales y el medio ambiente.

5.2 Recomendaciones

- Establecer e implementar de un sistema comunitario de alerta temprana y evacuación basado en los resultados del modelado hidrodinámico realizado con el software IBER, con el objeto de reducir significativamente la

exposición y la vulnerabilidad de la población. Este sistema debería convertirse en una herramienta práctica y eficiente para la protección de la vida humana.

- Se recomienda elaborar e implementar un Plan de Contingencia Integral ante un posible desbordamiento o rotura de la represa Mulacorral. Este debe incluir el reforzamiento de infraestructuras críticas (puentes, planta EMAPA y bocatoma Ambato-Huachi-Pelileo), la delimitación de zonas de riesgo, la reubicación preventiva de viviendas en áreas de alta afectación y la instalación de sistemas de alerta temprana. Además, se sugiere promover la capacitación comunitaria y la coordinación interinstitucional para garantizar una respuesta rápida y efectiva que reduzca las pérdidas humanas y materiales.
- La ejecución del Plan de Emergencias será competencia del H. Gobierno Provincial de Tungurahua, se debe comunicar y formar a todo el personal con sus roles y responsabilidades. Además, es importante realizar simulacros periódicos y de tal manera preparar a la población. Finalmente implementar el Sistema de Alerta Temprana (SAT) como; sirenas, estación hidrométrica y cámaras que se menciona en la Tabla 23, con el objetivo del monitoreo constante de la represa Mulacorral.

BIBLIOGRAFÍA

Ansys. (Septiembre de 2024). *Ansys – Simulation Topics*. Recuperado el 12 de Diciembre de 2024, de What is Fluid Flow?: https://www.ansys.com/simulation-topics/what-is-fluid-flow

CIIFEN. (2023). *Vulnerabilidad y adaptación en cuencas hidrográficas.* Recuperado el 12 de Diciembre de 2025, de Vulnerabilidad y adaptación en cuencas hidrográficas: https://sendaicommitments.undrr.org/system/files/sfvc/deliverables/2025-04/8199-FOLLETO-CIIFEN_Vulnerabilidad.pdf

Cruz, F. (Noviembre de 2022). *Modelación hidráulica: ¿Qué es y cuáles son sus beneficios?* Recuperado el 12 de Noviembre de 2024, de Kral Consultores Insights: https://www.kralconsultores.cl/insights/modelacion-hidraulica-que-es-y-cuales-son-sus-beneficios/

EcoFlow. (2024). *EcoFlow México*. Recuperado el 12 de Diciembre de 2024, de Causas de las inundaciones: factores naturales y humanos explicados: https://www.ecoflow.com/mx/blog/causes-of-floods

Federación Internacional de Sociedades de la Cruz Roja y de la Media Luna Roja. (Noviembre de 2024). *IFRC*. Recuperado el 12 de Diciembre de 2024, de Inundaciones: https://www.ifrc.org/es/nuestro-trabajo/desastres-clima-y-crisis/que-es-desastre/inundaciones

Federal Emergency Management Agency (FEMA). (2025). *Ready.gov*. Recuperado el 12 de Diciembre de 2024, de Inundaciones: https://www.ready.gov/es/inundaciones

Germán Portillo, A. (30 de Octubre de 2024). *EcologíaVerde*. Recuperado el 12 de Diciembre de 2024, de Lluvia torrencial: causas, consecuencias y qué hacer:

https://www.ecologiaverde.com/lluvia-torrencial-causas-consecuencias-y-que-hacer-4624.html

Javier Sánchez, B. (30 de Octubre de 2024). *EcologíaVerde*. Recuperado el 12 de Diciembre de 2024, de https://www.ecologiaverde.com/inundaciones-que-son-causas-y-consecuencias-1282.html

Secretaría General de la Comunidad Andina. (2018). *Glosario de términos en gestión del riesgo.* Recuperado el 12 de Diciembre de 2025, de https://www.comunidadandina.org/StaticFiles/2018619133838GlosarioGestionDeRiesgoSGCA.pdf

Servicio Nacional de Gestión de Riesgos y Emergencia. (2020). *Guía de gestión del riesgo para la comunidad.* Recuperado el 12 de Diciembre de 2024, de Guía de gestión del riesgo para la comunidad: https://www.gestionderiesgos.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2020/06/Gu%C3%ADa-de-GRD-para-la-comunidad.pdf

Valdivielso, A. (2020). *iAgua – sección "Respuestas"*. Recuperado el 12 de Diciembre de 2025, de ¿Qué es un caudal?: https://www.iagua.es/respuestas/que-es-caudal

ANEXOS

Anexo 1

Cronograma (Gantt).

CRONOGRAMA TESIS																
ACTIVIDADES	**Semana 1**	**Semana 2**	**Semana 3**	**Semana 4**	**Semana 5**	**Semana 6**	**Semana 7**	**Semana 8**	**Semana 9**	**Semana 10**	**Semana 11**	**Semana 12**	**Semana 13**	**Semana 14**	**Semana 15**	**Semana 16**
CAPÍTULO I																
Planteamiento y Formulación del Problema																
Objetivos																
Justificación																
Operacionalización de Variables																
Idea por defender																
CAPÍTULO II																
Marco Teórico																
Marco Referencial																
Marco Conceptual																
Marco Legal																
CAPÍTULO III																
Marco Metodológico																
Tipo de la investigación																
Enfoque de la investigación																
Métodos de la investigación																
Técnicas, instrumentos de recopilación de datos																
Procesamiento de la información																
CAPÍTULO IV																
Resultados																
CAPÍTULO V																
Conclusiones																
Recomendaciones																

Anexo 2

Presupuesto Ejecutado.

Rubro	Descripción	Cantidad	Costo unitario (USD)	Costo total (USD)
Materiales y equipos				
Material de oficina	Resmas de papel	2	4	8
	Bolígrafos	2	0,5	1
	Marcadores	3	1	3
Equipo tecnológico	Uso de computadora,	2	600	1.200
	Flash memory	1	10	10
	Licencias de software (QGIS) (IBER) (gratuito)	2	0	0
Para la observación directa, y fotografías.	Cuaderno de campo.	2	2	4
	Celular	2	150	300
Trabajo de campo				
Transporte	Visitas al Embalse Mulacorral (10 viajes, ida y vuelta)	5	10	25
Alimentación	Para dos personas	15	3,25	48,75
Divulgación y redacción				
Impresión de la tesis	Copias finales, anillado y empastado	3	6	18
Presentaciones visuales	Material gráfico para la defensa de tesis	1	10	10
TOTAL				**1627,75**

Anexo 3





Visita al lugar de estudio (represa Mulacorral)

Elaborado por: Viscarra Bryan y Cayambe Lizbeth.

Anexo 4





Levantamiento fotográfico mediante Dron

Elaborado por: Viscarra Bryan y Cayambe Lizbeth.

Anexo 5





Socialización con la comunidad expuesta a la amenaza de desbordamiento de la represa Mulacorral.

Elaborado por: Viscarra Bryan y Cayambe Lizbeth.

Anexo 6





Socialización del avance del proyecto de la represa Mulacorral, en la dirección de Recursos Hídricos de la HGPT.

Elaborado por: Viscarra Bryan y Cayambe Lizbeth.

Anexo 7





Comportamiento de la represa en épocas lluviosas.

Elaborado por: Viscarra Bryan y Cayambe Lizbeth.

Anexo 8





Comportamiento del caudal del río Ambato, en donde se presentaron algunas afectaciones en la vía.

Fuente: Dirección de recursos Hídricos.

Anexo 9





Afectaciones presentadas en el mes de julio del año 2022.

Fuente: Dirección de recursos Hídricos.