



UNIVERSIDAD ESTATAL BOLÍVAR

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA SALUD Y DEL SER HUMANO

GRADO EN INGENIERÍA EN RIESGO DE DESASTRES

**TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR
PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN RIESGO DE
DESASTRES**

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

TEMA:

" Análisis de la amenaza de desbordamiento del río Chibunga y sus afectaciones en la parroquia San Luis del cantón Riobamba, en el periodo septiembre - diciembre 2024."

AUTOR(ES):

Punina Rea Lilian Elizabeth
Sislema Tocachi José Humberto

DIRECTOR (A)

Ing. Daniel Santiago Paredes Gaibor

**GUARANDA – ECUADOR
2025**

TEMA DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

Análisis de la amenaza de desbordamiento del río Chibunga y sus afectaciones en la parroquia San Luis del cantón Riobamba, en el periodo septiembre - diciembre 2024.

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, agradezco a Dios por ser mi guía y fortaleza, por darme salud y la determinación necesaria para enfrentar cada reto. A mi madre, le expreso mi eterno agradecimiento por su amor incondicional, su apoyo constante y su fe en mí. Ella ha sido mi motor, mi refugio y mi ejemplo de valentía. Este logro es también suyo, porque sin su dedicación y esfuerzo, no estaría aquí. A mis hermanas y hermanos, les agradezco por su compañía, comprensión y cariño, que han sido mi alegría en los momentos felices y mi consuelo en los difíciles. Su apoyo ha sido invaluable. Al Ing. Daniel Paredes, nuestro tutor de tesis, le doy las gracias por su paciencia, conocimiento y dedicación. Su orientación y profesionalismo fueron fundamentales para alcanzar este objetivo. Gracias a todos por ser parte de este logro.

Lilian Punina

En primer lugar, deseo expresar mi más profundo agradecimiento a mis padres, quienes, con su apoyo incondicional, han sido mi mayor fortaleza para alcanzar cada uno de mis objetivos personales y académicos. Su amor y confianza me han motivado a superar cada desafío que se ha presentado en mi camino. Quiero también agradecer a mis amigos David Chela y Fanny Yaucen y de igual manera a mi hermano Luis Sislema, quienes siempre han estado a mi lado, brindándome su apoyo desinteresado para cumplir esta meta. A mis hermanos, por su respaldo constante, y a mis amigos, por estar siempre dispuestos a ayudarme en cualquier circunstancia, les extiendo mi más sincero reconocimiento. Mi gratitud se dirige igualmente al Ing. Daniel Paredes, nuestro tutor de tesis, por su valiosa guía, sus sugerencias y el rigor que aportó a este trabajo. Finalmente, agradezco a la Universidad Estatal de Bolívar por enriquecerme con conocimientos y enseñarme a fijar grandes metas, otorgándome el orgullo de ser parte de una institución tan prestigiosa.

José Sislema

DEDICATORIA

A Dios, quien ha sido mi luz, mi guía y mi fortaleza en cada paso de este camino, gracias por llenarme de salud, sabiduría y confianza para superar cada desafío. Dedico esta tesis principalmente a mi madre, cuyo amor incondicional, sus esfuerzos, sus palabras de aliento, su fe inquebrantable en mí y su ejemplo de valentía han sido la inspiración más grande para luchar por mis metas. A mis hermanas y hermanos, por ser mi refugio en los momentos difíciles, mi fortaleza en los días inciertos y mi alegría en los tiempos felices, gracias por compartir conmigo su amor, comprensión y motivación en cada etapa de este proceso. Este logro es el reflejo del apoyo, la unidad y el amor incondicional de quienes han sido mi mayor inspiración y fuerza a lo largo de mi vida.

Lilian Punina

A Dios, por brindarme la fuerza, la sabiduría y la oportunidad de alcanzar este momento tan significativo en mi vida. Dedico esta tesis principalmente a mis padres, quienes, con su amor, esfuerzo y apoyo incondicional, me han enseñado a luchar por mis sueños y a no rendirme ante las adversidades. Ellos han sido mi mayor inspiración y motivación para superar cada obstáculo en este camino. Asimismo, quiero dedicar este logro a mis hermanos y hermanas, quienes siempre han estado a mi lado, brindándome su compañía, aliento y apoyo sincero. Han compartido conmigo tanto los momentos de alegría y en la tristeza, lo que ha hecho que este viaje sea aún más valioso.

José Sislema

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

Guaranda, 03 de febrero de 2025.

El suscrito Ingeniero Daniel Santiago Paredes Gaibor, Director del Proyecto de Investigación de Pre Grado de la carrera de Ingeniería en Riesgo de Desastres de la Universidad Estatal de Bolívar, en calidad de Docente – Tutor.

CERTIFICA:

Que el proyecto de investigación titulado: “ANÁLISI DE LA AMENAZA DE DESBORDAMIENTO DEL RÍO CHIBUNGA Y SUS EFECTOS EN LA PARROQUIA SAN LUIS DEL CANTÓN RIOBAMBA EN EL PERIODO SEPTIEMBRE – DICIEMBRE 2024.”; realizado por los señores: **Lilian Elizabeth Punina Rea y José Humberto Sislema Tocachi**, 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.



ING. DANIEL SANTIAGO PAREDES GAIBOR.

DIRECTOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN DE PRE GRADO

DERECHOS DE AUTOR

Nosotros **Lilian Elizabeth Punina Rea** y **Jose Humberto Sislema Tocachi** portadores de la Cédula de Identidad No **0202624896** y **0605280973** en calidad de autores y titulares de los derechos morales y patrimoniales del Trabajo de Titulación: **Análisis de la amenaza de desbordamiento del río Chibunga y sus afectaciones en la parroquia San Luis del cantón Riobamba, en el periodo septiembre - diciembre 2024**, 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, 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.



Lilian Elizabeth Punina Rea
C.I: 0202624896



Jose Humberto Sislema Tocachi
C.I: 0605280973

TABLA DE CONTENIDO

TEMA DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN	2
AGRADECIMIENTO	3
DEDICATORIA	4
CERTIFICACIÓN DEL DIRECTOR Y PAR ACADÉMICO ¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.	
TABLA DE CONTENIDO	7
INCEDE DE TABLA	11
INDECE DE FIGURAS/GRÁFICAS.....	14
INDECE DE IMÁGENES	15
INTRODUCCIÓN.....	17
RESUMEN.....	21
ABSTRACT	22
CAPITULO I. FORMULACIÓN GENERAL DEL PROYECTO	23
1.1. Planteamiento del problema	23
1.2. Formulación del problema.....	26
1.3. Preguntas de investigación	26
1.4. Justificación	26
1.5. Objetivos: Generales y Específicos	28
1.5.1. Objetivos Generales.....	28
1.5.2. Objetivos Específicos	28

1.6. Variables	29
1.6.1. Variable independiente.....	29
1.6.2. Variable dependiente.....	30
CAPITULO II. MARCO TEÓRICO	31
2.7. Referencial o Georreferencial.....	31
2.8. Antecedentes	32
2.9. Bases Teóricas	35
2.10. Base legal.....	43
2.11. Conceptual	49
CAPITULO III. METODOLOGÍA.....	58
3.1. Tipo de investigación.....	58
3.2. Enfoque de investigación.....	58
3.3. Métodos de investigación	59
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	60
3.4.1. Técnicas e instrumentos de recolección de datos utilizados para el objetivo 1	60
3.4.1. Técnicas e instrumentos de recolección de datos utilizados para el objetivo 2	61
3.4.1. Técnicas e instrumentos de recolección de datos utilizados para el objetivo 3	61
3.5. Técnicas de Análisis y Procesamiento de la Información	62

3.5.1. Técnicas de análisis y procesamiento de la información utilizadas para el Objetivo 1.....	62
3.5.2. Técnicas de análisis y procesamiento de la información utilizadas para el Objetivo 2.....	65
3.5.1. Técnicas de análisis y procesamiento de la información utilizadas para el Objetivo 3.....	67
CAPITULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	68
4.1. Análisis, Interpretación y Discusión de Resultados.....	68
4.1.1. Objetivo 1. Identificar los factores que contribuyen al desbordamiento del río Chibunga en la parroquia San Luis del cantón Riobamba.....	68
4.1.1.1. Modelamiento hidrológico del Rio Chibunga	83
4.1.2. Objetivo 2. Determinar las afectaciones ocasionadas por el desbordamiento del río Chibunga en la parroquia San Luis del cantón Riobamba.	104
4.1.2.1. Modelamiento hidráulico del río Chibunga	104
4.1.2.2. Identificación y análisis de los elementos expuestos a inundaciones en diferentes periodos de retorno 10, 50, 100 y 500 años	114
4.1.3. Objetivo 3. Proponer medidas de reducción de riesgo ante la amenaza de inundación del río Chibunga en la parroquia San Luis del cantón Riobamba..	133
4.1.3.1. Medidas de reducción de riesgo estructurales.	133

4.1.3.2. Medidas de reducción de riesgo no estructurales.	136
CONCLUSIONES.....	143
RECOMENDACIONES.....	144
BIBLIOGRAFÍA.....	146
ANEXOS	153

INCEDE DE TABLA

Tabla 1 <i>Variable independiente.</i>	29
Tabla 2 <i>Variable dependiente.</i>	30
Tabla 3 <i>Clasificación del tamaño de la cuenca según su superficie.</i>	39
Tabla 4 <i>Niveles de exposición de la amenaza.</i>	66
Tabla 5 <i>Red Hídrica de la Microcuenca Rio Chibunga.</i>	71
Tabla 6 <i>Escenario de cálculo de flujo1.</i>	84
Tabla 7 <i>Escenario de cálculo de flujo1.</i>	85
Tabla 8 <i>Escenario de cálculo de flujo 3.</i>	86
Tabla 9 <i>Parámetros estadísticos para los datos dudosos</i>	88
Tabla 10 <i>Precipitación máxima 24 horas con el Método Gumbel.</i>	91
Tabla 11 <i>Cálculo de las intensidades máximas esperadas para los diferentes periodos de retornos</i>	94
Tabla 12 <i>Coeficiente de rugosidad de Manning</i>	106
Tabla 13 <i>Categorización del resultado de los calados por la velocidad</i>	108
Tabla 14 <i>Nivel de amenaza del área de inundación Tr 10 años</i>	108
Tabla 15 <i>Nivel de amenaza del área de inundación Tr 50 años</i>	110
Tabla 16 <i>Nivel de amenaza del área de inundación Tr 100 años</i>	111
Tabla 17 <i>Nivel de amenaza del área de inundación Tr 500 años</i>	113
Tabla 18 <i>Afectaciones en sistema de agua potable Tr 10 años</i>	114
Tabla 19 <i>Afectaciones en sistema de alcantarillado Tr 10 años</i>	115
Tabla 20 <i>Afectaciones en sistema de agua potable Tr 50 años</i>	117
Tabla 21 <i>Afectaciones en sistema de alcantarillado 50 años</i>	117
Tabla 22 <i>Afectaciones en sistema de agua potable Tr 100 años</i>	119

Tabla 23 <i>Afectaciones en sistema de alcantarillado Tr 100 años</i>	119
Tabla 24 <i>Afectaciones en sistema de agua potable Tr 500 años</i>	121
Tabla 25 <i>Afectaciones en sistema de alcantarillado Tr 500 años.</i>	121
Tabla 26 <i>Afectaciones en sistema eléctrico Tr 10 años: línea de Voltaje Alta (kv).</i>	123
Tabla 27 <i>Afectaciones en sistema eléctrico Tr 10 años: línea de Voltaje Baja (V).</i>	124
Tabla 28 <i>Afectaciones en sistema eléctrico Tr 10 años: Poste.</i>	124
Tabla 29 <i>Afectaciones en sistema eléctrico Tr 50 años: Línea de Voltaje Alta (kv).</i>	125
Tabla 30 <i>Afectaciones en sistema eléctrico Tr 50 años: línea de Voltaje Baja (V).</i>	126
Tabla 31 <i>Afectaciones en sistema eléctrico Tr 50 años: Poste.</i>	126
Tabla 32 <i>Afectaciones en sistema eléctrico Tr 100 años: línea de Voltaje Alta (kv).</i>	128
Tabla 33 <i>Afectaciones en sistema eléctrico Tr 100 años: Línea de Voltaje Baja (V).</i>	128
Tabla 34 <i>Afectaciones en sistema eléctrico Tr 100 años: Poste.</i>	129
Tabla 35 <i>Afectaciones en sistema eléctrico Tr 500 años: línea de Voltaje Alta (kv).</i>	130
Tabla 36 <i>Afectaciones en sistema eléctrico Tr 500 años: Línea de Voltaje Baja (V).</i>	131
Tabla 37 <i>Afectaciones en sistema eléctrico Tr 500 años: Poste.</i>	131
Tabla 38 <i>Medidas estructurales: Infraestructura de protección</i>	133
Tabla 39 <i>Medidas estructurales: Construcción de albarradas</i>	134
Tabla 40 <i>Medidas estructurales: Sistema de Alerta Temprana (SAT)</i>	135
Tabla 41 <i>Medidas no estructurales: Educación Comunitaria</i>	137
Tabla 42 <i>Medidas no estructurales: Limpieza y mantenimiento</i>	138
Tabla 43 <i>Medidas no estructurales: Ordenamiento Territorial</i>	139
Tabla 44 <i>Medidas no estructurales: Sistema de Alerta Temprana (SAT)</i>	140
Tabla 45 <i>Medidas no estructurales: Monitoreo y Evaluación Continua</i>	141

Tabla 46 <i>Medidas no estructurales: Respuesta ante desbordamiento</i>	142
--	-----

INDECE DE FIGURAS/GRÁFICAS

Figura 1 <i>Curva hipsométrica de la cuenca</i>	73
Figura 2 <i>Frecuencia de altitudes del río Chibunga.</i>	74
Figura 3 <i>Sección 1: Área transversal de la microcuenca del río Chibunga.</i>	84
Figura 4 <i>Sección 2: Área transversal de la microcuenca del río Chibunga.</i>	85
Figura 5 <i>Sección 3: Área transversal de la microcuenca del río Chibunga.</i>	86
Figura 6 <i>Análisis visual de datos dudosos</i>	90
Figura 7 <i>Precipitación máxima en 24hr por el método Gumbel</i>	93
Figura 8 <i>Curva de Intensidad-Duración-Frecuencia.</i>	94
Figura 9 <i>Hietograma de precipitación Tr 10</i>	97
Figura 10 <i>Hietograma de precipitación de Tr 50</i>	98
Figura 11 <i>Hietograma de precipitación de Tr 100</i>	98
Figura 12 <i>Hietograma de precipitación de Tr 500</i>	99
Figura 13 <i>Hidrograma de precipitación de Tr 10</i>	101
Figura 14 <i>Hidrograma de precipitación de Tr 50</i>	101
Figura 15 <i>Hidrograma de precipitación de Tr 100</i>	102
Figura 16 <i>Hidrograma de precipitación de Tr 500.</i>	103

INDECE DE IMÁGENES

Mapa 1 <i>Mapa de ubicación de la parroquia San Luis de Riobamba.</i>	32
Mapa 2 <i>Delimitación de la cuenca por método de PFASTETTER.</i>	69
Mapa 3 <i>Ordenación de red de drenaje por método STRAHLER.</i>	72
Mapa 4 <i>Geomorfología de la parroquia San Luis.</i>	76
Mapa 5 <i>Tipo de suelo de la parroquia San Luis.</i>	78
Mapa 6 <i>La pendiente de la parroquia San Luis</i>	79
Mapa 7 <i>Uso de suelo de la parroquia San Luis</i>	81
Mapa 8 <i>Precipitación de la Parroquia San Luis</i>	82
Mapa 9 <i>Modelo DEM de la cuenca de estudio</i>	105
Mapa 10 <i>Uso de suelo y coeficiente de rugosidad de manning.</i>	107
Mapa 11 <i>Mapa de velocidad por profundidad para un TR 10 años</i>	109
Mapa 12 <i>Mapa de velocidad por profundidad para un TR 50 años.</i>	110
Mapa 13 <i>Mapa de velocidad por profundidad para un TR 100 años.</i>	112
Mapa 14 <i>Mapa de velocidad por profundidad para un TR 500 años.</i>	113
Mapa 15 <i>Mapa de exposición de sistema de agua potable y alcantarillado de TR de 10 años.</i>	116
Mapa 16 <i>Mapa de exposición de sistema de agua potable y alcantarillado de TR de 50 años.</i>	118
Mapa 17 <i>Mapa de exposición de sistema de agua potable y alcantarillado de TR de 100 años</i>	120
Mapa 18 <i>Mapa de exposición de sistema de agua potable y alcantarillado de TR de 500 años</i>	122

Mapa 19 <i>Mapa de exposición de sistema eléctrico de TR de 10 años</i>	125
Mapa 20 <i>Mapa de exposición de sistema eléctrico de TR de 50 años</i>	127
Mapa 21 <i>Mapa de exposición de sistema eléctrico de TR de 100 años</i>	130
Mapa 22 <i>Mapa de exposición de sistema eléctrico de TR de 500 años</i>	132

INTRODUCCIÓN

Actualmente, hay un aumento constante de las amenazas climáticas, como sequías, incendios forestales y variaciones en las precipitaciones que generan desbordamientos de ríos, y a su vez inundaciones, estos eventos afectan al bienestar humano y tienen un impacto significativo en los ecosistemas, exacerbando los riesgos para ambas partes (Murillo, J., 2018).

El aumento de los eventos climáticos extremos ha intensificado las amenazas naturales en varias regiones del mundo, como los desbordes de ríos producto del exceso de agua que el canal no puede contener por condiciones climáticas extremas o la acumulación de agua en zonas de alta pendiente. (Vásconez et al., 2019).

Ecuador es uno de los países donde los fenómenos climáticos son factores frecuentes en la época invernal, provocando daños devastadores a sus habitantes que se encuentran en las riberas del río o en las llanuras. Un ejemplo de esto es la parroquia de San Luis en el cantón Riobamba, que ha sufrido desbordamiento por el río Chibunga y una parte por el río Chambo. Estas situaciones impactan negativamente en los aspectos sociales y económicos de la comunidad (Mora, D. y Chimborazo, M., 2023).

A medida que la población crece, también se incrementa el riesgo desastres naturales debido al cambio en el uso del suelo. Esto se debe, en gran medida a la expansión de asentamientos informales y a la construcción de infraestructuras en zonas ribereñas, lo que alteran el curso natural de los ríos y de igual manera afectan las condiciones de infiltración en las llanuras aluviales. En el caso de Riobamba, la falta de una adecuada planificación territorial ha provocado inundaciones recurrentes en la ciudad, poniendo en riesgo a la población y sus bienes (Larrea, 2018).

El río Chibunga, ubicado en la parroquia San Luis del cantón Riobamba, es caracterizada por ser un río estacional con una notable variación en su caudal a lo largo del año. Durante la época seca, especialmente en julio y agosto, su caudal disminuye significativamente, llegando a registrar apenas 34mm de precipitación. Y sus aguas son utilizadas principalmente en actividades agrícolas, especialmente para el riego. Sin embargo, durante la temporada de lluvias, particularmente en el mes de marzo, las precipitaciones pueden aumentar considerablemente hasta alcanzar los 1462 mm, provocando desbordamiento que ocasionan graves daños en zonas cercanas del río (GAD Riobamba, 2022).

Actualmente, este escenario podría volver a ocurrir por diversos factores, como la expansión de las actividades humanas, el desarrollo urbano sin planificación adecuada, la deforestación, la modificación de suelos para usos agrícolas y habitacionales y la falta de mitigaciones eficientes, afectando tanto a la población como a elementos esenciales. lo que hace que esta zona sea vulnerable.

Por lo tanto, ante la evidente necesidad de disponer con información precisa y actualizada que represente con precisión las condiciones dinámicas del río Chibunga, este estudio tiene como objetivo examinar la amenaza de desbordamiento del río y sus posibles impactos en la parroquia San Luis durante el periodo comprendido entre septiembre y diciembre de 2024. Este análisis busca identificar los factores que incrementan el riesgo de desbordamiento, evaluar las áreas potencialmente afectadas y proponer medidas preventivas y de mitigación para reducir los daños a la población y a la infraestructura local. Para lograr este propósito, se emplean metodologías como la evaluación de riesgos, la modelación hidráulica y los análisis geoespaciales, que facilitan la comprensión completa del tema.

Este documento se estructura en varios capítulos, diseñados para cumplir con los objetivos propuestos en la investigación, a continuación, se detalla la organización y el contenido de cada capítulo.

En el capítulo 1 se aborda el planteamiento y formulación del problema, centrado en el desbordamiento del río Chibunga y su impacto en la parroquia San Luis. Se establece los objetivos de la investigación, se definen las variables analíticas y también se opera la operacionalización, ofreciendo una visión clara de la problemática actual.

El capítulo inicial se refiere a la delimitación y formulación del problema, haciendo hincapié en el desbordamiento del río Chibunga y sus ramificaciones para la parroquia de San Luis. Se articulan los objetivos del estudio, se definen las variables analíticas y se abordan consideraciones adicionales.

En el segundo capítulo, se describen estudios previos relacionados con la investigación, los cuales abordan casos similares de desbordamientos de ríos y sus impactos en comunidades vulnerables. Estos antecedentes permiten identificar metodologías aplicadas, variables analizadas y estrategias implementadas en varios entornos, proporcionando así un marco de referencia para la investigación. Además, se profundizan en los fundamentos teóricos asociados a las variables de investigación, como la amenaza de desbordamientos del río Chibunga y sus efectos en el elemento, tales como la infraestructura de agua potable, alcantarillado, vías y red eléctrica. Finalmente, se presenta la base legal que respalda la investigación, centrando en las normativas vigentes relacionada con la gestión de riesgos y ordenamientos territoriales, lo cual permite contextualizar la problemática dentro del ámbito de políticas públicas, resaltando la importancia de una gestión adecuada para mitigar el riesgo.

En el tercer capítulo, se detalla la metodología empleada en la investigación, explicando todos los procesos, técnicas e instrumentos aplicados para comprender el fenómeno de desbordamiento del río Chibunga. Se aplica un modelo hidráulico, herramientas de Sistemas de Información Geográfica (SIG) y trabajo de campo para identificar los factores que contribuyen al desbordamiento del río Chibunga y sus afectaciones a elementos esenciales como el sistema agua potable, alcantarillado y sistema eléctrico.

En cuarto capítulo, se presentan los resultados de acuerdo a los objetivos planteados como la identificación de los factores que contribuyen al desbordamiento del río Chibunga, tales como los factores condicionantes y detonantes, además, se determinan las afectaciones ocasionadas por este evento en los elementos críticos, como la interrupción de los servicios de agua potable, alcantarillado y suministro eléctrico, finalmente, se presenta una propuesta integral de medidas de reducción de riesgos, enfocada en estrategias de mitigación y prevención

Finalmente, las conclusiones y recomendaciones derivadas del presente estudio, basadas en los resultados obtenidos en relación con los objetivos planteados.

Este análisis es relevante no solo para la parroquia de San Luis, sino también para otras comunidades que enfrentan riesgos similares, sirviendo de base para el diseño de políticas públicas enfocadas en la reducción del riesgo de desastres y la resiliencia comunitaria.

RESUMEN

El proyecto de investigación titulado “Análisis de la amenaza de desbordamiento del río Chibunga y sus efectos en la parroquia San Luis del cantón Riobamba en el período septiembre – diciembre 2024” se centra en la elaboración de un modelamiento hidráulico para determinar las afectaciones generadas por el desbordamiento del río Chibunga. Este río, que atraviesa la parroquia rural de San Luis, ha presentado históricamente desbordamientos que han ocasionado daños significativos a la infraestructura y la economía local. El objetivo principal de la investigación se enfocó en identificar las afectaciones a elementos esenciales como el sistema de agua potable, alcantarillado y red eléctrica, producto del desbordamiento del río. Para lograr, se implementó la metodología mixta, combinando enfoques cualitativos y cuantitativos, bajo un diseño no experimental de campo, descriptivo y analítico. Se recopilaron datos de precipitación a través de la plataforma POWER NASA, y se utilizó el software Excel para procesar y calcular las precipitaciones máximas en 24 horas aplicando el método Gumbel y la curva de Intensidad-Frecuencia-Duración (IFD). Además, se empleó el programa Iber para simular las áreas expuestas a inundaciones para diferentes períodos de retorno. Los resultados obtenidos evidenciaron afectaciones significativas para los períodos de retorno de analizados 10, 50, 100 y 500 años, destacándose un evento ocurrido en 2023. Con base resultados, se proponen medidas reducir de riesgos de desbordamiento del río Chibunga. Estas propuestas buscan mitigar el impacto de las inundaciones en la parroquia y proteger tanto la infraestructura como los recursos económicos de la parroquia San Luis.

Palabras clave: Desbordamiento del río, Afectaciones, Iber, exposición, inundación, Reducción de riesgos.

ABSTRACT

The research project entitled “Analysis of the Chibunga River overflow threat and its effects on the San Luis parish of Riobamba canton in the period September - December 2024” focuses on the development of a hydraulic model to determine the effects generated by the overflow of the Chibunga River. This river, which flows through the rural parish of San Luis, has experienced overflows that have caused significant damage to local infrastructure and the parish's economy. The main objective of the research was to identify the damage to essential elements such as the drinking water, sewage and electrical systems as a result of the overflowing of the river. For this purpose, a mixed methodology combining qualitative and quantitative approaches was applied, with a non-experimental, field, descriptive and analytical design. In the process, precipitation data were collected through the POWER NASA platform. In addition, Excel software was used to tabulate and calculate the maximum rainfall in 24 hours using the Gumbel method and the Intensity-Frequency-Duration (IFD) curve, and the Iber program was used to simulate the areas exposed to flooding for different return periods. The results obtained revealed significant impacts for return periods of 10, 50, 100 and 500 years, highlighting an event that occurred in 2023. Based on the results, measures are proposed to reduce the risk of overflowing of the Chibunga River. These measures seek to mitigate the impact of flooding on the community and protect both the infrastructure and economic resources of the San Luis parish.

Key words: River overflow, Affectations, Iber, exposure, flooding, risk reduction.

CAPITULO I. FORMULACIÓN GENERAL DEL PROYECTO

1.1. Planteamiento del problema

Los desbordamientos de ríos en Ecuador son eventos hidrometeorológicos recurrentes que tienen un impacto significativo tanto social como económico. Estos fenómenos son responsables de numerosas pérdidas humanas, daños materiales en infraestructuras urbanas, agrícolas e industriales, la interrupción de vías de comunicación esenciales. Todo ello afecta directamente a la economía local y, en consecuencia, a la estabilidad económica nacional.

Esta problemática ha afectado a diversas regiones del país, una de ellas es la provincia de Chimborazo ubicada en la Cordillera de los Andes es propensa a sufrir este tipo de amenazas, debido a que su sistema de drenaje ha sido modificado y bloqueado por la acumulación de sedimentos y residuos, el agua, durante los periodos de crecida, termina desplazándose hacia las áreas habitadas (Alarcón & Basantes, 2022) .

La parroquia de San Luis la topografía es irregular, con pendientes que varían entre el 20 y el 50 %, que está expuesta al desbordamiento del río Chibunga, ya que está conformada por suelos de cancahuoso, en su gran mayoría cubiertos por vegetación y en algunos sectores conformados por pequeños cerros. (GADPR-San Luis, 2022).

La combinación de las características topográficas y edáficas hace que la parroquia de San Luis sea particularmente vulnerable a los fenómenos de desbordamiento fluvial, especialmente en temporadas de lluvias intensas. La pendiente del terreno hacia el río Chibunga favorece la escorrentía de las aguas superficiales, incrementa el riesgo de inundaciones en las zonas bajas y llanas.

La parroquia San Luis ha enfrentado históricamente los impactos de los desbordes del río Chibunga, eventos que han dejado impactos significativos en su desarrollo socioeconómico,

estas inundaciones han afectado gravemente tanto a la infraestructura como a la economía agrícola, sectores clave para la población local. Según datos del diario La Prensa, dos de los episodios más graves registrados ocurrieron en 1943 y 1998. En estos eventos, las granjas agrícolas, que representan el principal sustento de muchas familias, sufrieron pérdidas masivas debido a los daños en los cultivos y de igual manera sufrió la erosión de los suelos fértiles. Asimismo, se destruyeron los puentes que conectaban a las comunidades, interrumpiendo las vías de comunicación que es esenciales para el movimiento de personas y productos. La destrucción de esta infraestructura no solo limitó al acceso a los servicios básicos, sino que también paralizó el comercio agrícola, afectando profundamente la economía local (La Prensa, 1998).

Los principales problemas identificados se encuentran la falta de conciencia de la población, lo que ha generado un crecimiento descontrolado y la expansión de las zonas rurales sin tener en cuenta la planificación del uso del suelo. A esto se suma la acumulación de los desechos y sedimentos a lo largo del cauce del río Chibunga, lo que a provocan una reducción considerable de su capacidad del flujo. Esta situación representa un riesgo considerable ya que el agua proveniente de la precipitación en la parte alta de las cuencas debe desplazar por su curso natural. Sin embargo, la alteración facilita al desbordamiento del río en la cabecera parroquial (GADPR-San Luis, 2022).

Otro factor que contribuye al desbordamiento del río Chibunga es el incumplimiento de la normatividad vigente relacionado con el ordenamiento territorial. A pesar de la existencia de una ordenanza que establece una distancia mínima de 10 metros entre las infraestructuras y el cauce del río, muchos habitantes no cumplen con esta normativa y construyen sus viviendas al borde del río, aumentando significativamente su exposición al riesgo de inundación. Además, se

ha identificado que algunas personas han construido sus viviendas en zonas previamente designadas para calles. Estas áreas fueron ocupadas informalmente luego de un desbordamiento hace varias décadas, cuando, debido a la alteración del paisaje y la falta de control territorial, los habitantes tomaron posesión de las tierras afectadas y establecieron asentamientos. Estas acciones humanas no solo amplifican la vulnerabilidad de la población, sino que también aumentan la frecuencia y magnitud de los desbordamientos del río Chibunga, generando un ciclo de riesgo difícil de romper sin una intervención adecuada.

Este fenómeno natural representa una amenaza para la infraestructura vial, ya que la interrupción de las vías de comunicación terrestre dificulta el acceso al cantón Riobamba, generando un impacto negativo en la economía local. Además, las infraestructuras construidas en zonas cercanas a estos cuerpos de agua provocan deterioro en sus cimentaciones y muros, lo que reduce su estabilidad y durabilidad. Por otro lado, los servicios básicos son primordiales para el funcionamiento de una ciudad, garantizan el acceso a recursos esenciales como el agua potable y la electricidad. Sin embargo, estos servicios están expuestos a riesgos que pueden afectar su funcionamiento, afectando no solo la calidad de vida de la población, sino también los bienes materiales de la parroquia (Morales, 2023).

Si no se implementan medidas adecuadas para gestionar el riesgo de desbordamiento y mitigar sus impactos, se podrían generarse daños significativos tanto para la comunidad como para el medio ambiente. Por esta razón, es fundamental realizar una investigación detallada sobre la amenaza de desbordamiento del río Chibunga y sus efectos en la parroquia San Luis. Esta investigación permitirá desarrollar estrategias de mitigación más efectivas, orientadas a proteger a la comunidad, sus bienes y los recursos naturales de la zona.

1.2. Formulación del problema

¿Cuáles serían los efectos del desbordamiento del río Chibunga en la parroquia San Luis perteneciente al cantón Riobamba?

1.3. Preguntas de investigación

¿Cuáles son los principales factores que contribuyen a la amenaza de desbordamiento del río Chibunga en la parroquia de San Luis?

¿Cuáles zonas de la parroquia San Luis son las más vulnerables al desbordamiento del río Chibunga?

1.4. Justificación

Los desbordamientos de ríos son fenómenos hidrológicos extremos que pueden ocasionar graves repercusiones en las comunidades ribereñas, como la pérdida de vidas humanas, destrucción de infraestructuras y bienes materiales, daño a los cultivos y las alteraciones en los ecosistemas. En Ecuador, la región interandina no está exenta de los eventos, y el río Chibunga, ubicado en la provincia de Chimborazo es uno de los ríos que ha experimentado varios desbordes. (Mena et al., 2021)

La parroquia San Luis es una zona altamente susceptible a inundaciones, debido a la cercanía al cauce del río Chibunga y su topografía, ya que está asentada sobre suelos volcánicos originados por la actividad de los volcanes Chimborazo y Tungurahua. Durante temporada de lluvias, que abarca los meses de enero a abril, estos suelos tienden a saturarse rápidamente, lo que reduce su capacidad de absorción. Una vez que el suelo alcanza su límite de retención, el exceso de agua se convierte en escorrentía superficial, lo que incrementa

el riesgo de desbordamiento, lo que trae consigo graves consecuencias para la infraestructura, el medio ambiente y la comunidad local (GADPR-San Luis, 2022).

En este contexto, resultado fundamental llevar a cabo la investigación con el objetivo de identificar los factores que contribuyen al desbordamiento del río Chibunga y determinar los posibles efectos que podría generar esta amenaza. La investigación busca aportar conocimiento que contribuya a la solución de la problemática y a la mitigación de sus impactos.

Además, proporcionará a las autoridades locales una base sólida para desarrollar políticas públicas y planes de emergencia, facilitando la toma de decisiones informada. La población del área de estudio se beneficiará al acceder a información precisa y relevante, lo que permitirá implementar medidas de prevención y mitigación más efectivas, reduciendo así la vulnerabilidad de la parroquia y minimizando las pérdidas humanas y económicas.

Por otro lado, la ausencia de un modelo hidráulico y la falta de investigaciones previas en esta área representan una oportunidad significativa para abordar un vacío en el conocimiento local. Esta situación se vuelve aún más crítica ante el aumento en la frecuencia e intensidad de los eventos meteorológico, lo que resulta la urgencia de comprender con precisión los riesgos específicos asociados con el comportamiento del río Chibunga. Este estudio proporcionará información clara y accesible sobre los riesgos existentes, así como el diseño de estrategias efectivas de mitigación y reducción de riesgos. Esto no solo permitirá minimizar los daños y pérdidas durante futuros desbordamientos, sino también promover una gestión del riesgo de desastres más sostenible y proactiva en la Parroquia San Luis.

1.5. Objetivos: Generales y Específicos

1.5.1. Objetivos Generales

Analizar la amenaza de desbordamiento del río Chibunga y sus afectaciones en la parroquia San Luis del cantón Riobamba, en el periodo septiembre - diciembre 2024.

1.5.2. Objetivos Específicos

Identificar los factores que contribuyen al desbordamiento del río Chibunga en la parroquia San Luis del cantón Riobamba.

Determinar las afectaciones en los elementos esenciales por el desbordamiento del río Chibunga en la parroquia San Luis del cantón Riobamba.

Proponer medidas de reducción de riesgo ante la amenaza de desbordamiento del río Chibunga en la parroquia San Luis del cantón Riobamba.

1.6. Variables

1.6.1. Variable independiente

Tabla 1

Variable independiente.

Variable	Definición	Dimensión	Indicadores	Escala	Instrumento	
Amenaza de desbordamiento de ríos	Es un fenómeno en el que los niveles de agua de un río exceden sus cauces y provocan inundaciones, ya sea durante épocas de lluvia o debido a un evento climático extremo.	Modelo hidrológico	Longitud del canal	Kilómetros	Sistemas de Información Geográfica	
			Tiempo de concentración	horas	Fórmula California	
				Vegetación herbácea		
				Infraestructura		
				Plantación forestal		
				Superficie sin cubierta vegetal		
			Modelo Hidráulico	Uso de suelo	Cuerpo de agua natural	Unidad de Gestión de Riesgos del Cantonal
				Zona poblada	Riobamba, Páramo	Sistemas de Información Geográfica
				Cultivo anual	Vegetación arbustiva	
				Bosque nativo		
				Mosaico agrícola		
				Pradera		
		Área de drenaje	km2	DEM, Sistemas de Información Geográfica (SIG)		
		Curvas IDF		Datos de precipitación de la NASA		
		Caudales máximos	TR 10 TR 50 TR 100 TR 500	Método racional modificado		
		Hietograma		Método de bloques alternos		
		Hidrograma		Método Snyder		
		Uso de suelo	Río	Trabajo de campo, Sistemas de Información Geográfica.		
			Residencial			
			Vegetación densa			

		Cultivos	
		Industrial	
	Rugosidad Manning	Coefficiente	Sistemas de Información, Geográfica, IBER.
	Profundidad	TR 10 TR 50	Sistemas de Información
	Velocidad	TR 100 TR 500	Geográfica, IBER.

Nota. La tabla muestra la operacionalización de la variable independiente de desbordamiento del río. Fuente: Elaboración propia (2024).

1.6.2. Variable dependiente

Tabla 2

Variable dependiente.

Variable	Definición	Dimensiones	Indicadores	Escala	Instrumento
Efectos sobre los elementos esenciales	Son infraestructuras o elementos estratégicos que permiten el funcionamiento de la parroquia San Luis.	Impacto en elementos esenciales	Interrupción del agua potable	Muy alto	Sistemas de Información Geográfica
			Corte de sistema energía	Alto	
			Interrupción del alcantarillado	Medio	
				Bajo	

Nota. La tabla muestra la operacionalización de la variable dependiente. Fuente: Elaboración propia (2024).

CAPITULO II. MARCO TEÓRICO

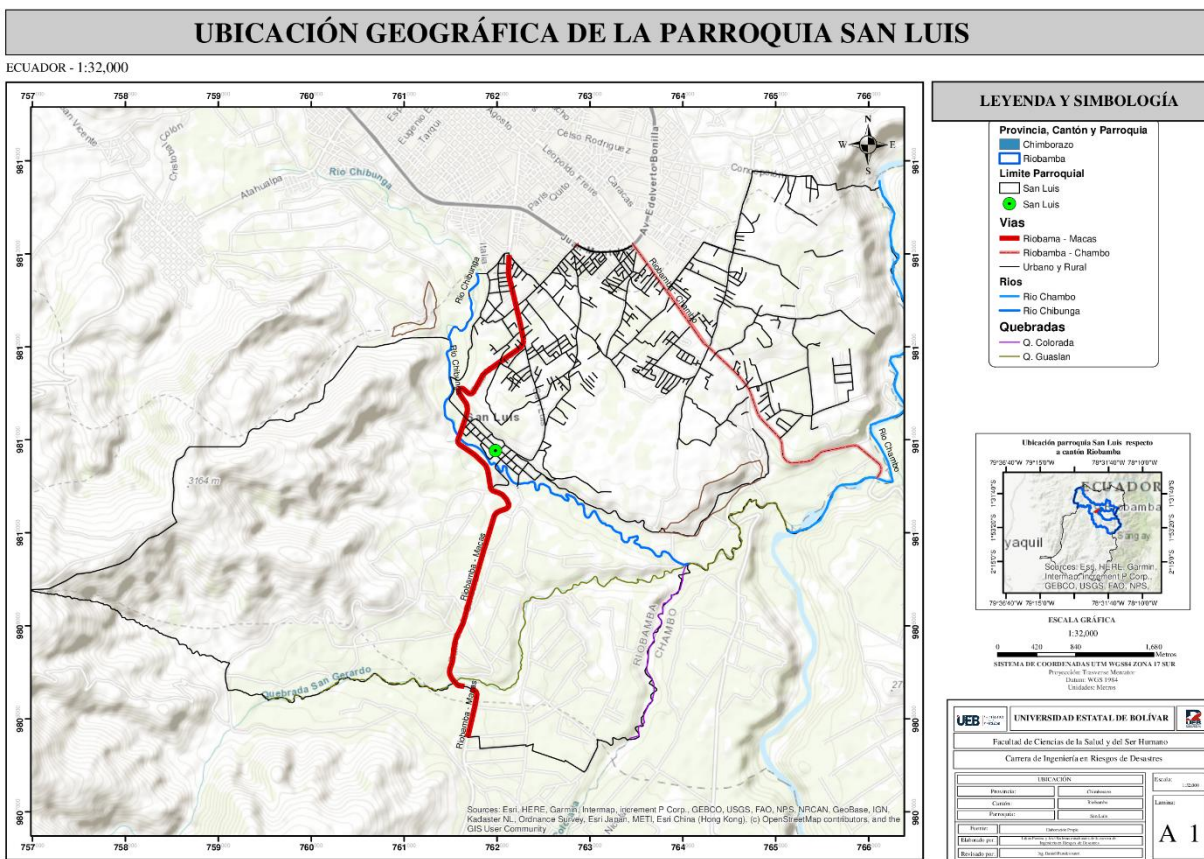
2.7. Referencial o Georreferencial

El área de estudio se localiza en la parroquia San Luis, situada al sur del cantón Riobamba, a 5 km de la cabecera provincial. Esta zona abarca una superficie de 29,3 km², lo que representa el 2,94% del territorio total del cantón. De acuerdo con el último censo de población y vivienda (INEC, 2022), la parroquia cuenta con una población de 19,510 habitantes. Su altitud oscila entre los 2584 y 2839 msnm. Geográficamente, la parroquia San Luis se encuentra ubicada aproximadamente en las coordenadas UTM 762021m Este y 9810928 m Norte (EcuRed, 2020).

Esta parroquia limita geográficamente al norte con la ciudad de Riobamba, al sur con la parroquia Punín, al este con el cantón de Chambo y al oeste con las parroquias de Yaruquíes y Cacha. En relación con el entorno natural la parroquia tiene como afluente principal el río Chibunga, éste se origina en las laderas de las estribaciones asociadas con el volcán Chimborazo, se extiende aproximadamente 38 km, fluye predominantemente del noreste al sureste.

Mapa 1

Mapa de ubicación de la parroquia San Luis de Riobamba.



Nota. Mapa de localización geográfica de la parroquia San Luis de Riobamba. Fuente: Elaboración propia (2024).

2.8. Antecedentes

En la investigación realizada sobre el análisis de los efectos del desbordamiento del río Suquibí en el barrio La Primavera de San Luis de Pambil, en la provincia de Bolívar, en el que se emplean una variedad de herramientas como PSPP para el análisis estadístico, el programa SAGA para modelar áreas susceptibles y ArcGIS para la elaboración de mapas morfométricos. También utilizan la curva IDF junto con el hidrograma de precipitaciones para proyectar periodos de retorno de eventos extremos, lo que nos ofrece una valiosa guía para realizar un

análisis similar de los efectos sobre elementos esenciales por el desbordamiento del río Chibunga (Chileno, G & Agualongo, J, 2023).

El trabajo de investigación sobre el Estudio Hidráulico del Río Guano para determinar de la conductividad entre el Río-Acuífero y las zonas inundables, proporciona un marco técnico que puede ser adaptado para caracterizar la amenaza de desbordamiento del Río Chibunga mediante técnicas avanzadas de modelado hidrológica e hidráulica. El uso de valores promedio de conductancia y caudales específicos, así como la consideración de la infiltración del suelo, es crucial para comprender cómo interactúan el acuífero y el río, lo cual es esencial para evaluar la amenaza de desbordamiento.

La identificación de zonas inundables utilizando el modelo HEC-RAS, en combinación con los SIG, ofrece un enfoque sólido para determinar las áreas más vulnerables a las inundaciones. Este método se puede replicar para el río Chibunga, proporcionando datos precisos sobre las áreas que se verán más afectadas durante los eventos de precipitación extrema (Tipán, 2018).

La investigación sobre el análisis del riesgo de inundación: la metodología y su aplicación a la cuenca de Atemajac aporta significativamente a nuestro tema ya que aplican el modelo determinista y paramétrico en el que se generan mapas de inundaciones y daños para periodos de retorno de 50 y 100 años, los cuales pueden ser adaptados para caracterizar la amenaza de inundación del río Chibunga, ya que en nuestro tema pretendemos trabajar con plazos de retorno de 5, 10 y 50 años. Mediante el uso de modelos numéricos para generar mapas de inundaciones y daños, es posible identificar zona de riesgo y alta vulnerabilidad a lo largo del río Chibunga, similar a lo que se hizo en el río Atemajac (Hernández et al., 2017).

La investigación sobre la evaluación del riesgo de inundación mediante geotecnologías para el manejo del uso y ocupación del suelo, en la quebrada Cunduana del cantón Riobamba-Chimborazo, utiliza la metodología de análisis multitemporal mediante fotointerpretación y simulaciones 1D y 2D, estos métodos permiten identificar cambios en el cauce, cobertura y uso del suelo del río Chibunga, lo que proporciona información crucial para el modelamiento hidrológico e hidráulico, que es uno de los principales objetivos de su estudio.

Además, el enfoque de la investigación en las representaciones de profundidad y flujo de escorrentía, junto con el análisis de eventos de riesgo previos, que se proponen en esta investigación puede ayudar a anticipar las zonas más vulnerables y las posibles consecuencias de futuros desbordamientos. El marco de gestión territorial propuesto, derivado de estos datos que se propone en esta investigación ofrece una estrategia aplicable en nuestro estudio para desarrollar medidas de mitigación de riesgos para las zonas afectadas por el río Chibunga, cumpliendo así con el tercer objetivo del estudio (Montalvo & Salazar, 2023).

La investigación titulada Aplicación de Hec-hms e Iber en la modelación numérica de inundaciones en el río San Sebastián del municipio de Totolapan, Morelos, México, realiza una modelación hidráulica para generar mapas de profundidad de inundación, la generación de estos mapas para varios periodos de retorno ilustraría las zonas que se verían afectadas en la parroquia San Luis, además, el estudio emplea el método de números de curvas (CN) y la ecuación de Kirpich para calcular el tiempo de escorrentía y concentración, lo que facilita una estimación más precisa de la dinámica de la escorrentía durante los eventos de precipitaciones intensas, lo cual es fundamental para modelar las inundaciones y su impacto en la parroquia San Luis (Prado-Hernández et al., 2019).

2.9. Bases Teóricas

Desbordamiento del río

Cuando el sistema fluvial experimenta un aumento en su caudal, ya sea como consecuencia de las precipitaciones estacionales o como resultado de un fenómeno meteorológico extremo, los ríos pueden desbordarse, en consecuencia, el grupo demográfico que reside en la zona inundada sufre repercusiones directas (como deterioro de sus estructuras o problemas de salud) o indirectos como la interrupción de las fuentes de empleo o canales de comunicación (Posada et al., 2023).

Causas de los desbordamientos de los ríos

Las causas más frecuentes de desbordamiento de ríos son dos: Por un lado, están las causas naturales, que normalmente se presentan debido a las lluvias, y provocan escenarios de extrema fragilidad ante los excedentes de agua. Por otro lado, están las causas naturales derivadas de actividades humanas, que se deben a procesos erosivos, ya que desgastan y debilitan las riberas y el cauce del río, reduciendo su capacidad para contener el flujo de agua. La erosión aumenta los sedimentos en el cauce, lo que eleva el nivel del río y limita el espacio disponible para el agua, especialmente durante fuertes lluvias o inundaciones. Con menos resistencia en las orillas y menor capacidad en el cauce, el agua tiende a desbordarse con mayor facilidad, afectando a las zonas cercanas y aumentando el riesgo de inundaciones en las zonas circundantes. (Sánchez, 2024)

La acción del ser humano que vive en los ríos provoca su estancamiento, lo que conlleva inundaciones. Estas son estacionales y se aprecia cómo el nivel del río sube lentamente hasta alcanzar la máxima altura de desbordamiento, manteniendo una velocidad constante al inicio y desarrollo del fenómeno, lo que manifiesta su capacidad de devastación. Por otro lado, la

variación en el curso de los ríos debido al crecimiento urbano es otra causa de desbordamientos, ya que la urbanización altera el flujo natural del agua al ocupar zonas inundables y construir infraestructuras cerca del río. La alteración de las dimensiones naturales del canal y la imposición de superficies impermeables, incluido pavimentos y edificios, reducen la capacidad de absorción de agua del paisaje adyacente, lo que acelera el tránsito del agua de lluvia hacia el sistema fluvial. Estos cambios en el medio ambiente aumentan la presión sobre el cauce del río, aumentan el volumen de agua y, en periodos de fuertes precipitaciones, provocan desbordamientos que afectan a las zonas urbanas cercanas.

Consecuencias de los desbordamientos de los ríos

El desbordamiento de los ríos deja como consecuencia: la lamentable pérdida de vidas humanas, hectáreas de cultivos, vida de animales de granja, enfermedades, deslizamientos de tierra en carreteras, paraliza el tránsito de vehículos, pérdidas materiales como viviendas, enseres, carros, negocios que no funcionan porque se paraliza la actividad económica de la zona y se suspenden empleos y actividades estudiantiles. (Sánchez, 2024)

Interrupción de los servicios básicos como el agua potable, alcantarillado, energía eléctrica, telecomunicaciones e internet

Los desbordamientos pueden suspender los servicios esenciales como agua, luz eléctrica, telecomunicaciones e infraestructura de alcantarillado debido a diversos factores. A continuación, se detalla cómo se ve afectado cada sistema:

Sistema de agua potable: la ocurrencia de desbordamientos tiene el potencial de contaminar las fuentes de agua y causar daños a la infraestructura pública, incluidas las tuberías y las instalaciones de tratamiento. Esta interrupción en el suministro de agua potable puede, en

circunstancias graves, dificultar el acceso al agua limpia y segura, necesaria para el consumo humano y las actividades domésticas.

Sistema eléctrico: Las inundaciones pueden dañar la infraestructura eléctrica, incluidas las subestaciones y las líneas de transmisión, y provocar cortes de energía. Además, pueden afectar negativamente a los aparatos eléctricos de los establecimientos residenciales y comerciales, aumentando así la probabilidad de que se produzcan interrupciones prolongadas del suministro eléctrico.

Sistema de alcantarillado: Las inundaciones pueden saturar las alcantarillas, provocando su desbordamiento. Esto genera contaminación del agua, riesgos para la salud pública y problemas en el funcionamiento adecuado de la red de alcantarillado.

Método de evaluación del riesgo de inundación

Modelo hidrológico

La metodología hidrológica representa el enfoque inicial propuesto para la estimación del flujo ecológico. Esta metodología constituye una representación simplificada de un sistema denominado prototipo, expresado en términos físicos o matemáticos, que resume analíticamente la mayoría de las investigaciones académicas relacionadas con la hidrología de los recursos naturales presentes en el medio ambiente. En consecuencia, resulta imperativo comprender el comportamiento de los sistemas de agua para determinar los patrones de precipitación del río Chibunga en el cantón de San Luis. Por lo tanto, se empleará esta metodología, ya que se basa en datos documentados sobre el régimen de flujo natural del río, y el análisis resultante definirá un caudal que garantice un nivel de protección específico. La modelización hidrológica es particularmente ventajosa para los cálculos de caudal debido a su practicidad; esta modelización facilita la adquisición de datos registrados durante un período de dos décadas y, en ausencia de

dichos datos, se puede utilizar la información de la última década. (Álvarez Villanueva & Huamán Vidaurre, 2022).

Clasificación de los modelos hidrológicos:

- De acuerdo con la conceptualización de los procesos fundamentales; los modelos pueden clasificarse en empíricos, conceptuales u orientados a procesos.
- Según la naturaleza de los algoritmos subyacentes; los modelos pueden clasificarse como deterministas o estocásticos.
- Según su representación espacial; los modelos pueden clasificarse como agrupados o distribuidos (Ven Te Chow, 1994).

Longitud del canal

La longitud del canal se define como la distancia del canal principal, desde el punto de salida hasta su cabecera. Por lo general, el canal primario no se extiende hasta el límite de la cuenca; por lo tanto, es esencial trazar una trayectoria desde la cabecera del canal hasta el límite de la cuenca, siguiendo el curso imaginable del flujo de agua precipitada. (Arellano, 2019).

Área de drenaje

El área de drenaje se define como la proyección horizontal de toda la superficie de drenaje del sistema de escorrentía, que se dirige hacia el mismo canal natural, ya sea directa o indirectamente. Corresponde al área delimitada por la cuenca hidrográfica de la región de estudio; este parámetro se expresa convencionalmente en kilómetros cuadrados (km²). Esta medición tiene una importancia significativa, ya que las inexactitudes en su determinación pueden afectar directamente a los resultados; por lo tanto, es crucial realizar mediciones verificadas para garantizar la confianza en este valor.

Se refiere al área plana representada en una proyección horizontal que está delimitada por la divisoria de su cuenca hidrográfica. Cuando las dimensiones de una cuenca son considerablemente grandes, con frecuencia se considera necesario subdividirla en subcuencas o subsistemas según el alcance del estudio. (Cardona, 2016).

Tabla 3

Clasificación del tamaño de la cuenca según su superficie.

Tamaño de la cuenca (km²)	Descripción
< 23	Minúsculo
De 25 a 50	Pequeño
De 250 a 500	Intermedio-pequeño
De 500 a 2.500	Mediano-grande
De 2.500 a 5.000	Grande
> 5,000	Muy grande

Nota. En la tabla se observa la clasificación del tamaño de la cuenca. Fuente: Aranda, 1983.

Curvas IDF

El objetivo de las curvas de intensidad-duración-frecuencia (IDF) es correlacionar la intensidad de las precipitaciones con su duración y la probabilidad o frecuencia de su ocurrencia. Es crucial, más allá de la mera cuantificación de la precipitación registrada por los pluviómetros, tener la capacidad de pronosticar las posibles precipitaciones futuras y determinar la precipitación máxima posible. Comprender los flujos hidrológicos generados por las cuencas durante los eventos meteorológicos extremos es esencial para el diseño de infraestructuras de contención, sistemas de drenaje de carreteras, sistemas de alcantarillado y otras instalaciones urbanas. La aleatoriedad inherente de los eventos de lluvia requiere la aplicación de metodologías probabilísticas para el estudio de su evolución y pronóstico.

Tiempo de concentración

Se considera el tiempo de viaje de una gota de agua de lluvia que atraviesa la superficie desde el lugar más distante de la cuenca hasta el punto de origen es una consideración fundamental. Para este cálculo se pueden emplear varias fórmulas, que dependen de parámetros específicos pertinentes a la cuenca. Al estimar el tiempo de concentración, es aconsejable utilizar varias ecuaciones empíricas que se encuentran en la literatura científica, con un mínimo de cinco estimaciones distintas que se consideren apropiadas. (Ven Te Chow, 1994).

Ramser y Kirpich lo describen como el momento en que se alcanza el caudal máximo, mientras que Viessman (1977) lo describe como el tiempo transcurrido desde el cese de la precipitación efectiva hasta el final de la escorrentía superficial directa. Este último valor representa el punto de inflexión en el hidrograma que sigue al flujo máximo. Témez, (1978) define el tiempo de concentración como el intervalo entre el final del hidrograma de la escorrentía superficial directa y el caso de la precipitación efectiva.

En la literatura se han documentado numerosas expresiones para calcular el tiempo de concentración de las cuencas hidrográficas, formuladas por varios autores en diferentes regiones del mundo. A continuación, se presenta una síntesis de las ecuaciones utilizadas en este estudio, extraídas de diversas fuentes académicas. (Ven Te Chow, 1994); Hidrología de Antioquia, 1997; Linsley et al., 2002, Viessman y Lewis, 2003, Vélez y Botero, 2011):

$$T_c = 0,066 \cdot \left(\frac{L}{j^{0.55}} \right)^{0.77}$$

Modelo Hidráulico

El estudio hidráulico abarca varios componentes fundamentales, incluida la geometría del canal y las condiciones de flujo definidas tanto por el flujo como por las condiciones límite. La interacción entre la geometría y las condiciones produce resultados distintos, que pueden analizarse de forma aislada o en conjunto. (Soto Carrasco, 2017).

El modelo hidráulico sirve como un instrumento vital para predecir el comportamiento de una red de distribución de agua y para articular matemáticamente el flujo dentro de los canales abiertos de los ríos, lagos y regiones costeras. Además, se emplea para caracterizar la dinámica del flujo en las llanuras aluviales. Este modelo es importante porque facilita la comprensión de los patrones de flujo dentro de los sistemas acuáticos, lo que permite observar los niveles y velocidades de los ríos, lo que a su vez ayuda a evaluar los posibles daños. (Álvarez Villanueva & Huamán Vidaurre, 2022).

Rugosidad Manning

La n de Manning presenta una variabilidad considerable, influenciada por múltiples factores: (Chow1959): la rugosidad del perímetro húmedo del canal, la presencia de vegetación, las irregularidades, la alineación, la deposición de sedimentos las obstrucciones, el nivel del agua, las condiciones de flujo y las variaciones estacionales.

El valor n debe interpretarse como un coeficiente de resistencia dinámica asociado al canal. En ausencia de flujo, no habrá resistencia; sin embargo, a medida que el flujo se intensifique y los niveles del agua aumenten, la manifestación de los valores de resistencia se producirá en cantidades variables.

Esta noción también debe ser intuitiva, ya que es fácil discernir cuándo una superficie es gruesa, extremadamente gruesa o lisa. En el ámbito de la ingeniería de materiales, el campo dedicado a examinar la rugosidad de la superficie se conoce como topometría y, desde un punto de vista técnico, la rugosidad se describe como «el conjunto de rasgos geométricos naturales o artificiales que definen una superficie». (Hinojosa, 2011).

Calado

El valor del calado crítico es independiente de la pendiente del canal o del número de Manning, solo depende del caudal circulante y del ancho del canal. Esto implica que en un canal donde la sección transversal se mantiene constante, el calado crítico no variaría con las pendientes (García, 2022).

Velocidad

La velocidad se cuantifica como la cantidad de metros por segundo en los que fluye el agua en un río. (Rodríguez et al., 2021).

Hietograma

Un hietograma es un gráfico de barras que ilustra el patrón de intensidad de las lluvias a lo largo del tiempo. Este gráfico captura las fluctuaciones en la intensidad de las precipitaciones, medidas en milímetros por hora (mm/h), a lo largo de la progresión de una tormenta, lo que permite identificar fácilmente el momento en que la lluvia alcanzó su intensidad máxima y la medición correspondiente. (Celeo, 2018).

Hidrograma

El hidrograma es una representación gráfica que muestra la variación del caudal a lo largo del tiempo, siendo una herramienta fundamental en el estudio hidrológico.

Snyder (1938) llevó a cabo investigaciones en las cuencas de los Montes Apalaches, en Estados Unidos, cubriendo superficies que van desde los 30 hasta 30,000 km². A través de su investigación, estableció relaciones sintéticas para un hidrograma unitario estándar, las cuales permiten determinar las características de un hidrograma unitario requerido.

El período de retorno

El período de retorno se define como la duración promedio durante la cual se supera el caudal máximo de una inundación cada pocos años. El valor elegido para el período de retorno al

diseñar estructuras hidráulicas determinará el nivel de seguridad para la protección de estas construcciones planificadas. (Stappung, 1999).

El período de retorno, Tr , de un evento de una magnitud determinada se define como el intervalo promedio entre la ocurrencia de ese evento y su posterior ocurrencia con la misma magnitud. También se puede caracterizar como el tiempo que tarda un evento en igualarse o superarse al menos una vez en promedio. Si P representa la probabilidad de que ocurra, se puede demostrar matemáticamente que:

$$Tr = \frac{1}{p}$$

2.10. Base legal

Dentro del contexto legal pertinente a esta investigación, la Constitución de la República del Ecuador sirve como el principal documento reglamentario. Cabe destacar que, en su novena sección, titulada Gestión de riesgos, el artículo 389 afirma las responsabilidades de la unidad de gestión de riesgos, junto con las obligaciones del Estado ecuatoriano frente a los desastres naturales o inducidos por el hombre y las diversas funciones que esta entidad desempeña para el bienestar del público en general.

Constitución de la República del Ecuador

Que, el artículo 389 de la Constitución de la República del Ecuador afirma: El Estado protegerá a las personas, las comunidades y la naturaleza de los impactos adversos de los desastres de origen natural o antropogénico mediante la prevención de riesgos, la mitigación de los desastres, la recuperación y la mejora de las condiciones sociales, económicas y ambientales, con el objetivo de reducir la vulnerabilidad. El sistema nacional descentralizado de gestión de riesgos está compuesto por las unidades de gestión de

riesgos de todas las entidades públicas y privadas a nivel local, regional y nacional.

(Constitución de la República del Ecuador, 2008).

El artículo 390 de la CRE se refiere a la gestión y la logística bajo las cuales se llevarán a cabo la unidad de gestión de riesgos y sus operaciones, y la entidad correspondiente se designará de acuerdo con el área geográfica afectada por un desastre.

Que, el Art. 390.- Los riesgos se administrarán de acuerdo con el principio de descentralización subsidiaria, que requiere la responsabilidad directa de las instituciones que operan dentro de sus jurisdicciones geográficas designadas. En los casos en que sus capacidades de gestión de riesgos se consideren inadecuadas, las organizaciones que posean un alcance territorial más amplio y recursos técnicos y financieros superiores deberán brindar el apoyo necesario, manteniendo sus responsabilidades autoritarias dentro del territorio, sin eximir las de sus obligaciones. (Constitución de la República del Ecuador, 2008).

Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres 2015-2030

El Marco de Sendai sirve como instrumento posterior al Marco de Acción de Hyogo para 2005-2015, que delinea las directrices para la prevención, la preparación y la mitigación de los desastres naturales.

El Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres 2015-2030 articula varios elementos fundamentales para la gestión del riesgo de desastres. En particular, subraya la importancia de una comprensión integral de los riesgos, teniendo en cuenta la exposición, la vulnerabilidad y las características distintivas de los peligros. Además, hace hincapié en la necesidad de mejorar la gobernanza en la gestión de riesgos, lo que abarca el establecimiento de plataformas nacionales y la promoción de la rendición de cuentas en este ámbito. Además, aboga por que los preparativos estén orientados a una recuperación que facilite una mejor

reconstrucción y reconoce el papel fundamental de las partes interesadas en estos esfuerzos. El Marco de Sendai acentúa la movilización de inversiones responsables destinadas a evitar la aparición de nuevos riesgos, junto con la resiliencia de las infraestructuras esenciales, como las pertinentes a la salud, el patrimonio cultural y los lugares de trabajo. Propone la mejora de la cooperación internacional y la formación de alianzas globales, así como la integración de los criterios de riesgo en las políticas de los donantes y los programas de las instituciones financieras internacionales, incluidos los préstamos y la asistencia financiera. (Naciones Unidas, 2015).

Ley Orgánica para la Gestión Integral del Riesgo de Desastres

El objetivo de esta legislación es establecer un marco regulatorio para la planificación, organización y coordinación de las políticas y los servicios relacionados con la gestión de riesgos.

Que, el Art. 1.-Objeto.- El objetivo de esta Ley es regular los procedimientos para la planificación, organización y articulación de políticas y servicios relacionados con el conocimiento, la previsión, la prevención, la mitigación, la respuesta y la recuperación ante emergencias, desastres, catástrofes, enfermedades endémicas (sic) y pandemias; y regular el funcionamiento del Sistema Nacional Descentralizado para la Gestión Integral del Riesgo de Desastres, garantizando la seguridad y protección de las personas, las comunidades y la naturaleza contra las amenazas de origen tanto natural como antropogénico, con la objetivo de disminuir el riesgo de desastres. (LOGIRD, 2024).

Reglamento general a la Ley Orgánica para la Gestión Integral del Riesgo de Desastres

Que, él Art. 1.- Objeto. - Este Reglamento delinea las obligaciones, funciones y poderes de las partes interesadas involucradas en el Sistema Nacional Descentralizado para la Gestión Integral del Riesgo de Desastres, al tiempo que establece los procesos, procedimientos,

mecanismos, criterios y parámetros necesarios para la implementación correcta y eficiente de las estipulaciones consagradas en la Ley Orgánica para la Gestión Integral del Riesgo de Desastres. El objetivo es salvaguardar y garantizar la protección de las personas, los medios de subsistencia, la infraestructura, los servicios, las comunidades y el medio ambiente, todo dentro del marco de las garantías de derechos prescritas por la Constitución. (Decreto Ejecutivo No 394, 2024).

Código Orgánico del Sistema Territorial, Autónomo y Descentralizado (COOTAD)

Por otro lado, el Código Orgánico de Organización Territorial, Autonomía y Descentralización (COOTAD) en su artículo 140, delimita las responsabilidades de la unidad de gestión de riesgos en el contexto de un desastre natural, especificando las acciones que deben emprenderse, siempre que se ajusten estrictamente a la Constitución y las leyes vigentes.

Que, el art. 140.- Ejercicio de las facultades de gestión del riesgo.- La gestión del riesgo, que abarca las medidas preventivas, las acciones de respuesta, las estrategias de mitigación, los esfuerzos de reconstrucción y las iniciativas de transferencia de riesgos para hacer frente a todas las amenazas de origen natural y antropogénico que afectan al territorio, será administrada de manera simultánea y coordinada por todos los niveles gubernamentales, de conformidad con las políticas y los marcos promulgados por la autoridad nacional designada, de conformidad con los principios de la Constitución y las disposiciones legales pertinentes. (COOTAD, 2010).

Ley orgánica de ordenamiento territorial, uso y gestión de suelo

Qué Artículo 11. – Apartado 3. Los gobiernos autónomos municipales y metropolitanos descentralizados, de conformidad con lo estipulado en esta legislación, clasificarán todas las tierras cantonales o distritales en clasificaciones urbanas y rurales y delinearán sus

respectivos protocolos de uso y gestión. Además, evaluarán los riesgos naturales y antropogénicos a escala cantonal o distrital, abogarán por la calidad ambiental, garantizarán la seguridad, fomentarán la cohesión social y mejorarán la accesibilidad en los lugares urbanos y rurales, al tiempo que instituirán salvaguardias adecuadas para la movilidad y el acceso a los servicios esenciales y los espacios públicos para toda la población. (LOOTUGS, 2016).

Qué Art. 19.- Suelo rural. - Es el suelo rural se define como la tierra utilizada predominantemente para actividades agrícolas, extractivas o forestales, o la tierra que, debido a sus características biofísicas o geográficas distintivas, necesita protección o preservación para su posible utilización urbana. (LOOTUGS, 2016).

Ley Orgánica de Defensa Nacional

De conformidad con la Ley Orgánica de Defensa Nacional, se establece que, cuando ocurre una catástrofe natural y se proclama el estado de emergencia, el jefe del mando conjunto de las fuerzas armadas está autorizado a supervisar las operaciones de acuerdo con los reglamentos y planes establecidos, garantizando así que el aparato coercitivo del país ayude en el contexto de un desastre natural.

Que, Art. 5.- En circunstancias de graves trastornos internos o desastres naturales, después de la declaración del estado de emergencia, el presidente de la República, a través del jefe del Comando Conjunto de las Fuerzas Armadas, puede asignar la responsabilidad de llevar a cabo las operaciones militares a los comandantes de las Fuerzas de Tareas, quienes tendrán la autoridad y los poderes de mando, según lo estipulado en los reglamentos y planes pertinentes.

Ordenanza que aprueba la actualización del plan de desarrollo y ordenamiento territorial, y actualización del plan de ordenamiento territorial y ordenamiento territorial del cantón Riobamba.

SECCIÓN TERCERA EFECTO

QUÉ Artículo (...). Regiones afectadas por cuerpos de agua, ríos, lagunas, embalses y cuencas hidrográficas. Estas regiones abarcan áreas en las que el propietario de la tierra no puede construir estructuras debido a la presencia de ríos, arroyos, manantiales y canales de riesgo, entre otros factores. Las áreas afectadas están delineadas con sus dimensiones y especificaciones técnicas adicionales en la tabla adjunta. (Ordenanza No. 006-2021, 2021).

2.11. Conceptual

Ancho de la cuenca

Se define como el cociente derivado del área de la cuenca dividida por la longitud de la cuenca, medida en kilómetros. Esta métrica puede estar representada por varios símbolos; en este caso, el autor la designa con la letra W. Su fórmula es $W = A/L$ (Montserrat, 1985).

Área de la cuenca

La extensión está limitada por la proyección horizontal de la cuenca hidrográfica. Esta medición se obtiene mediante sistemas de información geográfica (SIG), planimetría o métodos de cuadrícula. Se expresa en kilómetros cuadrados para áreas más grandes y en hectáreas para áreas más pequeñas. Flujo: cantidad de agua que atraviesa una superficie durante un período específico. El caudal se calcula con la siguiente fórmula: $Q = V/t$, donde Q representa el flujo, V indica el volumen y t significa el tiempo. El volumen normalmente se cuantifica en litros, mientras que el tiempo se registra en segundos. (Valdivielso, 2014).

Coefficiente de rugosidad

Este coeficiente sirve como un índice que cuantifica la resistencia al flujo dentro de un canal específico. El objetivo principal de este coeficiente es determinar el grado o porcentaje de resistencia que encuentra un canal o tubería en el transporte de cualquier fluido. (Rodríguez et al., 2021).

Desastre

Un desastre se caracteriza por una interrupción considerable de las operaciones de una comunidad, provocada por la interacción de eventos peligrosos con circunstancias de exposición y vulnerabilidad, que puede provocar daños humanos, materiales, económicos o ambientales.

Estos acontecimientos requieren la intervención del Estado central para garantizar una respuesta adecuada y reducir sus repercusiones. (SGR, 2018)

Emergencia

Una emergencia constituye un suceso que representa una amenaza para las personas, la propiedad o la prestación ininterrumpida de servicios dentro de una comunidad, por lo que es necesaria una intervención rápida y eficaz de las autoridades locales. (SGR, 2018)

Evacuación

La evacuación se refiere a un escenario que pone en peligro la seguridad de las personas, los bienes materiales o la continuidad de los servicios esenciales dentro de una comunidad, por lo que exige una respuesta rápida y eficaz de las autoridades locales. (SGR, 2018).

Evento o suceso peligroso

La evacuación se refiere a un escenario que pone en peligro la seguridad de las personas, los bienes materiales o la continuidad de los servicios esenciales dentro de una comunidad, por lo que exige una respuesta rápida y eficaz de las autoridades locales. (SGR, 2018).

Exposición

La exposición denota la condición de las personas, la infraestructura, la vivienda, las capacidades productivas y otros activos humanos y materiales situados en áreas vulnerables a las amenazas. Esta circunstancia aclara el grado de exposición y la susceptibilidad de estos elementos a posibles eventos adversos, que pueden influir significativamente en la gravedad de los daños durante un desastre. (SGR, 2018).

Gestión del riesgo de desastres

Esto implica la promulgación de políticas y metodologías estratégicas destinadas a mitigar los riesgos, esforzándose por evitar la aparición de nuevos riesgos, disminuir las

amenazas existentes y gestionar los riesgos residuales. Estas acciones son fundamentales para reforzar la resiliencia de las comunidades y aliviar las pérdidas sufridas como resultado de los desastres. (SGR, 2018).

IBER

El IBER es un modelo computacional bidimensional diseñado como software de código abierto, que incorpora un módulo hidrodinámico para la simulación de caudales fluviales, canales y vías fluviales naturales, lo que facilita la evaluación de las inundaciones y la delimitación de las áreas inundadas (Feito, 2021).

Intensidad de las precipitaciones

La intensidad de la lluvia sirve como una métrica que correlaciona el volumen de precipitación con las condiciones meteorológicas. Su importancia se ve subrayada no solo por su impacto en los entornos geográficos, sino también como indicador pronóstico de fenómenos meteorológicos extremos, teniendo en cuenta que los patrones de lluvias intensas han sufrido alteraciones sustanciales en los últimos años. (Blanco, 2020).

Longitud del canal

Por lo general, los caudales promedio, máximo y mínimo muestran un aumento en la correlación con la longitud de los canales. Como lo explica el autor Londoño, (2001), este fenómeno puede atribuirse a la relación inherente entre la longitud de los canales y las áreas de cuenca correspondientes, por lo que el área se expande en conjunto con la longitud del canal y la superficie de captación.

Medidas estructurales

Este término abarca cualquier construcción tangible o la aplicación de metodologías de ingeniería destinadas a mitigar u obviar los impactos adversos de las amenazas, así como a lograr

la resiliencia y adaptabilidad de las estructuras o sistemas en respuesta a dichos riesgos. (SGR, 2018).

Medidas no estructurales

Esto se refiere a las iniciativas que no se basan en construcciones físicas, sino más bien en conocimientos, prácticas o marcos regulatorios destinados a disminuir los riesgos de desastres y sus ramificaciones. Esto se logra mediante el establecimiento de políticas y marcos legales, así como mediante programas diseñados para mejorar la conciencia, la capacitación y la educación dentro de la comunidad. (SGR, 2018).

Mitigación

Mitigar implica reducir las consecuencias adversas de un incidente peligroso. (SGR, 2018).

Microcuenca hidrográfica

Una microcuenca hidrográfica se refiere al área de aguas superficiales que desembocan en una red hidrográfica natural con uno o varios canales naturales, que pueden presentar un flujo continuo o intermitente y converger en un curso de agua más grande que, posteriormente, puede desembocar en un río principal, un embalse natural, una presa o directamente en el océano; esta microcuenca está demarcada por la divisoria de cuencas hidrográficas. En términos de escala, se puede definir como una cuenca con un área de drenaje de menos de 500 km². (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2021).

Modelo Hidráulico

Los modelos hidráulicos incorporan las características del sistema, las métricas de la demanda de agua y los protocolos operativos, entre otras variables; utilizando esta información, el software calcula los flujos, las presiones, los gradientes hidráulicos y los parámetros de calidad

del agua, entre otros resultados. Estos modelos se emplean para diversos fines, incluido el dimensionamiento de componentes como bombas, tuberías o tanques de almacenamiento, la calibración y la detección de fugas, la evaluación de la calidad del agua, el análisis del costo de la energía y la realización de simulaciones en diferentes intervalos de tiempo de la red. (González & Bejarano, 2019).

Precipitación

La precipitación tiene una importancia significativa para el pluviómetro, y los pluviómetros se emplean para determinar las características de las precipitaciones caracterizadas por duraciones cortas e intensidades elevadas. (IGEAR, 2017).

Preparación para desastres

Esto abarca los conocimientos y las competencias adquiridos por las entidades gubernamentales, las organizaciones de respuesta y recuperación, las comunidades y las personas para anticipar, abordar y superar de manera competente las repercusiones de los desastres potenciales, inminentes o en curso. (SGR, 2018).

Prevención de riesgos

Esto se refiere al conjunto de acciones e iniciativas estratégicas formuladas para evitar tanto los riesgos de desastres existentes como los que puedan surgir en el futuro. (SGR, 2018).

Periodo de retorno

El período de devolución sirve como métrica para determinar la frecuencia con la que ocurre un evento extremo. Estos datos adquieren confiabilidad cuando se establecen mediante análisis estadísticos. (INHAMI, 2019).

Riesgo natural

Una amenaza natural abarca todos los fenómenos atmosféricos, hidrológicos y geológicos (en particular los sísmicos y volcánicos), así como los incendios que, debido a su ubicación geográfica, intensidad y frecuencia, tienen el potencial de afectar negativamente a los seres humanos, sus estructuras y sus actividades. (OAS, 2021).

Reconstrucción

La rehabilitación a medio y largo plazo requiere la reconstrucción de la infraestructura crítica de manera sostenible y, al mismo tiempo, garantizar la resiliencia frente a futuros desastres. Este proceso abarca la restauración de los servicios esenciales, las viviendas, las instalaciones y los medios de vida, vitales para el funcionamiento eficaz de una comunidad afectada negativamente por los desastres. El esfuerzo de reconstrucción se guía por los principios del desarrollo sostenible y el espíritu de «reconstruir mejor», con el objetivo de disminuir la vulnerabilidad y evitar la recurrencia de desastres similares. Esta empresa aspira a mejorar las capacidades locales mediante la integración de metodologías que mitiguen los riesgos y fomenten una resiliencia duradera. (SGR, 2018).

Recuperación

El esfuerzo por restaurar o mejorar los medios de subsistencia, la salud y la propiedad, además de los sistemas y actividades económicos, sociales, culturales y ambientales de una comunidad afectada por un desastre, debe alinearse con los principios del desarrollo sostenible y la noción de «una mejor reconstrucción». El objetivo principal es evitar o disminuir el riesgo de desastres futuros, facilitando así una recuperación que trascienda la mera normalización y, al mismo tiempo, fortalezca la resiliencia frente a posibles amenazas futuras. (SGR, 2018).

Reducción del Riesgo de Desastres

El marco conceptual que comprende las estrategias destinadas a disminuir las vulnerabilidades y los riesgos dentro de una sociedad busca prevenir (evitar) o mitigar (limitar) los efectos adversos de las amenazas. Estas iniciativas estratégicas se sitúan en el contexto del desarrollo sostenible, que incorpora una planificación integral que no solo aborda los problemas inmediatos sino también los desafíos a largo plazo a los que se enfrentan la comunidad y el medio ambiente. (SGR, 2018).

Rehabilitación

La restauración de los servicios y la infraestructura esenciales es imprescindible para restablecer la funcionalidad de los elementos fundamentales necesarios para que una comunidad o sociedad funcione después de un desastre. Esto abarca el restablecimiento de los sistemas de agua potable, electricidad, comunicación, transporte y salud, todos los cuales son fundamentales para mantener la estabilidad y el bienestar de la población afectada. (SGR, 2018).

Respuesta

Se toman medidas antes, durante o inmediatamente después de un desastre para salvar vidas, mitigar los efectos en la salud, garantizar la seguridad pública y satisfacer las necesidades básicas de la población afectada. (SGR, 2018).

Resiliencia

La capacidad de un sistema, una comunidad o una sociedad expuestos a una amenaza para resistir, absorber, adaptarse, transformarse y recuperarse de sus efectos de manera oportuna y eficiente, incluso mediante la preservación y restauración de sus estructuras y funciones esenciales. (SGR, 2018).

Riesgo de desastres

Se refiere a la posible pérdida de vidas o daños que pueden manifestarse en una comunidad o sociedad durante un período de tiempo específico, influenciados por tres determinantes principales: la amenaza existente, la susceptibilidad de la población y la capacidad de responder eficazmente a un evento de este tipo. (SGR, 2018).

Servicios Esenciales

Se trata de servicios que requieren protección o restauración con carácter prioritario debido a su importancia fundamental para que el Estado pueda responder adecuadamente a las emergencias. Estos servicios abarcan la gestión de riesgos, la seguridad interna y externa, la atención médica, el registro civil, los procesos de identificación, las telecomunicaciones y los servicios financieros proporcionados por el Ministerio de Finanzas. Su preservación es esencial para garantizar que las operaciones de respuesta y recuperación se ejecuten de manera sistemática y eficiente, especialmente en tiempos de crisis. (SGR, 2018).

SIG

El Sistema de Información Geográfica (SIG) constituye un marco integral para la acumulación, la gestión y el análisis de datos. Basado en la ciencia geográfica, el SIG sintetiza diversas formas de datos, analiza ubicaciones espaciales y organiza capas de información para una visualización eficaz utilizando mapas y escenas tridimensionales. Gracias a esta capacidad distintiva, los SIG revelan información profunda oculta en los datos, como los patrones, las interrelaciones y los contextos situacionales, lo que facilita a los usuarios una mejor toma de decisiones. (Aeroterra, 1969).

Susceptibilidad

Este término denota la capacidad limitada de una persona, objeto o sistema para resistir a una entidad amenazante y soportar los impactos consiguientes derivados de un evento peligroso. (SGR, 2018).

Tiempo de concentración

El tiempo de concentración representa un concepto abstracto, pero significa el tiempo necesario para que una gota de agua atraviese el lugar más distante dentro de una cuenca hidrográfica. Una definición más precisa caracteriza el tiempo de concentración como el período uniforme durante el cual las precipitaciones contribuyen de manera uniforme al drenaje de la cuenca. (INHAMI, 2019).

Transferencia de riesgos

Este proceso implica la transferencia formal o informal de las repercusiones financieras asociadas a un riesgo específico de una entidad a otra. En consecuencia, un hogar, una comunidad, una empresa o una organización gubernamental pueden recibir recursos de otra parte después de un desastre, a cambio de beneficios sociales o económicos. (SGR, 2018).

Vulnerabilidad

Este concepto abarca las condiciones determinadas por factores o procesos físicos, sociales, económicos y ambientales que aumentan la susceptibilidad de un individuo, una comunidad, una propiedad o un sistema a los efectos perjudiciales de los peligros (SGR, 2018).

CAPITULO III. METODOLOGÍA

3.1. Tipo de investigación

El presente trabajo se basa en una investigación descriptiva, ya que se relacionarán una serie de definiciones y se indagará sobre los eventos previos de desbordamiento del río Chibunga, así como estudios realizados en la parroquia San Luis, los cuales se incluirán en el marco teórico, estableciendo y relacionando variables entre sí. Esta investigación académica aspira a lograr una comprensión completa y precisa de las facetas pertinentes del fenómeno que se está analizando.

Asimismo, la investigación es explicativa, puesto que busca comprender las causas y procesos que generan el desbordamiento, como los factores condicionantes y desencadenantes, además de los daños causados por este peligroso evento.

Por otro lado, es de tipo correlacional ya que busca establecer la relación entre dos o más variables para entender cómo se afectan mutuamente, sin intervenir ni manipular dichas variables. En este caso, se analiza la relación entre los factores condicionantes y detonantes que contribuyen al desbordamiento del río Chibunga y las afectaciones en elementos esenciales como el sistema de agua potable, alcantarillado y energía eléctrica en la parroquia San Luis del cantón Riobamba. No se busca manipular ninguna de estas variables, sino más bien observar cómo interactúan para proporcionar un panorama más claro de los riesgos y efectos que se derivan de estos fenómenos naturales.

3.2. Enfoque de investigación

El presente trabajo de investigación se orienta hacia una metodología mixta, que engloba los dos enfoques de investigación, tanto cualitativos como cuantitativos.

La metodología cualitativa se refiere a la investigación de datos textuales derivados de diversas fuentes bibliográficas, que incluyen, entre otras: artículos científicos, revistas académicas, tesis doctorales y libros, que se refieren a estudios sobre la modelización hidráulica en sistemas fluviales y a las intervenciones estructurales y no estructurales que puedan identificarse.

En la metodología cuantitativa, se hace hincapié en la medición y validación de datos numéricos, en los caudales máximos se calcularán para los períodos de retorno de 10, 50, 100 y 500 años asociados con la cuenca hidrográfica del río Chibunga. Además, utilizando el software Iber, se identificarán las velocidades críticas y los índices de conexión y, posteriormente, se multiplicarán para delimitar las áreas propensas a inundaciones en la cabecera parroquial de San Luis de Riobamba.

3.3. Métodos de investigación

Los tipos de estudio a adoptar son los siguientes:

Analítica: La investigación analítica se dedica a examinar y la comparación de varias variables o grupos para investigar las relaciones, los patrones o las asociaciones. Esto puede requerir la recopilación de datos de diversas fuentes y la aplicación de metodologías estadísticas para realizar análisis comparativos y explorar la causalidad o la correlación.

Exploratoria: Se lleva a cabo para explorar eventos, procesos o fenómenos pasados a fin de comprender su evolución histórica y su contexto. Este tipo de investigación puede implicar la revisión de fuentes primarias y secundarias, así como el análisis de documentos históricos, testimonios o narraciones con el fin de reconstruir e interpretar acontecimientos pasados.

Documental: Esta investigación se basó en artículos, revisión de fuentes bibliográficas oficiales de instituciones que están dentro de su competencia.

3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Para realizar la investigación, se emplearon diversos métodos de recolección de información que permitieron tener los insumos necesarios para el cumplimiento de cada objetivo propuesto.

3.4.1. Técnicas e instrumentos de recolección de datos utilizados para el objetivo 1

Para la identificación de los factores que contribuyen al desbordamiento del río Chibunga en la parroquia San Luis del cantón Riobamba, se emplearon diversas técnicas e instrumentos de recolección de datos que permitieron un análisis integral de la problemática.

Se utilizaron Modelos Digitales de Elevación (DEM) ALOS PALSAR con una resolución espacial de 12 metros para llevar a cabo un análisis hidrográfico detallado. Estos DEM, proporcionados por el USGS, sirvieron como base para delimitar las cuencas hidrográficas y la caracterización del orden de drenaje de área de estudio.

Para identificar los factores que desencadenan la inundación en la zona de estudio para los diferentes periodos de retorno, se recurrió a la Unidad de Gestión de Riesgos (UGR) de cantón Riobamba que proporcionó datos (shapefiles) sobre geomorfología, tipo de suelo, pendiente, uso del suelo y la precipitación. Esta información fue utilizada para determinar los factores que contribuyen al desbordamiento de río.

Con el objetivo de garantizar la calidad y fiabilidad de los datos geospaciales utilizados en este estudio, se llevaron a cabo visitas de campo para validar la información proporcionada por la UGR de cantón Riobamba respecto a los archivos shapefile. Estas visitas permitieron contrastar los datos teóricos con la realidad del terreno, identificando posibles discrepancias, omisiones o actualizaciones necesarias. La verificación in situ fue fundamental para asegurar que los análisis posteriores se basaran en información precisa y actualizada,

Para determinar el caudal del río Chibunga, se empleó el método del flotador. Este consistió en seleccionar un tramo del cauce con características hidrométricas uniformes, liberar un flotador de fácil seguimiento y medir con precisión el tiempo que tardó en recorrer una distancia previamente establecida

Para la obtención de datos de precipitación se recurrió a la plataforma POWER NASA, reconocido por su confiabilidad y acceso a datos climáticos a nivel global, fue seleccionada como fuente principal para la obtención de datos de precipitación. Se descargaron los conjuntos de datos pertinentes, los cuales proporcionaron información detallada sobre la distribución espacial y temporal de la precipitación en el área de estudio.

3.4.1. Técnicas e instrumentos de recolección de datos utilizados para el objetivo 2

Se realizó un vuelo de levantamiento de fotogrametría con un dron DJI Air 2S para obtener ortofotos y un Modelos Digitales de Elevación (DEM) de alta resolución. Estos productos georreferenciados utilizados como entrada en el programa Iber para simular escenarios de inundación y determinar con precisión las áreas potencialmente afectadas en diferentes periodos de retorno.

La Unidad de Gestión de Riesgo (URG) del cantón Riobamba proporciono shapefiles detallados que representan los sistemas de agua potable, alcantarillado y electricidad de la región. Estos archivos geospaciales con esenciales para determinar las afectaciones por el desbordamiento del rio para diferentes los periodos de retorno.

3.4.1. Técnicas e instrumentos de recolección de datos utilizados para el objetivo 3

A fin de obtener documentos como el Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial (PDOT) de la parroquia San Luis y la ordenanza del Cantón Riobamba, se siguió un

procedimiento específico. En una primera instancia, se consultó el sitio web oficial del GAD Municipal de Riobamba y GAD parroquia de San Luis, donde se esperaba encontrar dicha información de acceso público. Posteriormente, se realizaron gestiones presenciales en las oficinas municipales correspondientes para complementar la información obtenida

3.5. Técnicas de Análisis y Procesamiento de la Información

3.5.1. Técnicas de análisis y procesamiento de la información utilizadas para el Objetivo 1

Para analizar la amenaza de desbordamiento del río Chibunga se utilizaron diversas técnicas de análisis y procesamiento de información que permitieron evaluar los factores condicionantes y detonantes, así como la simulación hidrológica y geomorfológica, a continuación, se detalla cada una.

Uso del Software ArcGIS

Para cumplir con este objetivo, se inició con la delimitación de la cuenca aplicando el método de Pfafetter, empleando el software ArcGIS a partir de un Modelo Digital de Elevación (DEM) con resolución de 12 metros. Una vez delimitada la microcuenca, se identificó el sistema de drenaje, lo que facilitó la clasificación de los órdenes de drenaje (orden 1, orden 2, orden 3 y orden 4) aplicando el método de Strahler.

Posteriormente identificación de los parámetros físicos de la microcuenca, así como de los factores condicionantes y detonantes que contribuyen a la ocurrencia del evento estudiado.

El software ArcGIS permitió elaborar mapas temáticos que representaron los factores condicionantes como la pendiente, geomorfología, uso del suelo y tipo de suelo, y los factores detonantes como la precipitación, lo que facilitó una comprensión más detallada de las dinámicas geomorfológicas y climáticas de la región, esto se generó a partir de los shp proporcionados por la unidad de gestión de riesgos de la parroquia San Luis.

Software AutoCAD

Mediante el software AutoCAD, se digitalizó el perfil del río Chibunga utilizando los datos obtenidos en la visita de campo. Este proceso permitió obtener una representación gráfica detallada del cauce.

Excel

Parámetros geomorfológicos

Para determinar diversos parámetros geomorfológicos como el área, perímetro, longitud, ancho y otros, lo que permitió construir la curva hipsométrica para caracterizar la forma y el estado de la microcuenca

Determinación de datos dudosos

Se procedió a realizar un análisis de contraste o prueba para identificar posibles datos dudosos. Este proceso fue fundamental para garantizar la calidad y confiabilidad de los registros, permitiendo detectar valores anómalos que pudieran afectar el análisis y las conclusiones del estudio, la identificación de datos dudosos incluyó la revisión de inconsistencias, como valores que se desviaban significativamente de los rangos esperados según las condiciones climáticas y las tendencias históricas de la región.

Para obtener precipitación máxima en 24 horas con Método Gumbel

Este método se basa en la distribución de Gumbel, que describe las variables extremas en un periodo de tiempo específico, como la precipitación máxima que podría ocurrir en un intervalo de 24 horas. Este método Gumbel facilita la comparación de resultados para diferentes zonas geográficas o diferentes periodos temporales, proporcionando información valiosa para la gestión climática y de recursos hídricos a largo plazo.

Obtención Curvas Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF)

Esta herramienta fue fundamental para el análisis hidrológico, utilizadas para describir la relación entre la intensidad de la precipitación, su duración y la frecuencia con la que se espera que ocurran en los periodos de retorno de 10, 50, 100 y 500 años en San Luis de Riobamba, estas curvas proporcionan información clave sobre los fenómenos de lluvia extrema y su comportamiento a lo largo del tiempo.

Determinación de Tiempos de Concentración

El tiempo de concentración se define como el tiempo que tarda una gota de agua en recorrer el trayecto más largo desde el punto más alejado de la cuenca hasta el punto de salida, normalmente un punto de monitoreo o un cauce principal. Este parámetro fue fundamental para estimar el momento en que se alcanzará el pico de escorrentía en la cuenca, lo que influye en el diseño de infraestructuras de drenaje y la gestión de riesgos de inundación.

Hietograma

Hietograma ha sido fundamental para comprender la variabilidad en las precipitaciones del río Chibunga. Este estudio se centró en evaluar los patrones de lluvia para diferentes periodos de retorno, específicamente de 10, 50, 100 y 500 años.

Los hietogramas permitieron visualizar el comportamiento de la precipitación en el río Chibunga en un periodo de retorno 10, 50, 100 y 500 años, ambas representaciones gráficas fueron fundamentales para el análisis de inundaciones, ya que proporcionan una comprensión detallada del temporal y el flujo de agua en respuesta a un fenómeno meteorológico.

Software Hec – HMS

Mediante el software HEC-HMS, se generó el hidrograma unitario utilizando el método de Snyder. Se representa la variación del caudal en función del tiempo en un punto específico de

la cuenca hidrográfica del río Chibunga y se empleó posteriormente para realizar simulaciones en Iber.

3.5.2. Técnicas de análisis y procesamiento de la información utilizadas para el Objetivo 2

Para determinar las afectaciones por el desbordamiento se requirió el uso de diversas herramientas especializadas en fotogrametría, modelamiento hidráulico y sistemas de información geográfica (SIG). Estas técnicas permitieron obtener una representación precisa de la cuenca y evaluar los posibles impactos de eventos extremos en la parroquia San Luis del cantón Riobamba.

Agisoft Metashape

Se utilizó Agisoft Metashape, un software especializado en el procesamiento fotogramétrico de imágenes digitales capturadas con drones. Este programa permite generar datos espaciales en 3D, que son compatibles con sistemas de información geográfica (SIG), y facilita la creación de ortofotos y modelos de elevación digital (DEM).

RAS mapper

El software HEC-RAS incluye un módulo denominado RAS Mapper en la cual se llevó a cabo una limpieza del DEM, eliminando elementos no deseados como puentes, arbustos y otras obstrucciones presentes en la ribera del río. Este proceso es crucial para obtener un modelo hidráulico que represente fielmente las condiciones naturales del cauce y permita realizar simulaciones confiables.

Iber

El modelamiento hidráulico del río Chibunga utilizando el software Iber permitió entender el comportamiento del flujo de agua en la cuenca, especialmente en situaciones extremas, como las inundaciones, este modelamiento fue esencial para predecir cómo se

comportará el río Chibunga bajo diferentes condiciones de precipitación y para evaluar el riesgo de inundación en áreas cercanas a su cauce. Al considerar diferentes periodos de retorno, como 10, 50, 100 y 500 años, se puede estimar la probabilidad de que ocurran eventos de inundación en función de la magnitud de la precipitación y la intensidad del caudal.

Software ArcGIS

La utilización de ArcGIS permitió determinar las afectaciones en servicios de agua potable y alcantarillado y el sistema eléctrico, mediante el uso de capas de datos georreferenciados. En el mismo software, se puede generar el mapa de exposición de elementos esenciales utilizando la función Map Algebra. Estas herramientas permiten llevar a cabo el cálculo entre el caudal por la velocidad. Con los resultados obtenidos, se clasifica el nivel de amenaza para cada periodo de retorno de 10, 50, 100 y 500 años. Este proceso permite analizar e identificar los elementos esenciales expuestos, mediante el uso de ortofoto. A continuación, en la Tabla 5 se presenta el nivel de exposición de amenaza, como se describe a continuación, esta clasificación se basa según los resultados obtenidos.

Tabla 4

Niveles de exposición de la amenaza.

Nivel exposición	Descripción	Valor
Bajo	Agua potable, alcantarillado y sistema eléctrico se encuentran dentro del área de amenazas de $\leq 0.2 \text{ m}^2/\text{s}$.	1
Medio	Agua potable, alcantarillado y sistema eléctrico se encuentran dentro del área de amenazas de entre $0.2-0.5 \text{ m}^2/\text{s}$ con afectaciones considerables.	2
Alto	Agua potable, alcantarillado y sistema eléctrico se encuentran dentro del área de amenazas de entre $0.5-1.5 \text{ m}^2/\text{s}$ con afectaciones graves.	3
Muy alto	Agua potable, alcantarillado y sistema eléctrico se encuentran dentro del área de amenazas extremas $>76.98 \text{ m}^2/\text{s}$, con grandes afectaciones a los elementos esenciales de la parroquia San Luis.	4

Nota. Tabla de la categoría para clasificar los mapas según el nivel de exposición. Fuente: Elaboración propia (2024).

3.5.1. Técnicas de análisis y procesamiento de la información utilizadas para el Objetivo 3

Una vez cumplidos los objetivos 1 y 2, planteó las medidas reducción de riesgos de impacto ante la amenaza de desbordamiento del río Chibunga en la parroquia San Luis. Estas medidas, con soluciones tanto estructurales como no estructurales, se han investigado cuidadosamente desde fuentes bibliográficas secundarias, estudios previos, artículos científicos de alto impacto y el Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial (PDOT) de la parroquia y del modelamiento hidráulico para los periodos de retorno de 10, 50, 100 y 500 años. La implementación de estas medidas tiene como objetivo reducir significativamente el impacto del evento adverso, mejorar significativamente la calidad de vida de las personas y minimizar las pérdidas económicas y humanas en la población.

Las medidas propuestas serán detalladas en una tabla organizada de manera técnica, esta tabla incluirá las variables como la condición de la medida, actividades, fuente de verificación y responsables.

CAPITULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Análisis, Interpretación y Discusión de Resultados

4.1.1. Objetivo 1. Identificar los factores que contribuyen al desbordamiento del río

Chibunga en la parroquia San Luis del cantón Riobamba.

Para comprender el comportamiento del caudal del río Chibunga es fundamental analizar los parámetros morfométricos de la cuenca, ya que estos proporcionan información detallada sobre su forma, tamaño y características físicas. Es esto se suma los factores condicionantes y detonante que influyen en la dinámica hídrica de la cuenca.

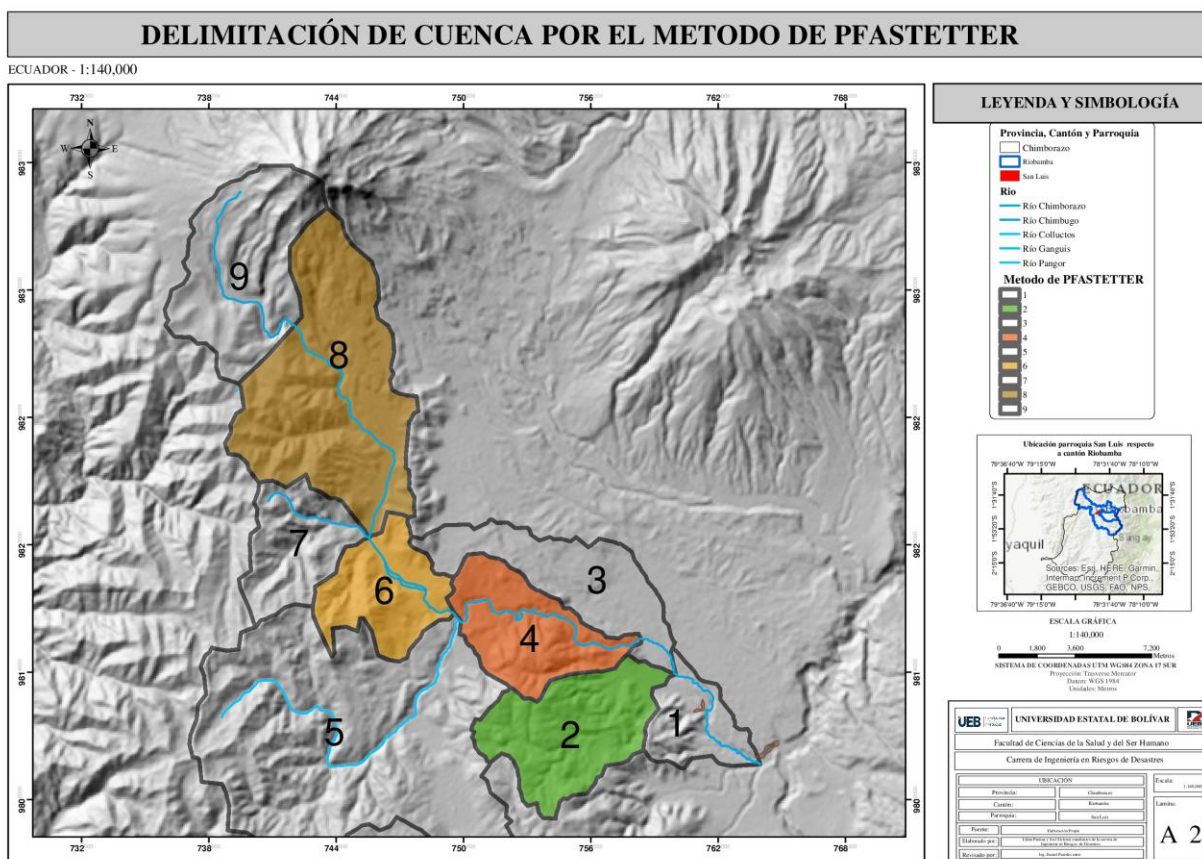
El proceso para determinar estos factores incluye la delimitación de la cuenca, la clasificación del sistema de orden de drenaje, la identificación de la curva hipsométrica, frecuencia de altitudes. Además, se consideran factores condicionantes como la pendiente, geomorfología, uso de suelo y tipo de suelo, así como factor detonante como la precipitación. A continuación, se describen detalladamente cada uno de estos procesos.

Delimitación de la cuenca hidrográfica

La delimitación de cuenca hidrográfica de la parroquia San Luis se realizó mediante la metodología de Pfafstetter. Este método consiste en asignar un código numérico único a cada cuenca, reflejando su posición dentro de la red hidrográfica, en la que se toma el canal principal como el de mayor pendiente. Mediante el uso de este método, se logró una clasificación detallada que permitió diferenciar entre cuencas e intercuencas.

Mapa 2

Delimitación de la cuenca por método de PFASTETTER.



Nota. Mapa de la delimitación de la cuenca mediante el método PFASTETTER. Fuente: Elaboración propia (2024).

Sistema de orden de drenaje

Para analizar el sistema de redes hidrográficas de la cuenca del río Chibungo, se aplicó método de Strahler. Este método permitió asignar un orden jerárquico a cada curso de agua, comenzando con los pequeños arroyos de primer orden hasta llegar el río principal. La microcuenca del río Chibungo presenta un sistema de drenaje dendrítico, donde los cursos de agua de primer y segundo orden convergen hacia canales principales de orden superior (tercero y cuarto). Es importante destacar que este tipo de drenaje es característico de regiones con suelos

sedimentarios y volcánicos, como es el caso de esta cuenca, ubicada en la parroquia San Luis, cantón Riobamba.

La red hídrica de la microcuenca está clasificada en 4 órdenes, cada uno de los cuales presentan características particulares que determinan su función dentro del sistema de drenaje.

Primer orden: Este nivel está compuesto por quebradas pequeñas, ubicadas principalmente en zonas de mayor pendiente. Estas quebradas son las primeras en captar el agua de escorrentía proveniente de las áreas más elevadas, dando inicio al proceso de drenaje y erosión. Su contribución es fundamental, ya que alimentan directamente a cursos de agua más grandes, como el río Chimborazo, Colluctos y Chibunga. Estas quebradas, aunque de menor caudal, son esenciales para el funcionamiento hidrológico de la microcuenca, ya que actúan como conductores primarios del agua hacia los sistemas fluviales de mayor envergadura.

Segundo orden: Este nivel comprende quebradas y ríos de mayor caudal, como el río Chimborazo, Colluctos y Chibunga. Estos cuerpos de agua reciben el flujo proveniente de las quebradas de primer orden, actuando como tributarios que concentran y transportan el agua hacia cursos más grandes. A medida que estos ríos y quebradas se unen, aumentan tanto su caudal como su velocidad, lo que incrementa su capacidad para transportar sedimentos y otros materiales hacia las zonas más bajas de la microcuenca. El río Colluctos, por ejemplo, es un afluente importante que recibe aportes de quebradas menores y desempeña un papel clave en el sistema de drenaje principal de la microcuenca.

Tercer orden: Este nivel se forman cuando dos o más ríos de segundo orden confluyen, lo que incrementa su caudal y extensión. En este caso, los ríos Chimborazo, Collutos y Chibunga pertenecen a esta categoría, ya que sus afluentes contribuyen al desarrollo de una red hidrográfica más compleja.

Cuarto orden: Por último, en este nivel está conformado por el río Chimborazo y Chibunga, los cuales recogen el caudal de los ríos de primer, segundo y tercer orden. En esta etapa, la red de drenaje alcanza su mayor densidad y complejidad, lo que influye significativamente en la dinámica hidrológica y geomorfológica de la microcuenca.

Tabla 5

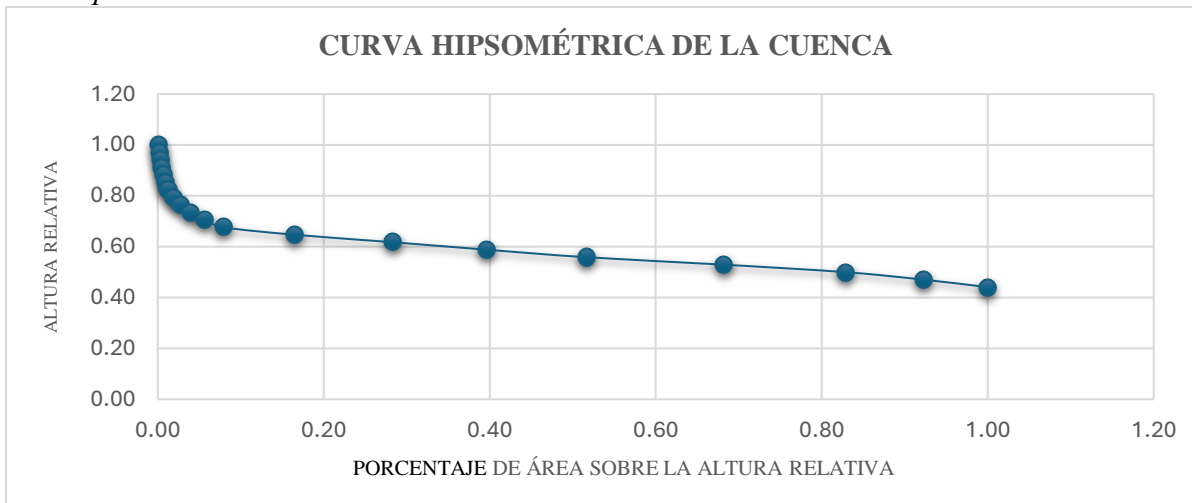
Red Hídrica de la Microcuenca Rio Chibunga.

N° Orden red de drenaje	Nombre	No. Red hídrica	Total. Red hídrica	Longitud (km)	Total. Longitud (km)
1	Quebradas	49	53	108.5	120.6
	Río Chimborazo	2		6.0	
	Río Colluctos	1		2.5	
	Río Chibunga	1		3.6	
	Quebradas	10		20.7	
2	Río Chimborazo	1	15	2.7	42.3
	Río Colluctos	3		3.7	
	Río Chibunga	1		0.2	
	Río Chimborazo	11		14.846	
3	Río Colluctos	5	18	13.816	30.674
	Río Chibunga	2		2.012	
	Río Chimborazo	2		1.356	
4	Río Chimborazo	2	14	1.356	11.603
	Río Chibunga	12		10.247	
Total			100		205.2

Nota. Clasificación del sistema de red de drenaje, mediante método STRAHLER. Fuente: Elaboración propia (2024).

Figura 1

Curva hipsométrica de la cuenca



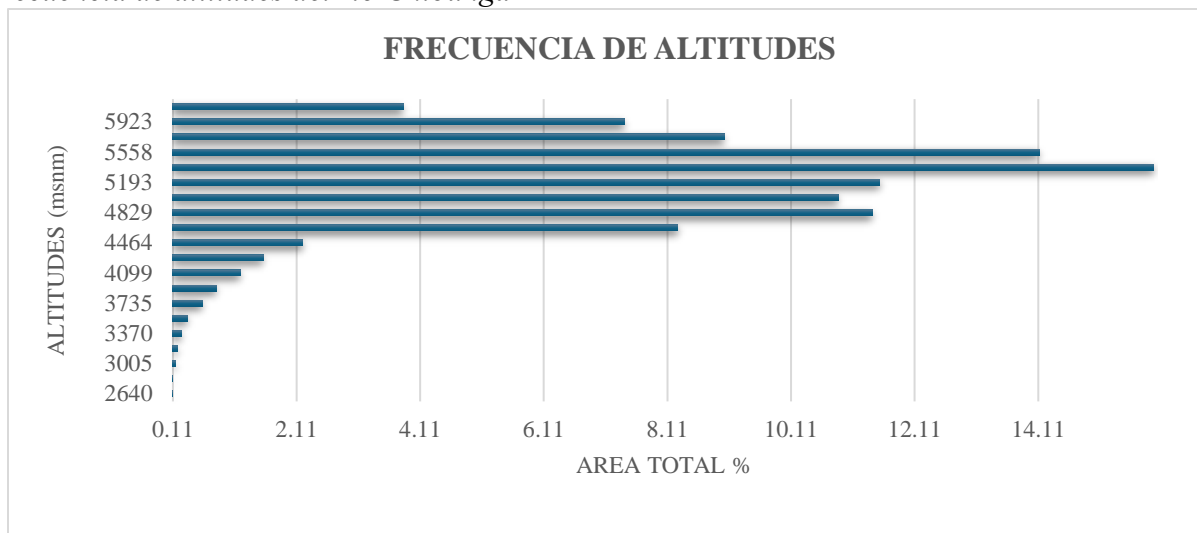
Nota. Curva hipsométrica de la cuenca. Fuente: Elaboración propia (2024).

Frecuencia de altitudes

La figura 2, muestra que las altitudes más comunes en la cuenca se encuentran entre los 2640 y 5923 msnm, lo que indica una topografía predominantemente alta y montañosa. Además, estas zonas favorecen la escorrentía rápida durante las lluvias torrenciales, lo que incrementa significativamente el caudal del río Chibunga, Asimismo, al fluir rápidamente el caudal acelerado desde estas altitudes, el agua llega en poco tiempo a las zonas más bajas, saturando los canales y aumentando el riesgo de desbordamiento en la parroquia San Luis. En particular, en este riesgo se agrava si no existe suficiente capacidad de almacenamiento o regulación natural del caudal en la cuenca.

Figura 2

Frecuencia de altitudes del río Chibunga.



Nota. Frecuencia de las altitudes. Fuente: Elaboración propia (2024).

Los factores que inciden en el desbordamiento del río Chibunga se derivan en dos categorías principales, los factores condicionales y desencadenantes. Por otro lado, los factores condicionantes incluyen la pendiente, la geomorfología, el uso y tipo de suelo, y mientras que el factor desencadenante es la precipitación. A continuación, se detalla cada uno de estos factores y su influencia en la dinámica del río.

Factores que inciden en el desbordamiento del río Chibunga

Factores condicionantes

Geomorfología

En la parroquia San Luis la geomorfología está conformada por diversas unidades que tiene un impacto, ya sea directa e indirectamente, en el comportamiento hídrico del río Chibunga en el desbordamiento.

San Luis presenta barrancos junto a coluvios antiguos y recientes, en temporadas de lluvias intensas transportan sedimentos, aumentando el nivel del río lo que a futuro podría causar inundaciones. Así mismo los escarpes de terraza alta, las gargantas, relieve volcánico, glaciares de

esparcimiento y los interfluvios, vertientes abruptas y heterogéneas son estructuras geológicas con pendientes moderadas y pronunciadas, que, de igual manera generan escorrentías rápidas en las partes altas que alimentan el río, incrementando el riesgo en las áreas bajas (Duque et al., 2015). Las unidades más vulnerables al desbordamiento son las terrazas bajas y los valles fluviales, ya que se encuentran directamente asociadas al cauce del río (Pittaluga & Suvires, 2010).

Las terrazas bajas, que incluyen áreas sobreexcavadas, son zonas planas adyacentes al río y están diseñadas naturalmente para acumular agua en eventos de crecida. Esto las convierte en las áreas más críticas durante desbordamientos. De igual manera, los valles fluviales y llanuras de inundación, que funcionan como amortiguadores naturales, suelen inundarse con facilidad cuando el río sobrepasa su capacidad normal.

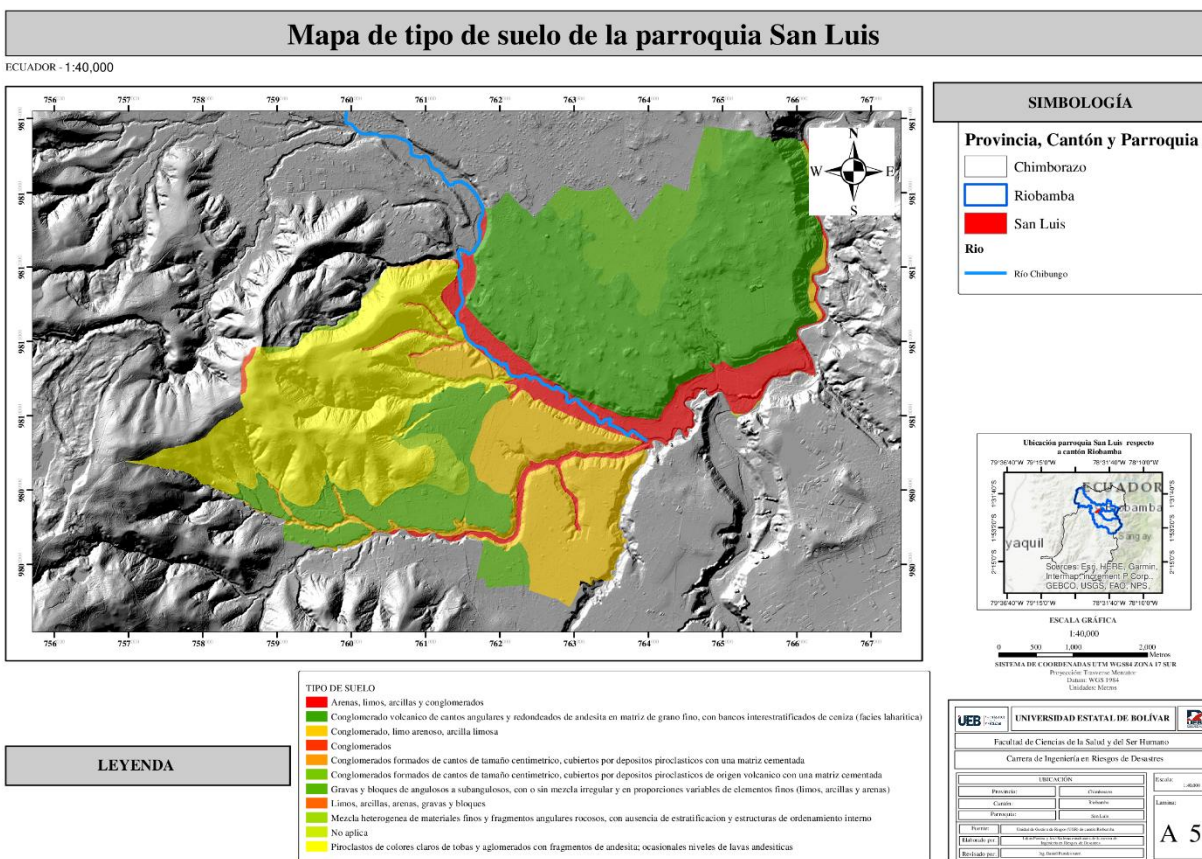
Estas características del terreno dificultan la infiltración del agua, lo que incrementa la escorrentía superficial y contribuyendo a la acumulación de agua durante las lluvias intensas, lo que a su vez aumenta el riesgo de desbordamientos en el río Chibunga.

Además, la ausencia de una adecuada estratificación y manejo interno en algunos sectores del terreno puede facilitar el movimiento de materiales hacia el cauce del río, reduciendo su capacidad y contribuyendo a su desbordamiento. La combinación de suelos poco permeables y la intervención antropogénica, como la deforestación y el desarrollo urbano no planificado aumentan el riesgo de inundaciones. Dichas intervenciones modifican los ciclos naturales del agua, alterando procesos esenciales como infiltración de agua hacia los acuíferos y el flujo base de las cuencas (Pérez et al., 2019).

En consecuencia, estas zonas presentan una mayor vulnerabilidad a inundación durante las épocas de lluvias, destacando así la importancia del tipo de suelo como un elemento determinante en la ocurrencia y la magnitud de desbordamiento del río.

Mapa 5

Tipo de suelo de la parroquia San Luis



Nota. Mapa del tipo de suelo de la parroquia San Luis. Fuente: UGR, GADM - Riobamba (2024).

Pendiente

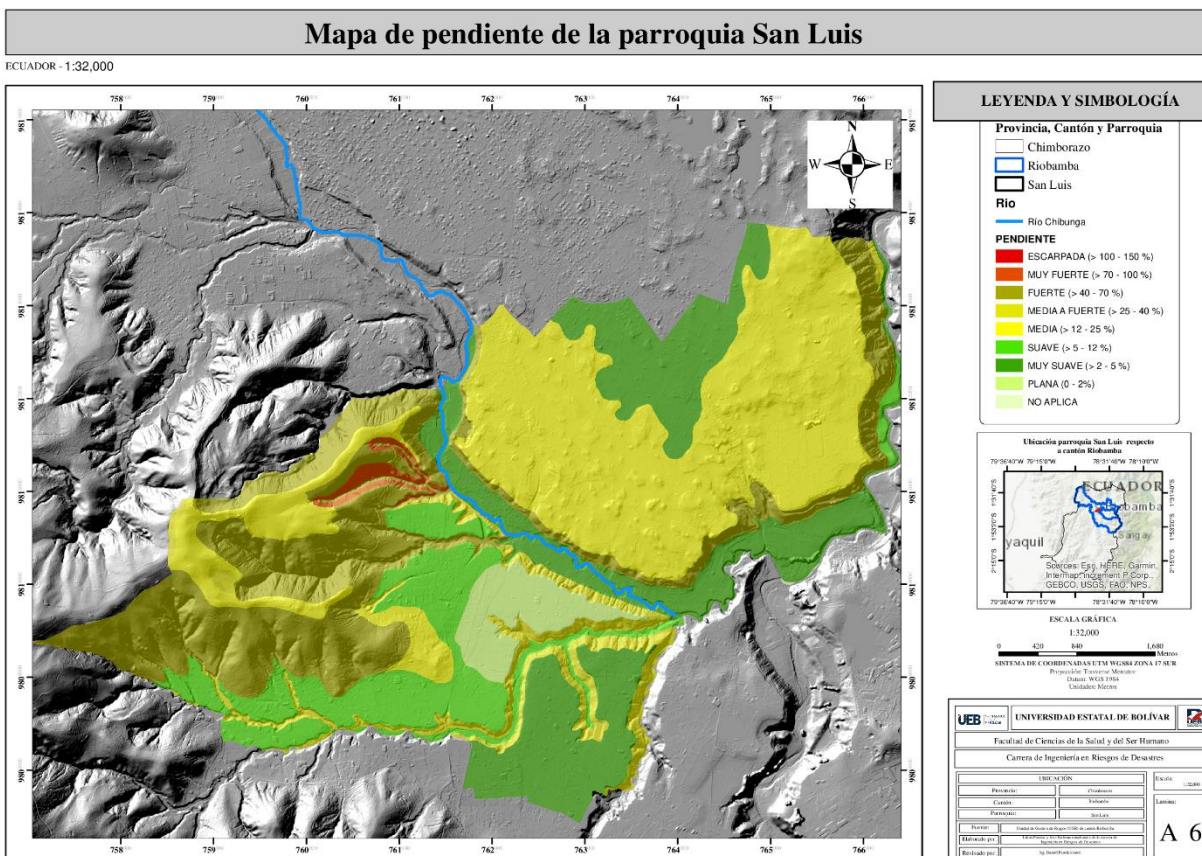
La parroquia San Luis, como se puede evidenciar en el gráfico, muestra una combinación de áreas con pendientes pronunciadas (100-150%) y pocas pronunciadas (40-70%), esta distribución tiene un impacto directo en los patrones de escorrentía y, por ende, en el comportamiento hidrológico del río Chibungo, ya que generan una escorrentía superficial más rápida, debido a la limitada capacidad de infiltración de agua en estos terrenos inclinados (Uribe-Alcántara et al., 2010).

La parroquia también presenta pendientes suaves (2 -5%) y medias (12-25%), estas actúan como zonas de transición donde la velocidad de esorrentía disminuye moderadamente (Durango, 2020) al igual que las zonas planas (0-2%) próximas al río, el flujo de agua se vuelve más lento. Sin embargo, en estas zonas, el flujo al ser más lento en comparación con terrenos inclinados ayuda a la acumulación de agua y sedimentos, lo que puede obstruir cauces naturales o sistemas de drenaje, lo que incrementa el riesgo de inundación.

Esta característica natural hace que las pendientes bajas sean más propensas a retener agua en la superficial, lo que las hace más vulnerables durante épocas de lluvias intensas.

Mapa 6

La pendiente de la parroquia San Luis



Nota. Mapa de la pendiente de la parroquia San Luis. Fuente: UGR, GADM - Riobamba (2024).

Uso de suelo

El uso del suelo en la parroquia, se caracteriza por múltiples actividades. Entre estas destacan la agricultura extensiva e intensiva, practicas agropecuarias mixtas, la forestación fines maderables, y las áreas dedicadas tanto a la conservación y producción. Además, el territorio incluye zonas residenciales, industriales y de recreación, lo que refleja una dinámica diversa en la ocupación y aprovechamiento.

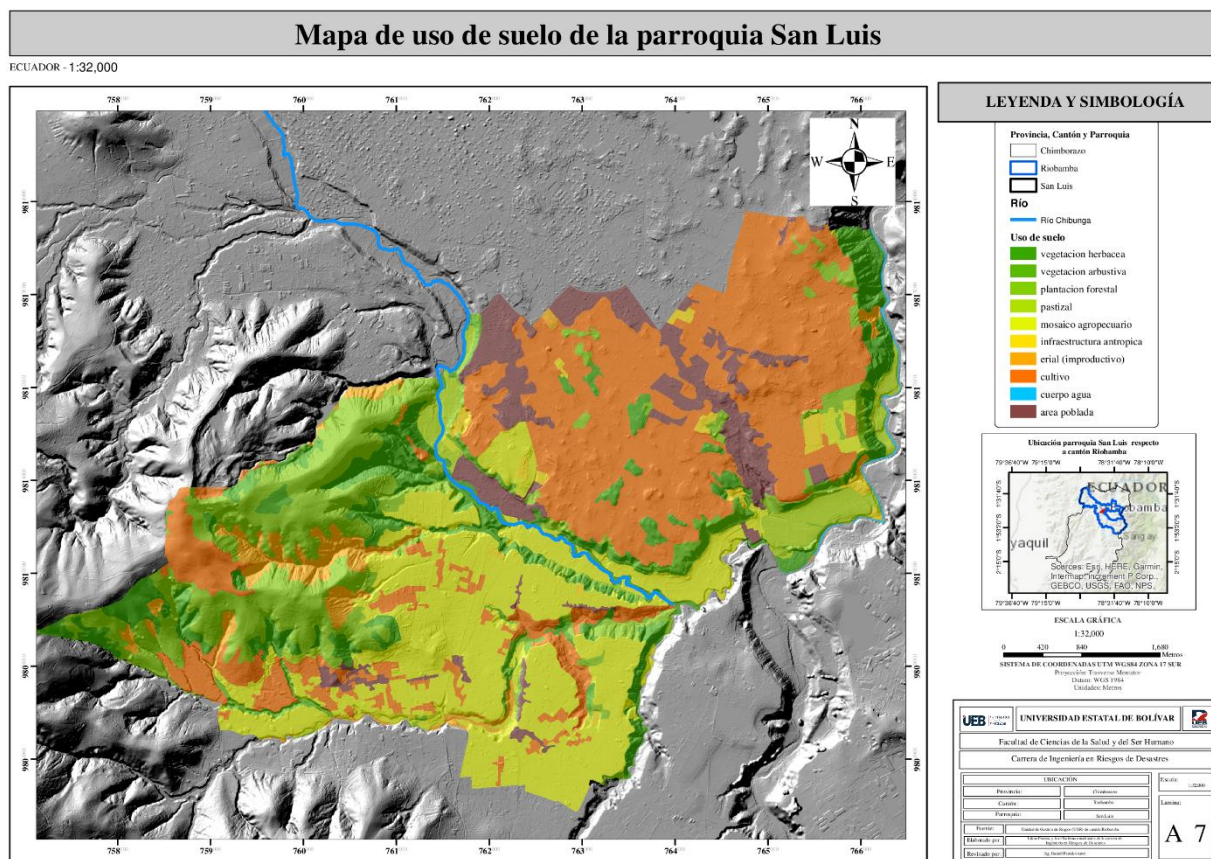
La variabilidad en el uso del suelo influye directamente en el desbordamiento del río Chibunga, debido a la alteración de la cobertura vegetal y las características del suelo. En particular, las zonas agrícolas intensivas, donde el manejo inapropiado del terreno reduce la capacidad de infiltración, lo que aumentando la escorrentía superficial (Vasquez-Velasquez, 2016). Además, actividades como la extracción de materiales y el pastoreo ocasional aceleran la erosión del suelo e incrementa los sedimentos en el río. Por otro lado, las áreas de conservación son fundamental en la mitigación de estos efectos, estos ayudan a mantener la estabilidad del suelo y a regular el flujo de agua.

Otro factor que empeora esta situación es las deficiencias en la gestión inadecuada del suelo, junto con la expansión urbana desordenada y la construcción de viviendas en zonas que deberían destinarse a la protección o conservación (Machado & Proaño, 2023).

En San Luis, a pesar de que existe una ordenanza que establece un retiro mínimo de 10 metros del río para nuevas construcciones, esta normativa no se cumple, lo que ha permitido que varias viviendas se construyan al borde el rio. Además, algunos habitantes han cerrado calles antiguas para construir sus casas, una práctica ilegal que no solo restringe el acceso público, sino que también reduce el espacio necesario para que el río se desborde de forma controlada durante la inundación. Esto intensifica los efectos negativos en las viviendas y terrenos circundantes.

Mapa 7

Uso de suelo de la parroquia San Luis



Nota. Mapa de la geomorfología de la parroquia San Luis. Fuente: UGR, GADM - Riobamba (2024).

Factor desencadenante

Precipitación

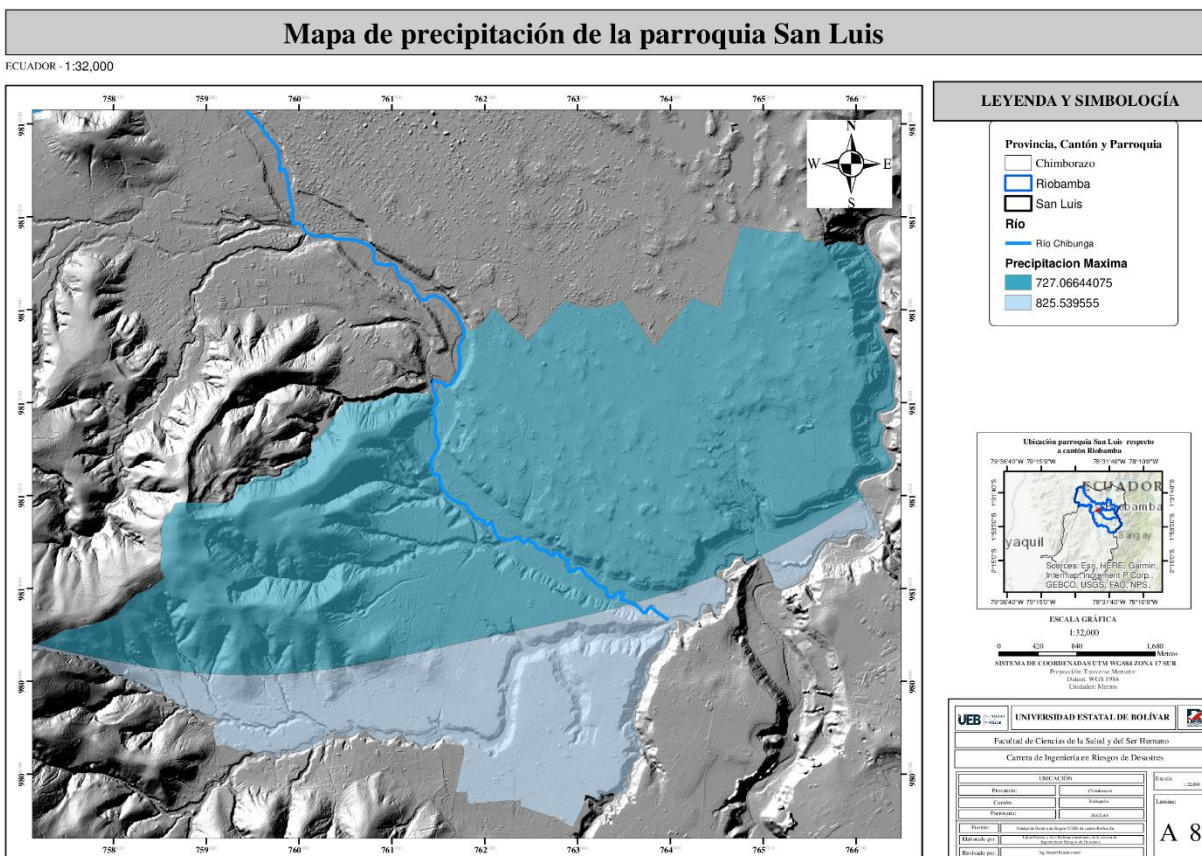
La parroquia presenta una variación significativa en los niveles de precipitación, con un rango que va desde 551.25 mm hasta 825.54 mm. Si las lluvias son prolongadas o frecuentes, el suelo se satura, lo que disminuye su capacidad de absorción, lo que incrementa la probabilidad de desbordamiento del río, ya que se genera mayor escorrentía superficial. Además, junto con otros factores como la topografía y uso del suelo, que en conjunto aumenta el riesgo de inundación (GADPR-San Luis, 2022).

La temporada de lluvias afecta notoriamente al río Chibunga ya que esto aumenta su nivel y puede generar su desbordamiento, además de que las intensas lluvias facilitan el arrastre de sedimentos desde las laderas hasta el cauce del río, lo que puede generar obstrucciones y represas temporales.

La combinación de altas precipitaciones con pendientes específicas y características geomorfológicas de la región hace del río Chibunga un sistema muy sensible a los efectos de lluvias intensas, por lo que las autoridades deben gestionar mejor los riesgos hidrológicos específicamente en la localidad.

Mapa 8

Precipitación de la Parroquia San Luis



Nota. Mapa de la precipitación de la parroquia San Luis. Fuente: UGR, GADM - Riobamba (2024).

Para el factor desencadenante en la parroquia, de igual manera se determinó el nivel del caudal mediante el método del flotador. Posteriormente, se aplicó la metodología Outlier en datos obtenidos desde POWER NASA para identificar y corregir valores atípicos que pudieran generar sesgo. Con esta información validada, se procesaron estadísticamente los datos en Excel para calcular el caudal, construir la curva IDF, determinar la precipitación máxima en 24 horas y generar el hietograma correspondiente. Finalmente, se utilizó el software HEC-HMS para modelar el hidrograma, cuyos resultados servirán como base para el posterior modelamiento hidráulico de la zona de estudio.

4.1.1.1. Modelamiento hidrológico del Rio Chibunga

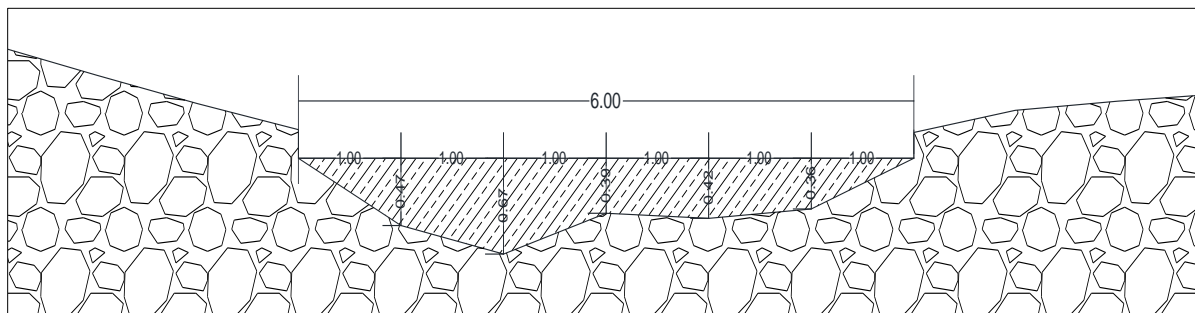
Nivel de caudal

Se estimó con precisión el caudal del río Chibunga mediante la medición de su área de caudal, utilizando el método de flotador. Esta técnica, que es indirecta y fácil de implementar en campo, se aplicó para obtener las velocidades superficiales en cuerpos de agua que fluyen libremente. El procedimiento consistió en cronometrar el tiempo que un objeto flotante tarda en desplazarse una distancia determinada, lo que permite calcular la velocidad media del agua (Alvarado, 2017).

Para lograr una calculo detallada y reducir posibles variaciones debidas a factores locales, se implementaron tres secciones transversales en diferentes puntos del tramo del río. Esto enfoque permitió registrar las variaciones en la velocidad y profundidad del cauce, para representar de manera precisa las condiciones hidrológicas del rio. A continuación, se muestra los datos de cada medición y su respectivo análisis, que contribuyen a una estimación completa y representativa del caudal, río bajo y las condiciones de caudal actuales.

Figura 3

Sección 1: Área transversal de la microcuenca del río Chibunga.



Nota. El gráfico muestra el perfil de la microcuenca del primer corte. Fuente: Elaboración propia (2024).

Tabla 6

Escenario de cálculo de flujo 1.

Tiempo en segundos		Profundidad en metros	
v1	6.84	Punto	Metro
v2	9.12	1	0.47
v3	6.88	2	0.67
v4	6.45	3	0.39
v5	8.12	4	0.42
v6	8.92	5	0.36
v7	7.93	Promedio	0,46 m
v8	0.73	Ancho de la	6m
Promedio	6,87s	cuenca	
Distancia recorrida	10m		

Velocidad = Distancia (m) / Tiempo (s)

$$V = \frac{10m}{6,87s} = 1,45m / s$$

Área = Ancho (m) * Profundidad (m)

$$A = 6m \times 0,46m = 2,76m^2$$

Caudal = velocidad * Área

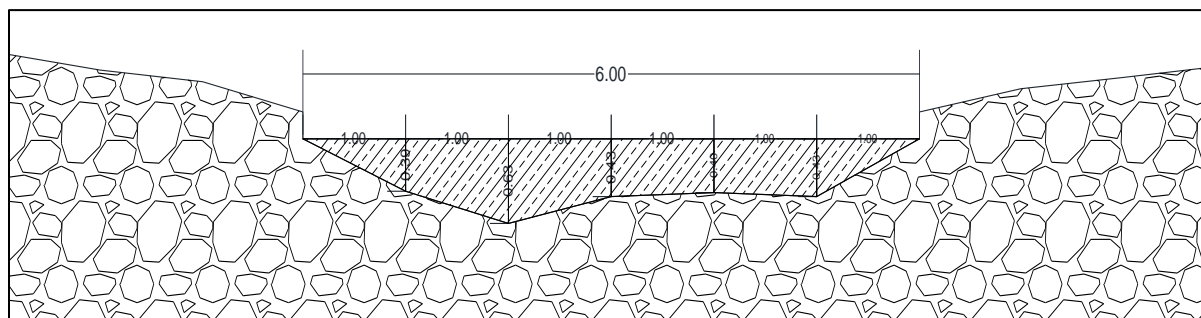
$$Q = 1.45 \frac{m}{s} * 2.76m^2 = 4m^3 / s$$

Nota. Se observan los pasos para calcular el caudal en m3/s. Fuente: Elaboración propia (2024).

Interpretación: En la primera sección transversal, la cuenca tiene un ancho de 6 m. en este tramo se destacó el punto dos, con una profundidad de 67 cm y el punto cinco registros 36 cm. Para determinar la velocidad se utilizó un objeto flotante. A través de estos procesos se obtiene un caudal de $4 \text{ m}^3/\text{s}$, este valor refleja el flujo en esta sección.

Figura 4

Sección 2: Área transversal de la microcuenca del río Chibunga.



Nota. El gráfico muestra el perfil de la microcuenca del primer corte. Fuente: Elaboración propia (2024).

Tabla 7

Escenario de cálculo de flujo 1.

Tiempo en segundos		Profundidad en metros	
Punto	Metro	Punto	Metro
v1	6.9	1	0.39
v2	8.12	2	0.63
v3	8.92	3	0.43
v4	9.95	4	0.40
v5	8.85	5	0.43
v6	6.43	Promedio	0,45 m
v7	8.95	Ancho de la cuenca	6m
v8	6.88		
Promedio	8.13s		
Distancia recorrida	10m		

Velocidad = Distancia (m) / Tiempo (s) **Área** = Ancho (m) * Profundidad (m)
 $V = \frac{10m}{8.13s} = 1.23m / s$ $A = 6m \times 0,46m = 2,76m^2$

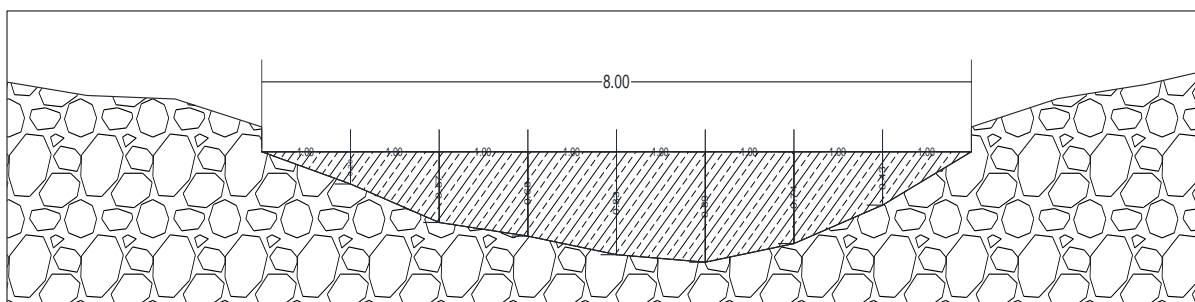
Caudal = velocidad * Área
 $Q = 1.23 \frac{m}{s} * 2.73m^2 = 3.35m^3 / s$

Nota. Se observan los pasos para calcular el caudal en m³/s. Fuente: Elaboración propia (2024).

Interpretación: En el segundo corte de la cuenca, un ancho de 6 metros, en el punto dos registra 63 cm de profundidad y el punto inicial tiene 36 cm. Por otro lado, la velocidad del caudal se determina mediante el método flotador, y considerando el tiempo, lo que arroja el resultado de 1.23 m/s. El caudal total obtenido del tramo es de 3.35 m³/s.

Figura 5

Sección 3: Área transversal de la microcuenca del río Chibunga.



Nota. El gráfico muestra el perfil de la microcuenca del tercer corte. Fuente: Elaboración propia (2024).

Tabla 8

Escenario de cálculo de flujo 3.

Tiempo en segundos		Profundidad en metros	
v1	9.9	Punto 1	Metro 0.26
v2	9.75	Punto 2	Metro 0.57
v3	9.91	Punto 3	Metro 0.68
v4	9.95	Punto 4	Metro 0.83
v5	8.85	Punto 5	Metro 0.89
v6	6.43	Punto 6	Metro 0.74
v7	10.92	Punto 7	Metro 0.43
v8	7.7		
Promedio	9.18s	Promedio	0,63 m
Distancia recorrida	10m	Ancho de la cuenca	8m

$$\text{Velocidad} = \text{Distancia (m)} / \text{Tiempo (s)}$$

$$\text{Área} = \text{Ancho (m)} * \text{Profundidad (m)}$$

$$A = 6m \times 0,63m = 5.04m^2$$

$$V = \frac{10m}{9.18s} = 1.09 \text{ m/s}$$

$$\text{Caudal} = \text{velocidad} * \text{Área}$$

$$Q = 1.09 \frac{m}{s} * 5.04 \text{ m}^2 = 5.49 \text{ m}^3 / s$$

Nota. Se observan los pasos para calcular el caudal en m³/s. Fuente: Elaboración propia (2024).

Interpretación: En el tercer tramo de la cuenca, que tiene un ancho de 6 metros, el punto cinco alcanza 89 cm de profundidad máxima y el punto inicial registra apenas 26, con estos puntos registrados se obtiene el área total de 3,75 m². Por otro lado, la velocidad del caudal se determina mediante el método flotador tomado el tiempo, arroja el resultado de 1.09 m/S. Por último, resultado de cauda total del tramo es de 4.09 m³/s. A continuación, la identificación de datos dudosos es fundamental para garantizar la precisión de la simulación para los diferentes periodos de retorno, ya que los valores atípicos pueden distorsionar los resultados y afectar la confiabilidad de la predicción.

Determinación de datos dudosos

Los valores atípicos o anómalos presentan un impacto negativo significativo en la predicción del evento. Para resolver este problema, se eligió precipitación máxima registrada en un período de 24 horas de cada año durante los 12 meses. A partir de estos valores, se calculó el logaritmo correspondiente y se aplicaron umbrales para identificar posibles valores tanto altos como bajos. Este proceso utilizó parámetros estadísticos derivados de la muestra y su transformación logarítmica.

Según (Orellana & Cedillo, 2020), “los valores atípicos pueden sesgar significativamente los resultados de los análisis estadísticos”. Además, (Hernández Uribe et al., 2017) indicaron que “la identificación de estos valores es crucial para mejorar la precisión de las predicciones” (p.

78). Por lo tanto, se concluyó que el uso de transformaciones logarítmicas facilita la detección de anomalías en los datos.

Tabla 9

Parámetros estadísticos para los datos dudosos

PARÁMETROS ESTADISTICOS	P24hr	Log(P24hr)
Número de datos (N)	23.00	23.000
Sumatoria	613.57	32.646
Valor Máximo	34.61	1.539
Valor Mínimo	17.00	1.230
Media:	26.68	1.419
Varianza:	22.51	0.006
Desviación Estándar:	4.74	0.079
Coefficiente Variación:	0.18	0.056
Coefficiente de Sesgo:	0.12	-0.3142

Se Considera:

Aplicar pruebas para detectar datos dudosos altos y bajos

n= 23.00

Kn= 2.448

Kn: Valor recomendado, varía según el valor de n (significancia:10%)

Umbral de datos dudosos **altos** (xH: **unidad. Logarítmicas**)

$$x_H = \bar{x} + k_n \cdot S \quad xH= \quad 1.61$$

Precipitación máxima aceptaba

$$PH= 10^{xH} \quad PH= \quad 40.98 \text{ mm}$$

NO EXISTEN DATOS DUDOSOS ALTO DE LA MUESTRA

Umbral de datos dudosos **bajos** (xL: **unidad. Logarítmicas**)

$$x_L = \bar{x} - k_n \cdot S \quad xL= \quad 1.23$$

Precipitación mínima aceptaba

$$PH= 10^{xH} \quad PL= \quad 16.83 \text{ mm}$$

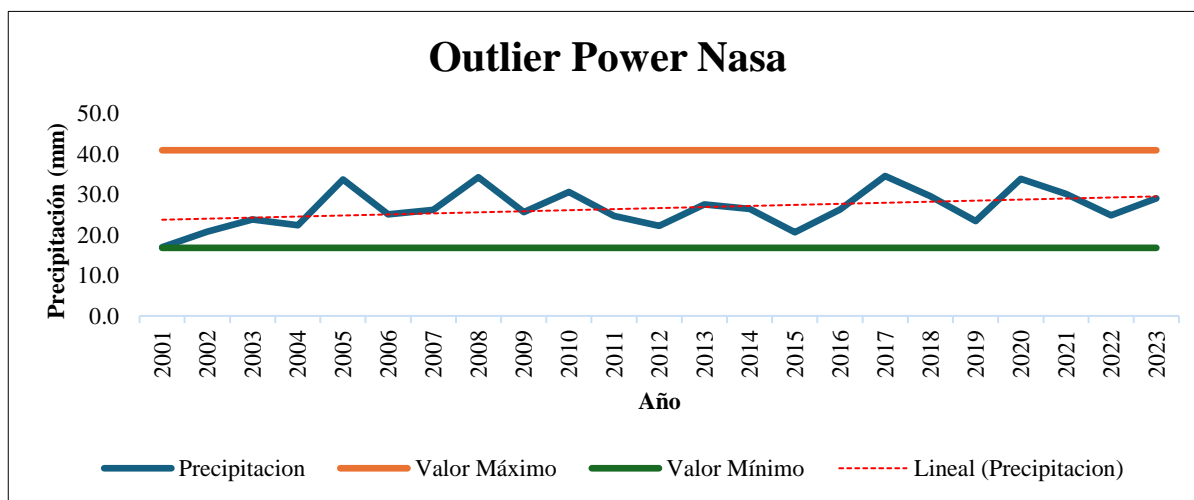
NO EXISTEN DATOS DUDOSOS MINIMO DE LA MUESTRA

Nota. Parámetros estadísticos para los datos dudosos. Fuente: Elaboración propia (2024).

Para identificar datos dudosos altos, se estableció un umbral de 1.61 en la escala logarítmica, lo que corresponde a una precipitación máxima aceptable de 40.98 mm. El valor máximo observado en la muestra fue de 34.61 mm, lo que se encuentra por debajo del umbral establecido, lo indica que no existen datos dudosos. Por otro lado, el umbral de datos dudosos bajos se calculó con un valor de 1.23 en la escala logarítmica, lo que corresponde a una precipitación mínima aceptada de 16.83 mm. El valor mínimo observado fue de 17.00 mm, que está por encima de este umbral, lo que indica que no existen datos dudosos.

Para garantizar precisión y la calidad de datos, se utilizó la metodología Outlier, esta técnica se utiliza para identificar y corregir valores atípicos o dudosos, ya sean extremadamente altos o bajos, que podrían distorsionar la confiabilidad de los resultados.

Los valores atípicos en los datos de precipitación pueden originarse por diversas causas, como errores de medición, fallas en los instrumentos de captura de datos o fluctuaciones climáticas naturales que no reflejan patrones típicos. Al aplicar la metodología de Salida, estos valores extremos se eliminan o ajustan para obtener una representación más precisa de las precipitaciones. El procedimiento es fundamental para mejorar la confiabilidad de los análisis y las conclusiones, especialmente en los estudios que implican análisis, evacuación de riesgos y la toma de decisiones basadas en informaciones climáticos.

Figura 6*Análisis visual de datos dudosos*

Nota. Análisis visual de datos dudosos. Fuente: Elaboración propia (2024).

Interpretación

La variabilidad en las precipitaciones es un fenómeno notable que se ha observado en los datos recopilados entre 2001 y 2023. Durante este período, se identificaron picos significativos en los años 2005, 2008, 2010, 2017 y 2020, mientras que los años 2001, 2015 y 2019 mostraron niveles de precipitación considerablemente bajos. Esta fluctuación sugiere una marcada influencia de los factores climáticos naturales en la región. En los años con altas precipitaciones, el volumen de agua acumulada en las cuencas puede superar la capacidad de drenaje del río, lo que incrementa el riesgo a desbordamiento en las áreas circundantes. En contraste, los años con escasas precipitaciones no generaron riesgos similares, ya que el caudal del río se mantuvo dentro de niveles manejables, aunque esto no elimina la posibilidad de desbordamientos en años futuros. A continuación, para determinar la precipitación máxima se emplea el método Gumbel, ampliamente utilizado en hidrología por su eficacia para modelar eventos extremos. Este método permite estimar con precisión los valores máximos esperados, lo que resulta fundamental para el análisis y mitigar riesgos.

Precipitación máxima con método Gumbel

Se determino de la precipitación máxima utilizando el método Gumbel, correspondiente a diferentes períodos de retorno, específicamente 10, 50, 100 y 500 años. Este método es ampliamente reconocido en estudios hidrológicos por su capacidad para modelar eventos extremos. A continuación, se detalla la fórmula utilizada, que permite estimar la precipitación máxima esperada en función al período de retorno esperado.

Tabla 10

Precipitación máxima 24 horas con el Método Gumbel.

Cálculos variables probabilísticas				
$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n} =$		16.02	mm	
$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} =$		17.29	mm	
$\alpha = \frac{\sqrt{6}}{\pi} * s =$		13.48	mm	
$u = \bar{x} - 0.5772 * \alpha =$		8.24	mm	
$Y_t = -\ln\left(\ln\left(\frac{T}{T-1}\right)\right) \quad X_t = \mu + (a * Y_t) \quad F_{(x,u,a)} = e^{-e^{-\left(\frac{x-u}{a}\right)}} \quad x_t = 1.13 * x_t$				
Periodo Retorno	Variable reducida Y_t	Precip. (mm) $X_t(\text{mm})$	Prob. De ocurrencia $F(xT)$	Corrección intervalo fijo X_t (mm)
Años				
10	2.25036733	38.5768664	0.9	43.591859
50	3.90193866	60.8405665	0.98	68.7498401
100	4.60014923	70.2526641	0.99	79.3855105
500	6.21360726	92.0025851	0.998	103.962921

Nota. Precipitación máxima 24 horas con el Método Gumbel. Fuente: Elaboración propia (2024).

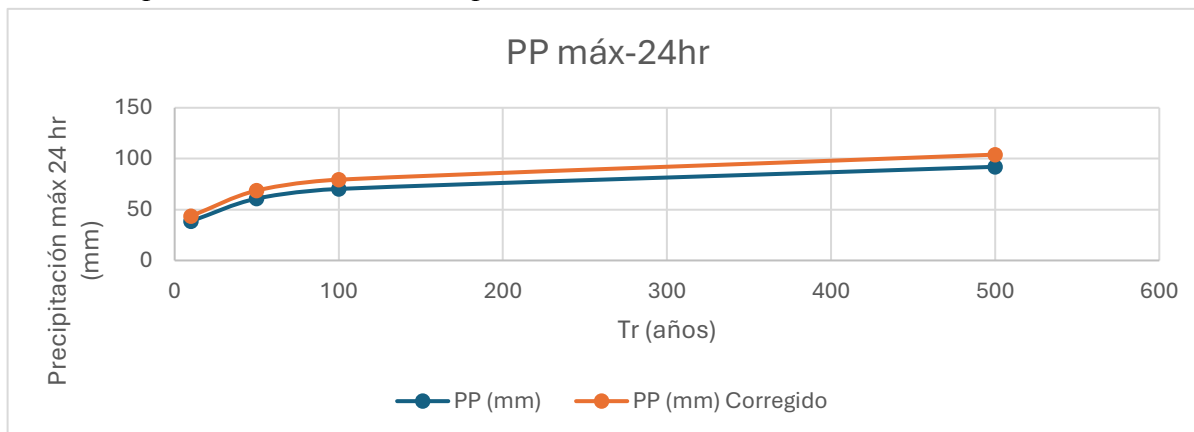
El análisis de la precipitación máxima mediante el método de Gumbel, se determina resultados significativos para los distintos períodos de retorno. Para un período de 10 años, la precipitación máxima estimada es de 43.591 mm, con una probabilidad de ocurrencia del 0.9%. Y para un período de retorno de 50 años, se estima una precipitación máxima de 68.749 mm, con una probabilidad del 0.98%. En el caso de 100 años, la precipitación máxima se estima los 79.385 mm, con una probabilidad del 0.99%. Finalmente, para un período de 500 años, se estima una precipitación máxima de 103.962 mm, con una probabilidad del 0.998%.

Estos resultados son consistentes con lo reportado en estudios recientes. Por ejemplo, en una investigación realizada por (Parra & Vide, 2024), se documentaron precipitaciones máximas diarias probables para diferentes frecuencias utilizando el mismo método. En su estudio, se encontraron valores similares para los períodos de retorno analizados, lo que valida la aplicación del método Gumbel en la modelación hidrológica en contextos similares.

Además, el estudio presentado con el tema “Modelación Hidrológica e Hidráulica para la Identificación de Zonas de Inundación” (Tenesaca et al., 2024) respalda estos resultados, ya que reportar precipitaciones máximas que siguen patrones consistentes con las estimaciones obtenidas mediante el método Gumbel. Esta coincidencia refuerza la confiabilidad de los datos obtenidos y su aplicabilidad en la identificación de zonas vulnerables a inundaciones.

Figura 7

Precipitación máxima en 24hr por el método Gumbel



Nota. Precipitación máxima 24 horas con el Método Gumbel. Fuente: Elaboración propia (2024).

Tras determinar corrección de datos dudosos y estimar precipitaciones máximas. A continuación, se construye curvas de IDF, a partir los datos depurados mediante metodología Outlier, lo que garantiza mayor confiabilidad y precisión.

Cálculo de curvas IDF

Se realizó el cálculo de las curvas de Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF), utilizando los datos de precipitación extraído desde la plataforma Power NASA, con el objetivo de estimar la intensidad de las precipitaciones. Lo que permite calcular las intensidades máximas correspondientes a diferentes períodos, específicamente para 10, 50,100 y 500 años. A continuación, se presenta la descripción de la fórmula utilizada para el cálculo.

$$I = \frac{64.5013 * T^{0.328021}}{0,61639}$$

Donde:

I: Intensidad (mm/h)

T: Periodo de retorno en años

D: Duración en minutos

Para respaldar la metodología aplicada en el cálculo de las curvas IDF, se puede considerar la obra de (Ven to chow et al., 1988), que proporciona un marco teórico sólido sobre el análisis hidrológico y la estimación de precipitaciones extremas, lo cual es relevante para este estudio. A continuación, en la tabla 11 muestra intensidad máxima esperado.

Tabla 11

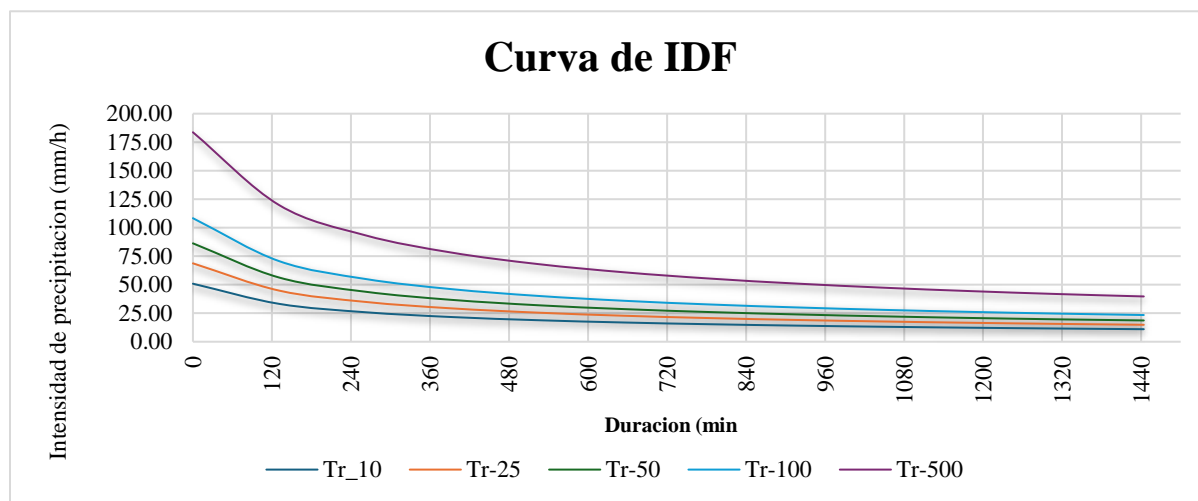
Cálculo de las intensidades máximas esperadas para los diferentes periodos de retornos

	Periodo de retorno (años)	Intensidad máxima esperada en 1h (mm/h)
Power Nasa	10 años	50.90 mm/h
	50 años	68.75 mm/h
	100 años	108.34 mm/h
	500 años	186.68 mm/h

Nota. Cálculo de las intensidades máximas esperadas para los diferentes periodos de retornos. Fuente: Elaboración propia (2024).

Figura 8

Curva de Intensidad-Duración-Frecuencia.



Nota. Se puede observar la curva de intensidad, duración y frecuencia. Fuente: Elaboración propia (2024).

La curva IDF permite estimar la intensidad y la duración del evento de mayor magnitud. Según lo observado en la figura 8, las lluvias más intensas tienden a ocurrir en periodos de tiempo cortos, lo que se asocia con eventos de menor frecuencia, como aquellos con un periodo

de retorno de 500 años. Estos eventos extremos tienen un impacto considerable en la dinámica de la cuenca de río Chibunga.

En el caso del río Chibunga, la intensidad de precipitación generada partir de la curva IDF son críticos debido a su influencia directa en el incremento del caudal del río. Las precipitaciones intensas y de corta duración reducen la capacidad de infiltración, lo que ayuda a la escorrentía superficial y la rápida acumulación de agua en el cauce principal. Este fenómeno incrementa el riesgo de desbordamiento la parroquia San Luis.

Además, durante eventos de precipitación de mayor intensidad, la probabilidad de inundaciones incrementa considerablemente, lo que representa una amenaza para los habitantes e infraestructuras ubicadas en las riberas del río. Por lo tanto, el análisis de la curva IDF no solo permite cuantificar la magnitud y frecuencia de las precipitaciones, sino también evaluar su impacto potencial.

Cálculo de tiempo de concentración

Para determinar el tiempo de concentración de la cuenca del río Chibunga, utilizando la fórmula de California, un método utilizado en hidrología. La fórmula permite estimar el tiempo que tarda en recorrer el caudal desde el punto inicial de la cuenca hasta el punto de desagüe, tomando en cuenta los parámetros como la longitud principal del cauce y la pendiente máxima de la cuenca.

$$T_c = 0,066 \cdot \left(\frac{L}{j^{0.55}} \right)^{0.77}$$

Tc: Tiempo de concentración

L: Longitud principal del cauce

J: Pendiente

$$T_c = 0,66 \left(\frac{33}{j^{0.55}} \right)^{0.77}$$

$$T_c = 3,457$$

$$T_c = 3,45 \text{ hr}$$

$$T_c = 207 \text{ min}$$

Hietograma para TR de 10, 50, 100, 500 años

El hietograma muestra la variación de la precipitación en el tiempo. Se realizó mediante el método de bloque alterno. Esta metodología es ampliamente utilizada en hidrología, permite desarrollar hietogramas de diseño de manera eficiente a partir de curvas IDF. Esta herramienta es fundamental para estimar la cantidad de precipitación esperada en un área específica durante un periodo determinado, basándose en registros históricos. Esto nos permite estimar la cantidad de precipitación esperada en San Luis para los diferentes TR de 10, 50, 100 y 500 años.

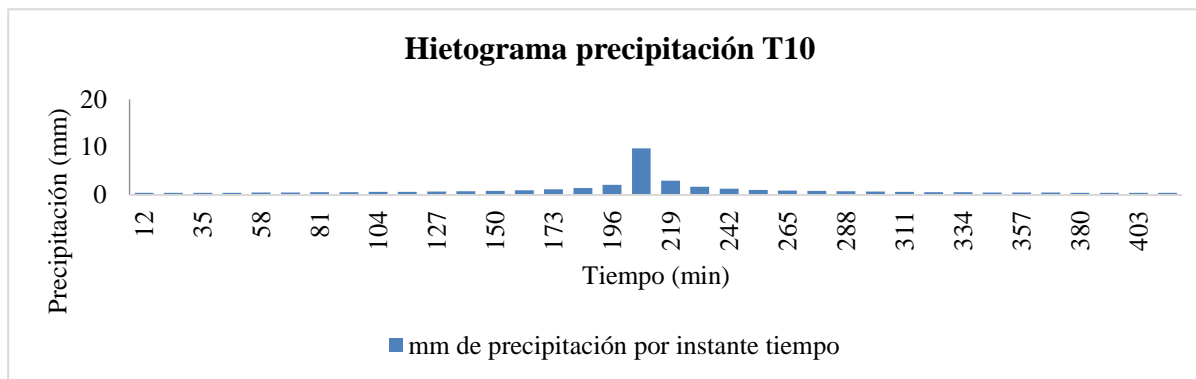
Hietograma para periodo de retorno cada 10 años

El hietograma correspondiente al TR de 10 años muestra la variación de la intensidad de la precipitación en mm/h a lo largo del tiempo. En la figura 9, se observa la relación entre la precipitación en mm y el tiempo transcurrido en min. En el minuto 207, se muestra un pico máximo de precipitación, alcanzando un valor de 9.76 mm. Este dato es relevante, ya que

permite comprender la distribución temporal de las lluvias y su intensidad en eventos con una frecuencia de ocurrencia cada 10 años.

Figura 9

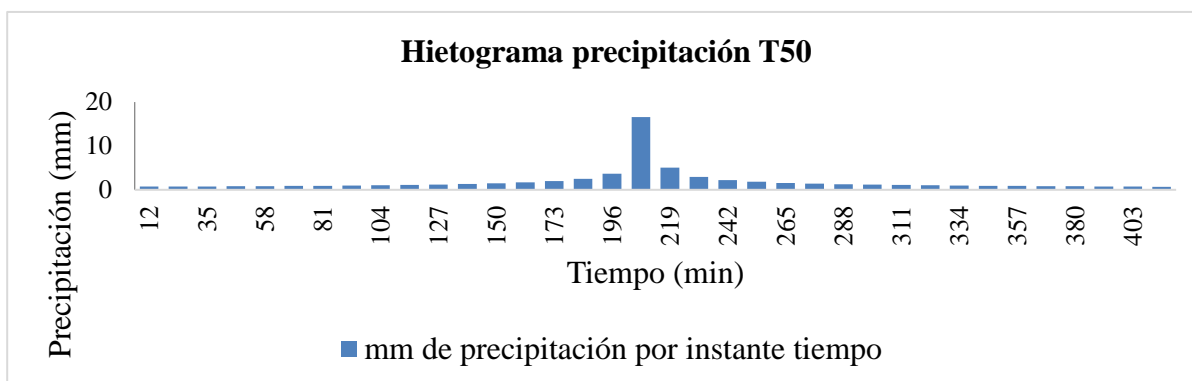
Hietograma de precipitación Tr 10



Nota. Hietograma de precipitación Tr 10. Fuente: Elaboración propia (2024).

Hietograma para periodo de retorno cada 50 años

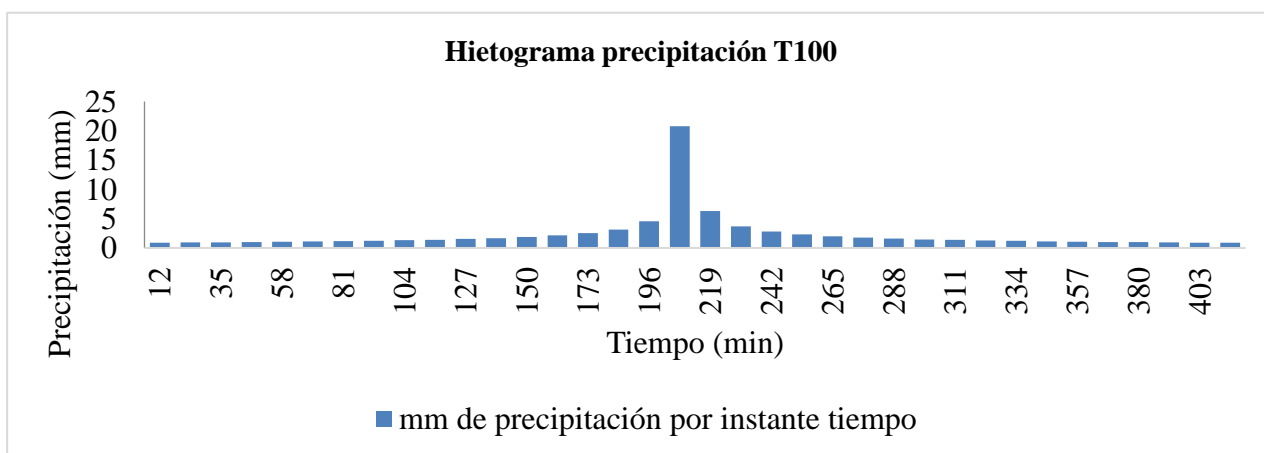
El hietograma de TR de 50 años muestra la variación de la intensidad de la precipitación en mm/h a lo largo del tiempo. En la figura 10, se observa la relación entre la precipitación en mm y el tiempo transcurrido en min. En el minuto 207, se muestra un pico máximo de precipitación, alcanzando un valor de 16.54 mm. Esta información es importante, ya que refleja un incremento significativo en la intensidad de las lluvias en comparación con el TR de 10 años, por ende, permite comprender la distribución temporal de las lluvias y su intensidad en eventos con una frecuencia de ocurrencia cada 50 años.

Figura 10*Hietograma de precipitación de Tr 50*

Nota. Hietograma de precipitación de Tr 50. Fuente: Elaboración propia (2024).

Hietograma para periodo de retorno cada 100 años

El hietograma de TR de 100 años refleja la variación de intensidad de la precipitación a lo largo del tiempo. En la figura 11, se muestra la relación entre la precipitación y el tiempo transcurrido. En la cual en minuto 207, se muestra un pico máximo de precipitación, alcanzando un valor de 20.76 mm. Esta información es fundamental, ya que evidencia un aumento adicional de precipitación, lo que permite analizar y comprender mejor los eventos extremos con una frecuencia de ocurrencia cada 100 años.

Figura 11*Hietograma de precipitación de Tr 100*

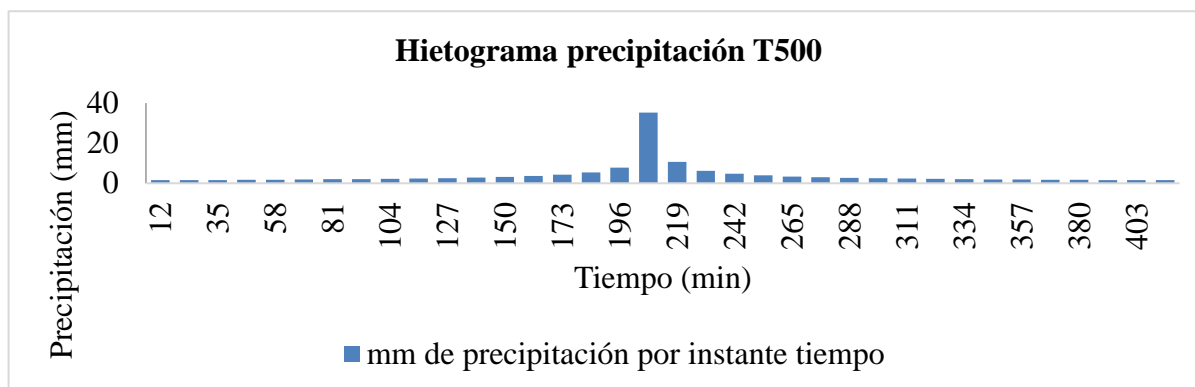
Nota. Hietograma de precipitación de Tr 100. Fuente: Elaboración propia (2024).

Hietograma para periodo de retorno cada 500 años

El hietograma de TR de 500 años muestra la variación de la intensidad de la precipitación en mm/h a lo largo del tiempo. En la figura 12, se observa la relación entre la precipitación y el tiempo transcurrido. En la cual en minuto 207, se muestra un pico máximo de precipitación, alcanzando un valor de 35.20 mm. Esta información es importante, ya que permite comprender la distribución temporal de las lluvias y su intensidad en eventos extremos con una frecuencia de ocurrencia cada 500 años.

Figura 12

Hietograma de precipitación de Tr 500



Nota. Hietograma de precipitación de Tr 500. Fuente: Elaboración propia (2024).

Interpretación: El análisis de los hietogramas permite identificar variaciones entre la intensidad de la precipitación según el período de retorno. Para un período de 10 años, el pico máximo de precipitación registra de 9.76 mm en el minuto 207. Mientras que, en el período de 50 años, la precipitación máxima aumentó significativamente a 16.54 mm en el mismo minuto. Para el TR de 100 años, la intensidad alcanzó precipitación alcanza 20.76 mm, y en el caso de un período de 500 años, el pico máximo de precipitación es de 35.20 mm, también en el minuto 207.

Estos resultados muestran, a medida que incrementa el período de retorno, la intensidad máxima de precipitación también aumenta. Este comportamiento refleja la mayor magnitud de eventos extremos se asociados a períodos de retorno más largo, lo cual es consistente con los patrones observados en los hietogramas.

Hidrograma para TR de 10, 50, 100, 500 años

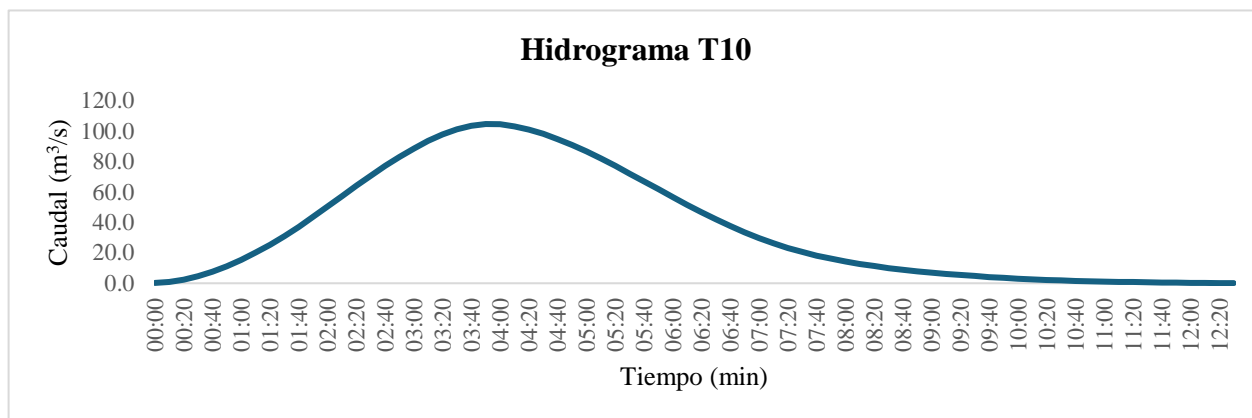
El hidrograma es una representación gráfica que muestra la variación del caudal a lo largo del tiempo, siendo una herramienta fundamental en el estudio hidrológico.

Snyder (1938) llevó a cabo investigaciones en las cuencas de los Montes Apalaches, en Estados Unidos, cubriendo superficies que van desde los 30 hasta 30,000 km². A través de su investigación, estableció relaciones sintéticas para un hidrograma unitario, las cuales permiten determinar las características de un hidrograma unitario requerido.

El rio chibunga tiene una superficie de 418 km², por ende, es factible aplicar el método de Snyder en esta cuenca y generar hidrograma unitario sintético correspondiente para cada periodo de retorno 10, 50, 100 y 500 años.

Hidrograma para periodo de retorno cada 10 años

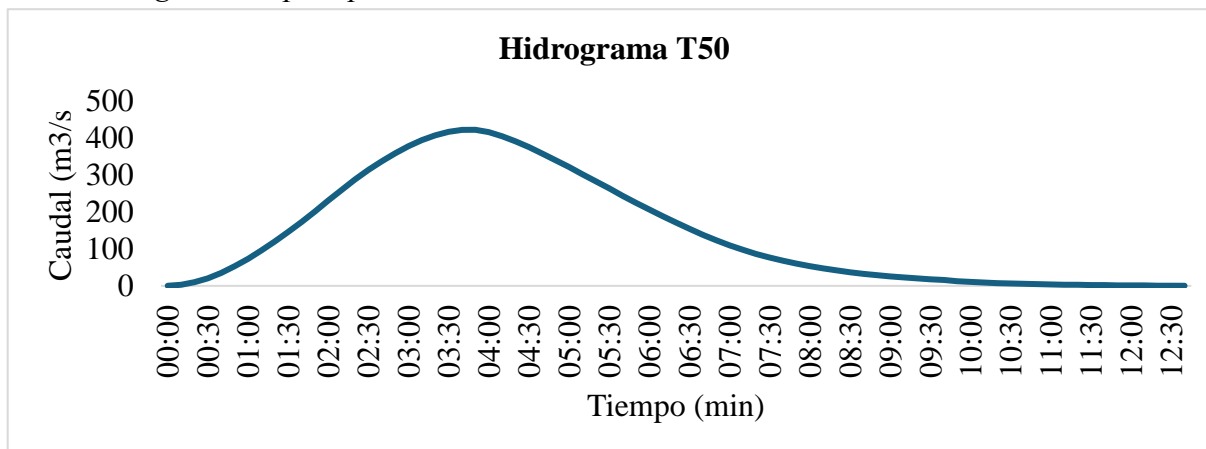
Para el periodo de retorno de 10 años, el hidrograma inició con un caudal de 0.2 m³/s a las 0 horas, El pico máximo de caudal que alcanzo 104.6 m³/s, se registró a los 210 minutos (3:50 horas), representando el momento de máxima escorrentía superficial y aporte al río Chibunga. Luego, el caudal disminuyó progresivamente hasta llegar a 0.1 m³/s a los 738 minutos (12:30 horas). Este patrón evidencia la dinámica hidrológica de la cuenca, caracterizada por un rápido ascenso y un decrecimiento gradual del flujo, típico de eventos de precipitación intensa en cuencas de similares características

Figura 13*Hidrograma de precipitación de Tr 10*

Nota. Hidrograma de precipitación de Tr 10. Fuente: Elaboración propia (2024).

Hidrograma para periodo de retorno cada 50 años

El hidrograma correspondiente al periodo de retorno de 50 años mostró, desde las 0:00 horas, un caudal inicial de 0.2 m³/s. A las 3:50 horas, que correspondía a 210 minutos, se alcanzó un pico máximo con un caudal de 422.3 m³/s. Posteriormente, a las 12:40 horas, equivalente a 744 minutos, el caudal descendió a 0.2 m³/s. Esto indica el momento de mayor escorrentía superficial y contribución al río Chibunga.

Figura 14*Hidrograma de precipitación de Tr 50*

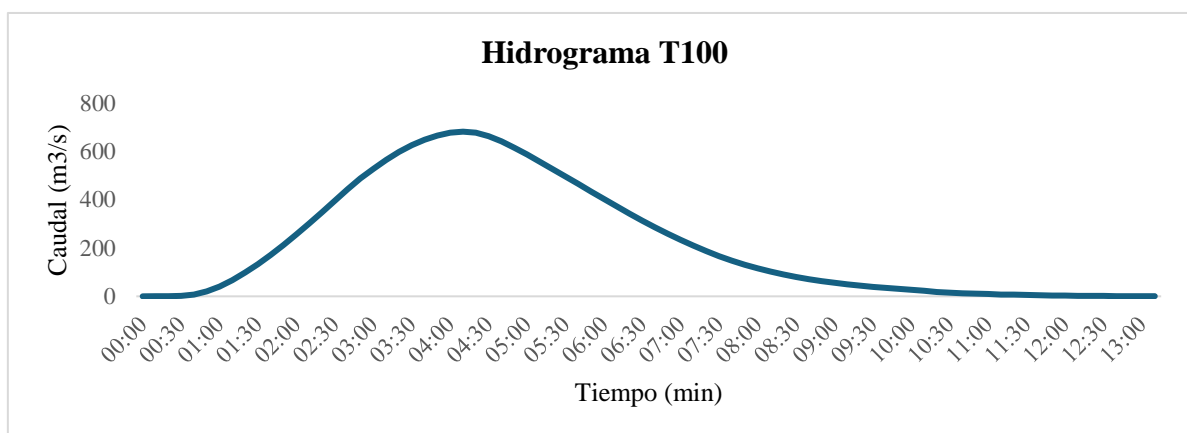
Nota. Hidrograma de precipitación de Tr 50. Fuente: Elaboración propia (2024).

Hidrograma para periodo de retorno cada 100 años

Para el periodo de retorno de 50 años, el hidrograma mostró un caudal inicial de $0.1 \text{ m}^3/\text{s}$ a las 0:00 horas. El pico máximo de $681.7 \text{ m}^3/\text{s}$ se registró a los 246 minutos (4:10 horas), marcando el momento de mayor escorrentía superficial y aporte al río Chibunga. Luego, el caudal descendió progresivamente hasta alcanzar $0.2 \text{ m}^3/\text{s}$ a los 788 minutos (13:10 horas), lo que indica el fin del evento de aporte significativo al cauce.

Figura 15

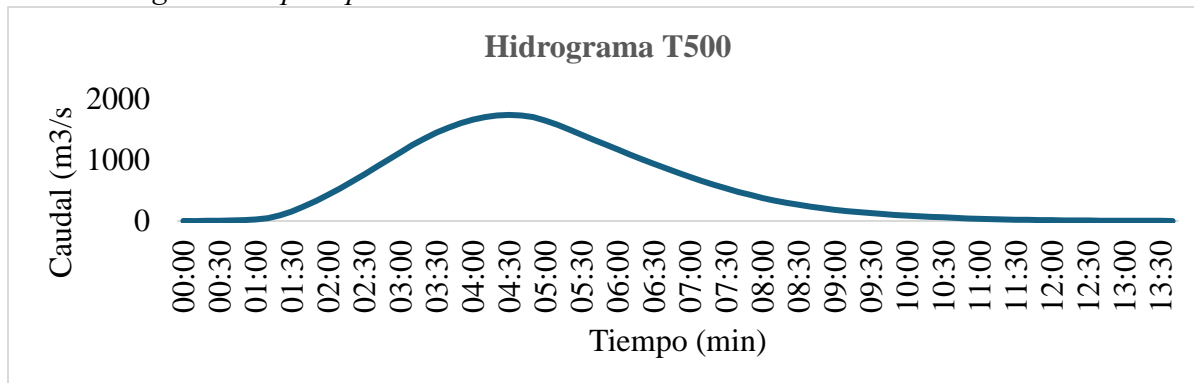
Hidrograma de precipitación de Tr 100



Nota. Hidrograma de precipitación de Tr 100. Fuente: Elaboración propia (2024).

Hidrograma para periodo de retorno cada 500 años

Para el periodo de retorno de 50 años, el hidrograma presentó un caudal inicial de $0.2 \text{ m}^3/\text{s}$ a las 0:00 horas. El pico máximo, de $1728.9 \text{ m}^3/\text{s}$, ocurrió a los 246 minutos (4:10 horas), representando el momento de máxima escorrentía superficial y aporte al río Chibunga. Luego, el caudal disminuyó progresivamente hasta $0.5 \text{ m}^3/\text{s}$ a los 788 minutos (13:10 horas), lo que refleja el fin del evento de mayor contribución al caudal del río.

Figura 16*Hidrograma de precipitación de Tr 500.*

Nota. Hidrograma de precipitación de Tr 500. Fuente: Elaboración propia (2024).

Interpretación: El análisis de los hidrogramas reverá la influencia de los períodos de retorno en el caudal máximo y su comportamiento dinámico. Para un período de 10 años, el caudal máximo se registra 104.6 m³/s, mientras que, para 50 años este valor se aumenta a 422.3 m³/s. Al aumentar el período a 100 años, el caudal máximo ascendió a 681.7 m³/s, mientras que, para el periodo de 500 años, alcanza un valor extraordinario de 1,728.9 m³/s. En cuanto a los tiempos de descenso a valores mínimos, los períodos de 10 y 50 años mostraron un comportamiento similar, mientras que, para los períodos de 100 y 500 años, el tiempo fue ligeramente mayor. Estos resultados destacan que, a medida que se incrementa el período de retorno, no solo aumenta el caudal máximo, sino también su magnitud y duración.

Una vez elaborado el hidrograma, cuyos datos son fundamentales para la simulación, el siguiente paso consiste en generar el Modelo Digital de Elevación (DEM) y determinar la rugosidad de Manning para el comportamiento del caudal del río. A continuación, se llevará a cabo el modelamiento hidráulico.

4.1.2. Objetivo 2. Determinar las afectaciones ocasionadas por el desbordamiento del río Chibunga en la parroquia San Luis del cantón Riobamba.

Para determinar las afectaciones provocadas por el desbordamiento del río Chibunga, se realizó un modelamiento hidráulico mediante la construcción de un Modelo Digital de Elevación (DEM) y la identificación del coeficiente de Manning, parámetros claves para determinar el comportamiento del río. Posteriormente, se procesaron los datos y se utilizó el software IBER, especializado en modelamiento hidráulico, para llevar a cabo la simulación. Con estos resultados, se categorizó la gravedad de la inundación según los criterios de Vargas et al. (2017). Este proceso permitió identificar los elementos esenciales que podrían verse afectados en diferentes períodos de retorno 10, 50, 100 y 500 años, lo que proporcionó una estimación del impacto potencial del desbordamiento. A continuación, se detallan cada uno de los procedimientos realizados.

4.1.2.1. Modelamiento hidráulico del río Chibunga

Construcción del DEM

En el proceso de modelamiento hidráulico, es esencial contar con el modelo digital de elevación (DEM) de alta resolución con detalle topográfica de la cuenca. Se puede generar a partir de vuelos de dron con una altitud de 60 m, lo que permite obtener una resolución de 0.17 cm x 0.17 cm por píxel. El modelo es importante, ya que facilita la identificación del cauce principal de la cuenca y el análisis de la morfología del terreno, aspectos clave para definir la rugosidad de Manning, un factor determinante para la modelación.

Mapa 9

Modelo DEM de la cuenca de estudio



Nota. Modelo DEM de la cuenca de estudio. Fuente: Elaboración propia (2024)

Una vez obtenido el modelo digital de elevación (DEM), se procede a determinar la rugosidad de Manning. Este coeficiente, influye directamente con la resistencia del flujo de agua.

Rugosidad de Manning

Este coeficiente es fundamental para determinar el comportamiento del caudal de agua en relación con el uso y cobertura del suelo. Permite evaluar si el volumen de agua será mayor o menor según el tipo de vegetación, ya que esta afecta directamente la infiltración y el escurrimiento. En el área de estudio, por ejemplo, se observó una alta presencia de vegetación densa, lo que condiciona el comportamiento del agua de manera diferente a zonas con menor

cobertura. A continuación, en la tabla 12 se presentan el coeficiente de rugosidad de Manning, parámetro clave para cálculos hidráulicos.

Tabla 12

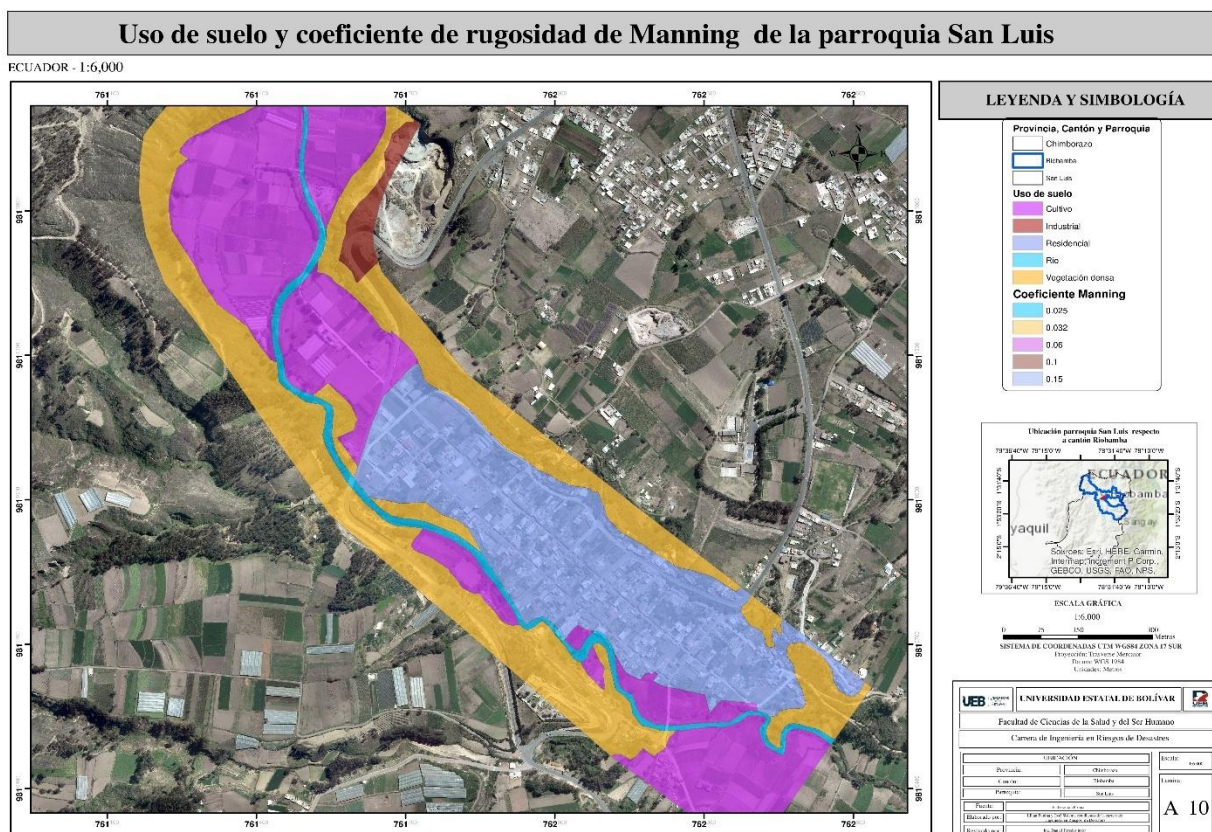
Coeficiente de rugosidad de Manning

Uso de suelo	Coeficiente Manning
Rio	0.025
Vegetación densa	0.032
Cultivo	0.06
Industrial	0.1
Residencial	0.15

Nota: Influencia del método de estimación en el coeficiente de Manning para cauces naturales. Fuente: Ingeniería hidráulica y ambiental.

Mapa 10

Uso de suelo y coeficiente de rugosidad de Manning.



Nota. Uso de suelo y coeficiente de rugosidad de Manning. Fuente: Elaboración propia (2024)

Para identificar las afectaciones causadas el desbordamiento del río Chibunga en la parroquia San Luis, se llevó a cabo una categorización de inundación basado en la variable de calado por velocidad. Este método permitió analizar el impacto considerando la profundidad del agua y la velocidad.

Categorizar de gravedad de inundación

Según Vargas et al. (2017), la clasificación de la gravedad de las inundaciones se divide en cuatro categorías: bajo, medio, alto y muy alto. Para determinar los valores correspondientes a cada categoría, se realizó un análisis que consistió en multiplicar la profundidad por la velocidad.

A continuación, se presenta en la Tabla 13.

Tabla 13

Categorización del resultado de los calados por la velocidad.

Categoría de Gravedad de inundación	Depth * Velocity Range (m²/s)
Bajo	<0.2
Medio	0.2, 0.5
Alto	0.5, 1.5
Muy alto	>1,5

Nota: Categoría según la gravedad de inundación. Fuente: (Vargas et al., 2017).

Modelamiento hidráulico para un periodo de retorno de Tr 10 años

Según los resultados del modelamiento hidráulico para un período de retorno de 10 años, se empleó la herramienta de álgebra de mapas en ArcMap para multiplicar la velocidad por el calado, lo que arrojó un valor de 17,13 m²/s. Este dato sugiere que la población cercana al cauce principal será afectada. El estudio determinó un área total impactada de 7,29 hectáreas, distribuyéndose en 5,33% con un nivel de afectación muy alto, 11% con un nivel alto, 20,15% con un nivel medio y 63,52% con un nivel bajo de amenaza para la población.

Si bien las inundaciones en este escenario no son tan críticas como en períodos de retorno más largos, aún constituyen un riesgo significativo, particularmente para las áreas al margen al cauce del río.

Tabla 14

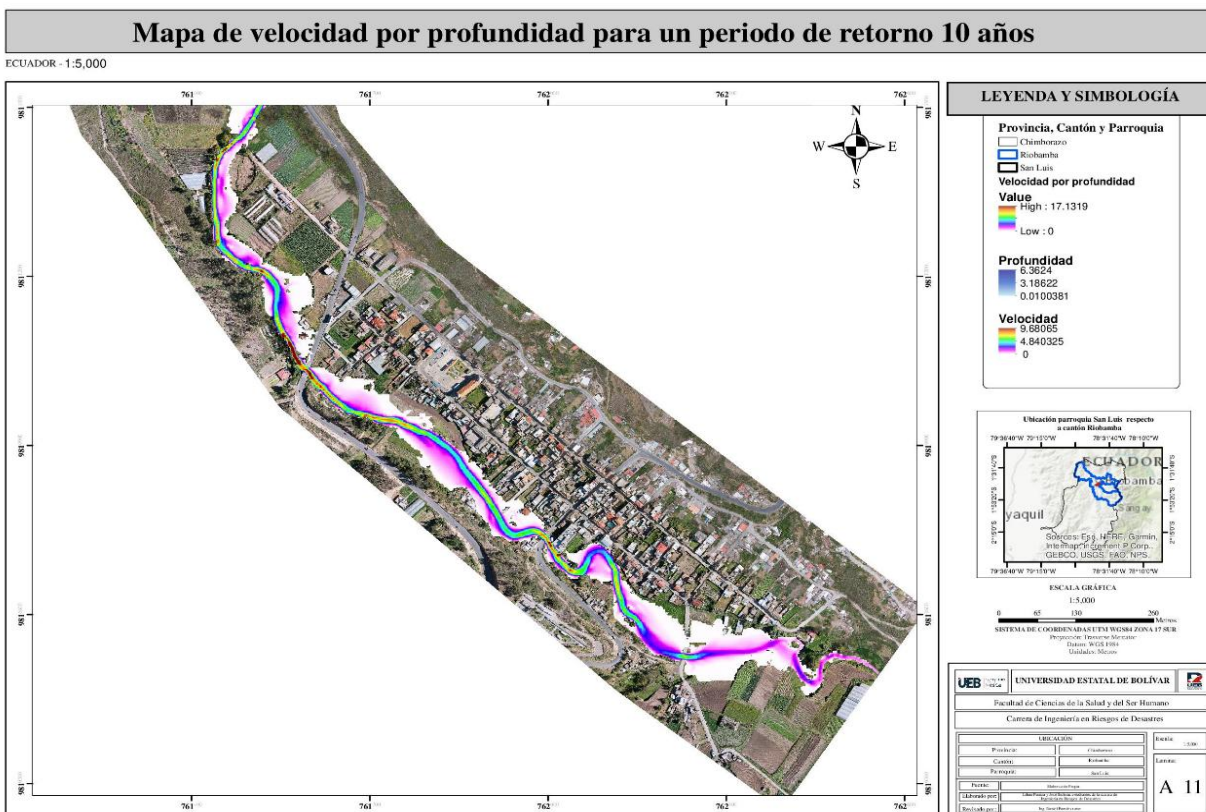
Nivel de amenaza del área de inundación Tr 10 años.

Categoría de Gravedad de inundación	Depth * Velocity Range (m²/s)		Área (ha)	Porcentaje
	Mínimo	Máximo		
Bajo	0	4.28	4.63	63.52
Medio	4.28	8.56	1.47	20.15
Alto	8.56	12.84	0.8	11
Muy Alto	12.84	17.13	0.39	5.33
Total			7.29	100

Nota. Nivel de amenaza del área de inundación Tr 500 años. Fuente: Elaboración propia (2024).

Mapa 11

Mapa de velocidad por profundidad para un TR 10 años



Nota. Mapa de velocidad por profundidad para un TR 10 años. Fuente: Elaboración propia (2024)

Modelamiento hidráulico para un periodo de retorno de Tr 50 años

En el modelamiento hidráulico para un período de retorno de 50 años, la multiplicación del calado por la velocidad arrojó un valor de 71,48 m²/s, lo que refleja un impacto considerable en la población que reside cerca del río Chibunga. El área total afectada fue de 17,92 hectáreas, con una distribución de 4,63% en nivel de afectación muy alto, 14,12% en nivel alto, 22,71% en nivel medio y 58,54% en nivel bajo de amenaza para la población.

Este escenario evidencia una mayor extensión de la afectación, alcanzando no solo las áreas cercanas al río, sino también zonas rurales. Esto conlleva daños a la infraestructura rural, interrupciones en el suministro de servicios públicos, pérdidas agrícolas y riesgos para la

seguridad de la población. La expansión de la zona afectada resalta la necesidad de implementar medidas de prevención y mitigación para proteger a las comunidades y reducir los impactos.

Tabla 15

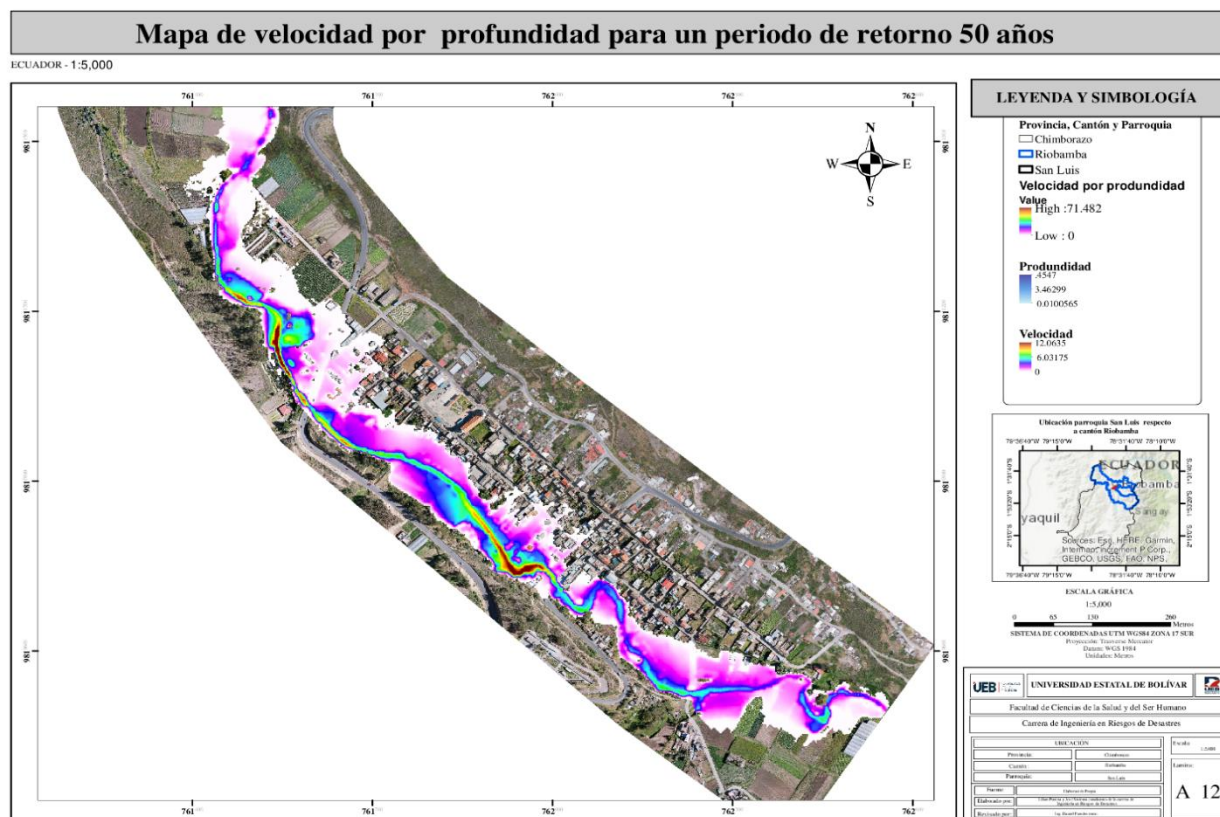
Nivel de amenaza del área de inundación Tr 50 años

Categoría de Gravedad de inundación	Depth * Velocity Range (m2/s)		Área (ha)	Porcentaje
	Mínimo	Máximo		
Bajo	0	17.87	7.05	50.94
Medio	17.78	35.74	3.89	28.11
Alto	35.74	53.61	2.37	17.12
Muy Alto	53.61	71.48	0.53	3.83
Total			13.84	100

Nota. Nivel de amenaza del área de inundación Tr 50 años. Fuente: Elaboración propia (2024).

Mapa 12

Mapa de velocidad por profundidad para un TR 50 años.



Nota. Mapa de velocidad por profundidad para un TR 50 años. Fuente: Elaboración propia (2024).

Modelamiento hidráulico para un periodo de retorno de Tr 100 años

Para un período de retorno de 100 años, el modelamiento hidráulico mostró que, al multiplicar el calado por la velocidad, se obtuvo un valor de 64,75 m²/s, lo que sugiere un impacto considerable en la población que reside cerca del río Chibunga. El área total afectada fue de 13,84 hectáreas, con una distribución de 3,83% en nivel de afectación muy alto, 17,12% en nivel alto, 28,11% en nivel medio y 50,94% en nivel bajo de amenaza para la población circundante.

En este caso, la zona afectada se amplía, incluyendo tanto áreas rurales como urbanas, lo que incrementa los riesgos para viviendas, cultivos y vías de comunicación. Este escenario subraya la necesidad de implementar estrategias de prevención y mitigación para reducir los impactos en las comunidades expuestas.

Tabla 16

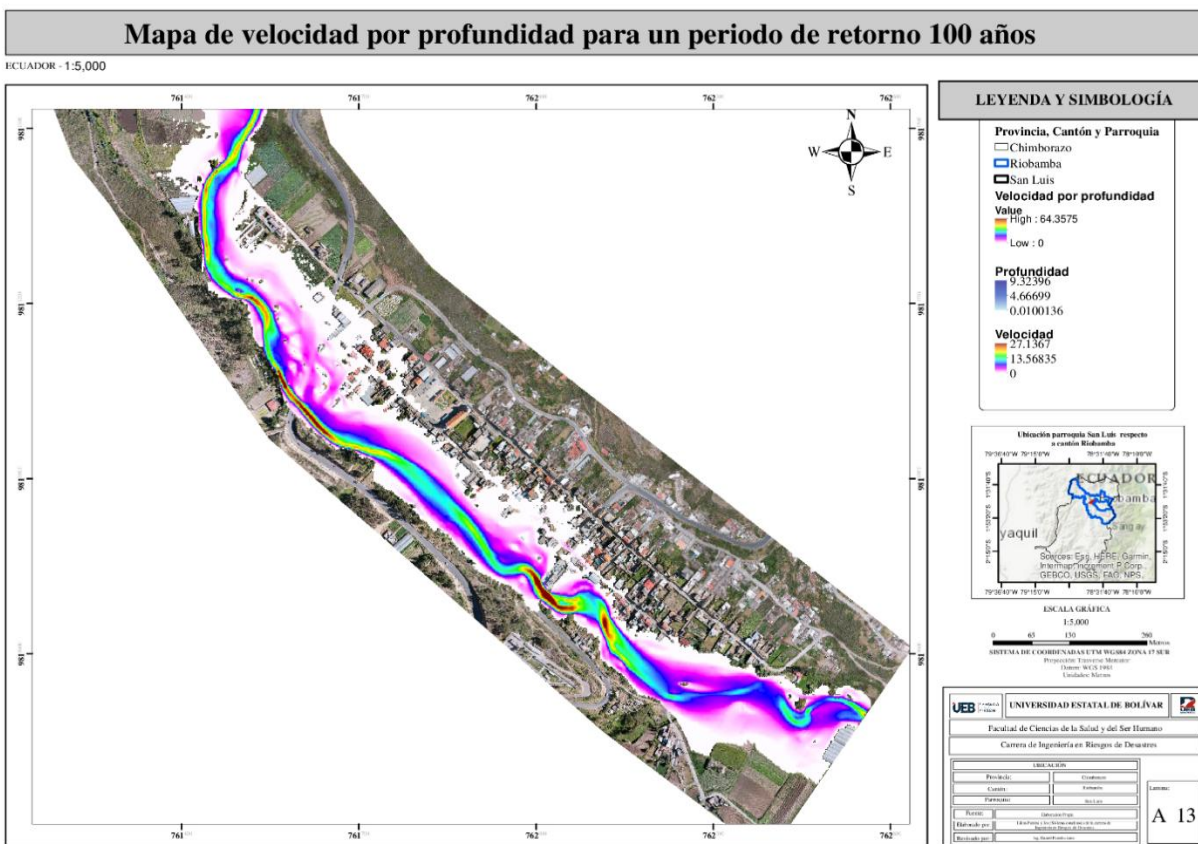
Nivel de amenaza del área de inundación Tr 100 años.

Categoría de Gravedad de inundación	Depth * Velocity Range (m ² /s)		Área (ha)	Porcentaje
	Mínimo	Máximo		
Bajo	0	16.1	10.49	58.54
Medio	16.1	32.19	4.07	22.71
Alto	32.19	48.27	2.53	14.12
Muy Alto	48.27	64.36	0.83	4.63
Total			17.92	100

Nota. Nivel de amenaza del área de inundación Tr 100 años. Fuente: Elaboración propia (2024).

Mapa 13

Mapa de velocidad por profundidad para un TR 100 años.



Nota. Mapa de velocidad por profundidad para un TR 100 años. Fuente: Elaboración propia (2024).

Modelamiento hidráulico para un periodo de retorno de Tr 500 años

En el modelamiento hidráulico para un período de retorno de 500 años, la multiplicación del calado por la velocidad arrojó un valor de 76,98 m²/s, lo que refleja un impacto significativo en la población que vive cerca del río. Los resultados indicaron que 3,82% del área afectada presenta un nivel de afectación muy alto, 17,12% un nivel alto, 28,11% un nivel medio y 50,94% un nivel bajo de amenaza para la población.

Este escenario implica inundaciones considerables causando daños graves a la seguridad de la población, infraestructuras viales, como puentes y calles urbanas, interrupción de las

comunicaciones, el transporte de bienes y personas, y dificultar el acceso a zonas afectadas para labores de rescate y reparación.

Tabla 17

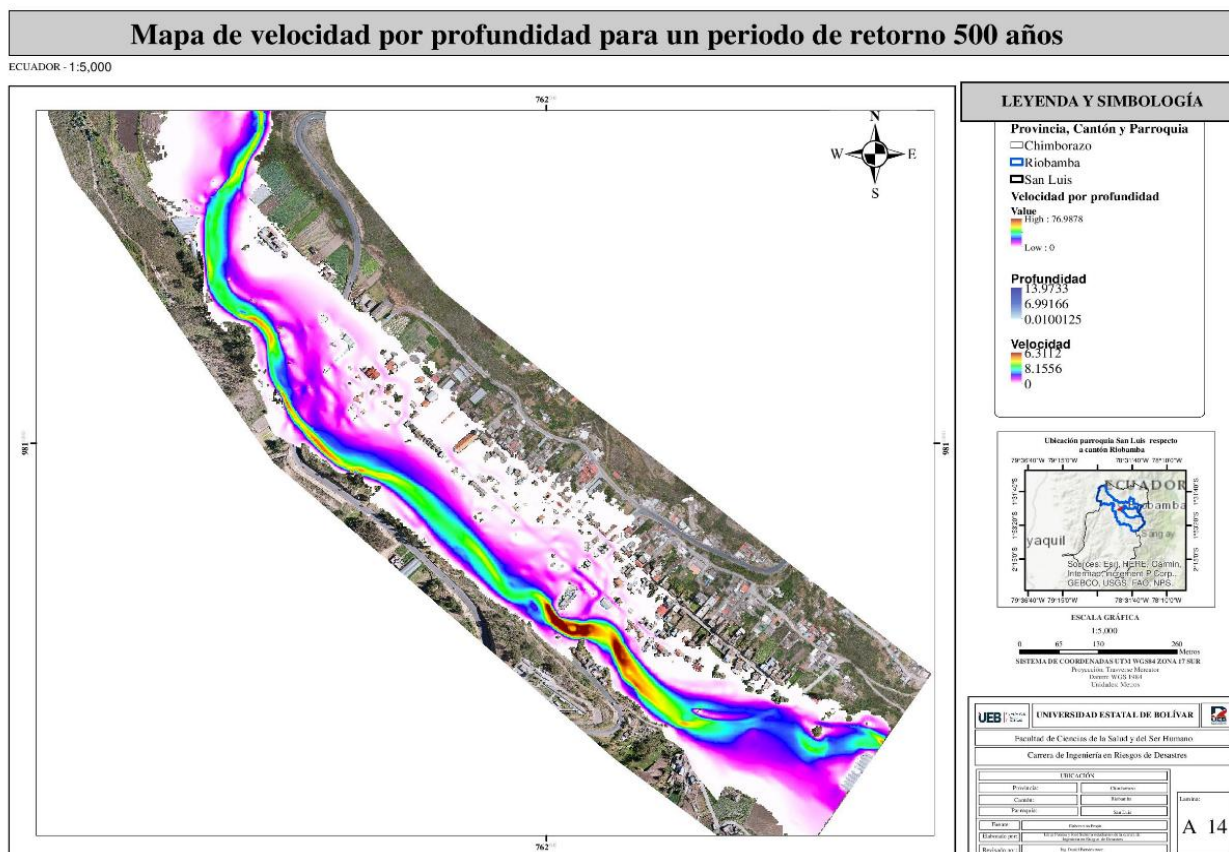
Nivel de amenaza del área de inundación Tr 500 años.

Categoría de Gravedad de inundación	Depth * Velocity Range (m2/s)		Área (ha)	Porcentaje
	Mínimo	Máximo		
Bajo	0	19.26	7.05	50.94
Medio	19.26	38.5	3.89	28.11
Alto	38.5	57.74	2.37	17.12
Muy Alto	57.74	76.99	0.53	3.83
Total			13.84	100

Nota. Nivel de amenaza del área de inundación Tr 500 años. Fuente: Elaboración propia (2024).

Mapa 14

Mapa de velocidad por profundidad para un TR 500 años.



Nota. Mapa de velocidad por profundidad para un TR 500 años. Fuente: Elaboración propia (2024).

Para identificar las afectaciones causadas por el desbordamiento del río Chibunga, se realiza cálculos hidráulicos entre calado por velocidad considerando para los diferentes periodos de retorno de 10, 50, 100 y 500 años. A continuación, se detalla las afectaciones identificadas en la parroquia San Luis.

Las zonas más afectadas son la fábrica de lácteos y la escuela, ubicadas junto al río, por lo que en periodos de retorno de 10, 50, 100 y 500 años sufren inundaciones. Los mayores impactos se registran en los periodos de 100 y 500 años, donde la afectación abarca áreas más extensas y alcanza mayor severidad.

4.1.2.2. Identificación y análisis de los elementos expuestos a inundaciones en diferentes periodos de retorno 10, 50, 100 y 500 años

Para determinar mapa de exposición, se utiliza datos obtenidos de los cálculos de profundidad por velocidad. Estos resultados permitieron establecer el nivel de amenaza, el cual se combinó con elementos esenciales como las redes de agua potable y alcantarillado. Este proceso es crucial determinar áreas vulnerables y analizar los posibles efectos sobre los elementos esenciales, considerando periodo de retorno de 10, 50, 100, 500 años.

Exposición de agua potable y alcantarillado a inundación para un periodo de retorno de 10 años

Tabla 18

Afectaciones en sistema de agua potable Tr 10 años

Elemento	Nivel de exposición	Depth * Velocity Range (m ² /s)		Longitud (m)	Porcentaje
		Mínimo	Máximo		
Agua	Bajo	0	4.28	24.67	0.52
Potable	Medio	4.28	8.56	0	0

Alto	8.56	12.84	0	0
Muy alto	12.84	17.13	0	0
Sin afectaciones			4706.46	99.48
Total			4731.12	100

Nota. Sistema de agua potable. Fuente: Elaboración propia (2024).

La exposición del sistema de agua potable muestra una baja vulnerabilidad frente a inundaciones. Solo 24.67 metros, equivalentes al 0.52% del total evaluado, presentan un nivel de exposición bajo, mientras que no se registran tramos con niveles medio, alto o muy alto de exposición. La gran mayoría del sistema, con 4706.46 metros (99.48%), no presenta afectaciones, lo que refleja una infraestructura robusta y bien ubicada. Este resultado destaca la resiliencia del sistema de agua potable frente a eventos de inundación para el periodo de retorno analizado.

Tabla 19

Afectaciones en sistema de alcantarillado Tr 10 años

Elemento	Nivel de exposición	Depth * Velocity Range (m2/s)		Longitud (m)	Porcentaje
		Mínimo	Máximo		
Alcantarillado	Bajo	0	4.28	356.35	32.3
	Medio	4.28	8.56	67.17	6.09
	Alto	8.56	12.84	26.62	2.41
	Muy alto	12.84	17.13	62.12	5.63
	Sin afectaciones			590.89	53.56
Total				1103.16	100

Nota. Sistema de alcantarillado. Fuente: Elaboración propia (2024).

Por otro lado, el sistema de alcantarillado muestra una mayor exposición. Del total de 1103.16 metros evaluados, 356.35 metros, equivalente al 32.30% se encuentran en un nivel de exposición bajo, mientras que 67.17 metros, equivalente al 6.09% presentan un nivel de exposición medio. Además, 26.62 metros, equivalente al 2.41% y 62.12 metros que representa el 5.63% se clasifican en niveles de exposición alto y muy alto, respectivamente. Aunque más de la mitad del sistema, con el 53.56%, no presenta afectaciones y el 46.44% restante requiere

atención, especialmente en los tramos con exposición alta y muy alta, que representan un riesgo significativo.

Mapa 15

Mapa de exposición de sistema de agua potable y alcantarillado de TR de 10 años.



Nota. Mapa de exposición de sistema de agua potable y alcantarillado de TR de 10 años. Fuente: Elaboración propia (2024).

Exposición de agua potable y alcantarillado a inundación para un periodo de retorno de 50 años

Tabla 20

Afectaciones en sistema de agua potable Tr 50 años

Elemento	Nivel de exposición	Depth * Velocity Range (m2/s)		Longitud (m)	Porcentaje
		Máximo	Máximo		
Agua Potable	Bajo	0	17.87	541.03	11.44
	Medio	17.78	35.74	51.01	1.08
	Alto	35.74	53.61	2.07	0.04
	Muy alto	53.61	71.48	0	0
	Sin afectaciones			4137.01	87.44
Total				4731.12	100

Nota. Sistema de agua potable. Fuente: Elaboración propia (2024).

Para el periodo de retorno de 50 años se observa un aumento en los niveles de exposición. En este escenario, el 11.44% del total evaluado se encuentran en un nivel de exposición bajo, el 1.08% están en nivel medio y el 0.04% en nivel alto. No se reportan tramos con exposición muy alta. Sin embargo, la mayoría del sistema, con el 87.44%, permanece sin afectaciones. Este comportamiento evidencia que, aunque la infraestructura es resiliente, algunos segmentos comienzan a mostrar vulnerabilidad conforme aumenta la severidad de los eventos de inundación

Tabla 21

Afectaciones en sistema de alcantarillado 50 años

Elemento	Nivel de exposición	Depth * Velocity Range (m2/s)		Longitud (m)	Porcentaje
		Mínimo	Máximo		
Alcantarillado	Bajo	0	17.87	318.01	28.83
	Medio	17.78	35.74	271.43	24.6
	Alto	35.74	53.61	122.97	11.15
	Muy alto	53.61	71.48	62.12	5.63
	Sin afectaciones			328.64	29.79
Total				1103.16	100

Nota. Sistema de alcantarillado. Fuente: Elaboración propia (2024).

Para el periodo de retorno de 50 años la exposición aumenta, se observa que el 28.83% están en un nivel de exposición bajo, mientras que el 24.60% se ubican en un nivel medio, lo que representa casi una cuarta parte del sistema. Los niveles alto y muy alto abarcan el 11.15% y el 5.63% respectivamente, concentrando un riesgo importante en estas áreas. Por otro lado, solo el 29.79% del sistema permanecen sin afectaciones, lo que muestra una vulnerabilidad del alcantarillado ante escenarios más severos de inundación.

Mapa 16

Mapa de exposición de sistema de agua potable y alcantarillado de TR de 50 años.



Nota. Mapa de exposición de sistema de agua potable y alcantarillado de TR de 50 años. Fuente: Elaboración propia (2024).

Exposición de agua potable y alcantarillado a inundación para un periodo de retorno de 100 años

Tabla 22

Afectaciones en sistema de agua potable Tr 100 años

Elemento	Nivel de exposición	Depth * Velocity Range (m2/s)		Longitud (m)	Porcentaje
		Mínimo	Máximo		
Agua Potable	Bajo	0	16.1	1105.8	23.37
	Medio	16.1	32.19	82.45	1.74
	Alto	32.19	48.27	2.07	0.04
	Muy alto	48.27	64.36	0	0
	Sin afectaciones			3540.8	74.84
Total				4731.12	100

Nota. Sistema de agua potable. Fuente: Elaboración propia (2024).

En este escenario, el 23.37% muestran a un nivel bajo de exposición, el 1.74% presentan un nivel de exposición medio, el 0.04% están clasificados con un nivel alto de exposición y no se registran tramos con exposición muy alta, es notable que el porcentaje de la infraestructura sin afectaciones se reduce al 74.84%. Este resultado indica que, aunque la mayoría del sistema sigue siendo resiliente, un cuarto de su longitud comienza a enfrentar riesgos que podrían requerir atención en futuras planificaciones

Tabla 23

Afectaciones en sistema de alcantarillado Tr 100 años

Elemento	Nivel de exposición	Depth * Velocity Range (m2/s)		Longitud (m)	Porcentaje
		Mínimo	Máximo		
Alcantarillado	Bajo	0	16.1	139.62	12.66
	Medio	16.1	32.19	268.23	24.31
	Alto	32.19	48.27	202.45	18.35
	Muy alto	48.27	64.36	112.69	10.22
	Sin afectaciones			380.16	34.46
Total				1103.16	100

Nota. Sistema de alcantarillado. Fuente: Elaboración propia (2024).

En este escenario, se observa que el 12.66% presenta un nivel bajo de exposición, el nivel medio se extiende a 24.31%, representando casi una cuarta parte de la infraestructura, el 18.35% se encuentran en un nivel de exposición alto y el 10.22% en un nivel muy alto. Solo el 34.46% permanecen sin afectaciones, lo que demuestra que más del 65% del sistema se encuentra expuesto en diversos niveles de riesgo. Estos resultados evidencian vulnerabilidad de la infraestructura de alcantarillado ante eventos de inundación de mayor magnitud.

Mapa 17

Mapa de exposición de sistema de agua potable y alcantarillado de TR de 100 años



Nota. Mapa de exposición de sistema de agua potable y alcantarillado de TR de 100 años.
Fuente: Elaboración propia (2024).

Exposición de agua potable y alcantarillado a inundación para un periodo de retorno de 500 años

Tabla 24

Afectaciones en sistema de agua potable Tr 500 años

Elemento	Nivel de exposición	Depth * Velocity Range (m ² /s)		Longitud (m)	Porcentaje
		Mínimo	Máximo		
Agua Potable	Bajo	0	19.26	2470.01	52.21
	Medio	19.26	38.5	228.61	4.83
	Alto	38.5	57.74	3.87	0.08
	Muy alto	57.74	76.99	0	0
	Sin afectaciones			2028.64	42.88
Total				4731.12	100

Nota. Sistema de agua potable. Fuente: Elaboración propia (2024).

En este escenario se evidencia un incremento en la exposición a inundaciones cuando se considera un periodo de retorno de 500 años. En este escenario, el 52.21% del sistema se encuentran expuestos a un nivel bajo de riesgo, el 4.83% presentan un nivel de exposición medio y el 0.08% están en nivel alto. No se registran tramos con exposición muy alta. El 42.88% no presenta afectaciones, sin embargo, indica que más de la mitad del sistema estaría expuesto en algún nivel de riesgo.

Tabla 25

Afectaciones en sistema de alcantarillado Tr 500 años.

Elemento	Nivel de exposición	Depth * Velocity Range (m ² /s)		Longitud (m)	Porcentaje
		Mínimo	Máximo		
Alcantarillado	Bajo	0	19.26	173.88	15.76
	Medio	19.26	38.5	102.38	9.28
	Alto	38.5	57.74	253.03	22.94
	Muy alto	57.74	76.99	289.1	26.21
	Sin afectaciones			284.77	25.81
Total				1103.16	100

Nota. Sistema de alcantarillado. Fuente: Elaboración propia (2024).

En cuanto al sistema de alcantarillado, la vulnerabilidad se evidencia aún más, ya que solo el 25.81% permanecen sin afectaciones, mientras que el resto, equivalente al 74.19%, está expuesto en diferentes niveles de riesgo. El 15.76% representa un nivel bajo de exposición, y el 9.28% abarca un nivel medio. Los tramos con mayor preocupación son aquellos clasificados como alto y muy alto, que alcanzan el 22.94% y el 26.21%, respectivamente. Esto refleja un sistema altamente comprometido frente a inundaciones, lo que podría generar problemas significativos en el manejo de aguas residuales.

Mapa 18

Mapa de exposición de sistema de agua potable y alcantarillado de TR de 500 años



Nota. Mapa de exposición de sistema de agua potable y alcantarillado de TR de 500 años.
Fuente: Elaboración propia (2024).

Para determinar mapa de exposición, se utiliza datos obtenidos de los cálculos de profundidad por velocidad. Estos resultados permitieron establecer el nivel de amenaza, el cual se combinó con elementos esenciales como sistema eléctrico. Este proceso es crucial determinar áreas vulnerables y analizar los posibles efectos sobre los elementos esenciales, considerando periodo de retorno de 10, 50, 100, 500 años.

Exposición de sistema eléctrico a inundación para un periodo de retorno de 10 años

Tabla 26

Afectaciones en sistema eléctrico Tr 10 años: línea de Voltaje Alta (kv).

Elemento	Nivel de exposición	Depth * Velocity Range (m2/s)		Longitud (m)	Porcentaje
		Mínimo	Máximo		
Sistema eléctrico - Voltaje Alta (kv)	Bajo	0	4.28	196.34	6.65
	Medio	4.28	8.56	14.9	0.5
	Alto	8.56	12.84	4.03	0.14
	Muy alto	12.84	17.13	17.59	0.6
	Sin afectaciones			2719.61	92.11
	Total			2952.46	100

Nota. Sistema eléctrico - Voltaje Alta (kv). Fuente: Elaboración propia (2024).

El sistema eléctrico de alta tensión muestra una baja vulnerabilidad ante inundaciones para un periodo de retorno de 10 años. De un total de 2952.46 metros evaluados, el 6.65% están clasificados con un nivel de exposición bajo, el 0.50% se encuentra en un nivel medio de exposición, el 0.14% representa un nivel alto y el 0.60% que se encuentran en el nivel muy alto de exposición, lo que podría representar un riesgo en este tramo. Sin embargo, la mayoría de la infraestructura, con el 92.11% permanece sin afectaciones, lo que evidencia la resiliencia del sistema frente a este tipo de eventos en su mayoría.

Tabla 27

Afectaciones en sistema eléctrico Tr 10 años: línea de Voltaje Baja (V).

Elemento	Nivel de exposición	Depth * Velocity Range (m2/s)		Longitud (m)	Porcentaje
		Mínimo	Máximo		
Sistema eléctrico - Voltaje Baja (V)	Bajo	0	4.28	76.28	1.49
	Medio	4.28	8.56	12.44	0.24
	Alto	8.56	12.84	5.99	0.12
	Muy alto	12.84	17.13	13.11	0.26
	Sin afectaciones			5022.2	97.9
Total				5130.02	100

Nota. Sistema eléctrico - Voltaje Baja (V). Fuente: Elaboración propia (2024).

En el caso del sistema de baja tensión, la vulnerabilidad es aún menor. De los 5130.02 metros analizados, el 1.49% presentan un nivel de exposición bajo, el 0.24% se encuentran en un nivel medio, el 0,12% en un nivel alto y el 0.26% en un nivel muy alto. Es importante destacar que el 97.90% del sistema, no presenta afectaciones, reflejando una infraestructura bastante robusta frente a este periodo de retorno.

Tabla 28

Afectaciones en sistema eléctrico Tr 10 años: Poste.

Elemento	Nivel de exposición	Depth * Velocity Range (m2/s)		Número de poste	Porcentaje
		Mínimo	Máximo		
Poste	Bajo	0	4.28	1	0.59
	Medio	4.28	8.56	1	0.59
	Alto	8.56	12.84	0	0
	Muy alto	12.84	17.13	0	0
	Sin afectaciones			167	98.82
Total				169	100

Nota. Sistema eléctrico – Poste. Fuente: Elaboración propia (2024).

El caso de los postes eléctricos muestra una afectación mínima. De los 169 postes evaluados, solo el 0.59% presenta niveles de exposición bajo y medio, respectivamente, mientras que ninguno se encuentra en los niveles alto o muy alto. La gran mayoría, 167 postes (98.82%),

están sin afectaciones, lo que reafirma la baja vulnerabilidad de esta infraestructura frente a inundaciones de esta magnitud.

Mapa 19

Mapa de exposición de sistema eléctrico de TR de 10 años



Nota. Mapa de exposición de sistema eléctrico de TR de 10 años. Fuente: Elaboración propia (2024).

Exposición de sistema eléctrico a inundación para un periodo de retorno de 50 años

Tabla 29

Afectaciones en sistema eléctrico Tr 50 años: Línea de Voltaje Alta (kv).

Elemento	Nivel de exposición	Depth * Velocity Range (m2/s)		Longitud (m)	Porcentaje
		Mínimo	Máximo		
Sistema eléctrico - Voltaje Alta (kv)	Bajo			458.67	15.54
	Medio	17.78	35.74	92.47	3.13
	Alto	35.74	53.61	20.46	0.69
	Muy alto	53.61	71.48	0	0

Sin afectaciones	2380.86	80.64
Total	2952.46	100

Nota. Sistema eléctrico - Voltaje Alta (kv). Fuente: Elaboración propia (2024).

En este periodo de retorno, el sistema eléctrico de alta tensión muestra un aumento en la vulnerabilidad respecto a inundaciones. De los 2952.46 metros analizados, el 15.54% presentan un nivel de exposición bajo, el 3.13% y el 0.69% se encuentran en niveles medio y alto, respectivamente. No se registran tramos en exposición muy alta, lo cual es positivo, pero la proporción de infraestructura sin afectaciones se reduce al 80.64%.

Tabla 30

Afectaciones en sistema eléctrico Tr 50 años: línea de Voltaje Baja (V).

Elemento	Nivel de exposición	Depth * Velocity Range (m2/s)		Longitud (m)	Porcentaje
		Mínimo	Máximo		
Sistema eléctrico - Voltaje Baja (V)	Bajo	0	17.87	664.07	12.94
	Medio	17.78	35.74	41.75	0.81
	Alto	35.74	53.61	23.05	0.45
	Muy alto	53.61	71.48	14.37	0.28
	Sin afectaciones			4386.78	85.51
	Total			5130.02	100

Nota. Sistema eléctrico - Voltaje Baja (V). Fuente: Elaboración propia (2024).

En el caso del sistema de baja tensión, la exposición también aumenta ligeramente. De los 5130.02 metros analizados, el 12.94% están en un nivel bajo de exposición, el 0.81% en nivel medio, el 0.45% en nivel alto, y el 0.28% en nivel muy alto. Aunque la infraestructura sin afectaciones sigue siendo predominante con el 85.51%, los tramos vulnerables están distribuidos de manera más uniforme, destacando la necesidad de atención específica en las áreas clasificadas con exposición alta y muy alta.

Tabla 31

Afectaciones en sistema eléctrico Tr 50 años: Poste.

Elemento	Nivel de exposición	Depth * Velocity Range (m2/s)		Número de Poste	Porcentaje
		Mínimo	Máximo		

Poste	Bajo	0	17.87	18	10.65
	Medio	17.78	35.74	3	1.78
	Alto	35.74	53.61	0	0
	Muy alto	53.61	71.48	0	0
	Sin afectaciones			148	87.57
	Total			169	100

Nota. Sistema eléctrico – Poste. Fuente: Elaboración propia (2024).

Los postes eléctricos muestran una mayor exposición en comparación con un periodo de retorno menor. De los 169 postes evaluados, el 10.65% presentan un nivel de exposición bajo, el 1.78% se encuentran en nivel medio. No hay postes expuestos a niveles alto o muy alto y el 87.57% permanecen sin afectaciones, lo que indica una vulnerabilidad moderada en ciertos puntos específicos.

Mapa 20

Mapa de exposición de sistema eléctrico de TR de 50 años



Nota. Mapa de exposición de sistema eléctrico de TR de 50 años. Fuente: Elaboración propia (2024).

Exposición de sistema eléctrico a inundación para un periodo de retorno de 100 años

Tabla 32

Afectaciones en sistema eléctrico Tr 100 años: línea de Voltaje Alta (kv).

Elemento	Nivel de exposición	Depth * Velocity Range (m2/s)		Longitud (m)	Porcentaje
		Mínimo	Máximo		
Sistema eléctrico - Voltaje Alta (kv)	Bajo	0	16.1	684.51	23.18
	Medio	16.1	32.19	147.06	4.98
	Alto	32.19	48.27	93.08	3.15
	Muy alto	48.27	64.36	15.33	0.52
	Sin afectaciones			2012.48	68.16
Total				2952.46	100

Nota. Sistema eléctrico - Voltaje Alta (kv). Fuente: Elaboración propia (2024).

Para un periodo de retorno de 100 años, el sistema eléctrico de alta tensión experimenta vulnerabilidad. De los 2952.46 metros evaluados, el 23.18% presentan un nivel de exposición bajo, el 4.98% un nivel medio, el 3.15% un nivel alto y el 0.52% un nivel de exposición muy alto, lo que representa un punto alto de atención. La infraestructura sin afectaciones disminuye al 68.16% evidenciando un impacto mayor en comparación con periodos de retorno menores.

Tabla 33

Afectaciones en sistema eléctrico Tr 100 años: Línea de Voltaje Baja (V).

Elemento	Nivel de exposición	Depth * Velocity Range (m2/s)		Longitud (m)	Porcentaje
		Mínimo	Máximo		
Sistema eléctrico - Voltaje Baja (V)	Bajo	0	16.1	1152.05	22.46
	Medio	16.1	32.19	111.44	2.17
	Alto	32.19	48.27	27.58	0.54
	Muy alto	48.27	64.36	15.99	0.31
	Sin afectaciones			3822.96	74.52
Total				5130.02	100

Nota. Sistema eléctrico - Voltaje Baja (V). Fuente: Elaboración propia (2024)

El sistema de baja tensión también muestra una vulnerabilidad creciente. De los 5130.02 metros totales, el 22.46% se clasifican en nivel de exposición bajo, el 2.17% en nivel medio, el

0.54% un nivel alto, y el 0.31% en nivel muy alto. A pesar de que el 74.52% permanece sin afectaciones, los tramos con exposición incrementada sugieren la necesidad de acciones preventivas y correctivas para garantizar la continuidad del servicio.

Tabla 34

Afectaciones en sistema eléctrico Tr 100 años: Poste.

Elemento	Nivel de exposición	Depth * Velocity Range (m2/s)		Número de poste	Porcentaje
		Mínimo	Máximo		
Poste	Bajo	0	16.1	25	14.79
	Medio	16.1	32.19	5	2.96
	Alto	32.19	48.27	1	0.59
	Muy alto	48.27	64.36	0	0
	Sin afectaciones			138	81.66
	Total			169	100

Nota. Sistema eléctrico – Poste. Fuente: Elaboración propia (2024).

En cuanto a los postes eléctricos, de los 169 evaluados, el 14.79% tienen un nivel de exposición bajo, el 2.96% un nivel medio, y el 0.59% se encuentra en nivel alto. No se registran postes en nivel muy alto, y el 81.66% permanecen sin afectaciones. Aunque la mayoría de los postes no presentan riesgos significativos, el incremento en los niveles bajo y medio refleja áreas puntuales que requieren atención.

Mapa 21

Mapa de exposición de sistema eléctrico de TR de 100 años



Nota. Mapa de exposición de sistema eléctrico de TR de 100 años. Fuente: Elaboración propia (2024).

Exposición de sistema eléctrico a inundación para un periodo de retorno de 500 años

Tabla 35

Afectaciones en sistema eléctrico Tr 500 años: línea de Voltaje Alta (kv).

Elemento	Nivel de exposición	Depth * Velocity Range (m2/s)		Longitud (m)	Porcentaje
		Mínimo	Máximo		
Sistema eléctrico - Voltaje Alta (kv)	Bajo	0	19.26	1442.07	48.84
	Medio	19.26	38.5	231.89	7.85
	Alto	38.5	57.74	137.62	4.66
	Muy alto	57.74	76.99	10.96	0.37
	Sin afectaciones			1129.92	38.27
Total				2952.46	100

Nota. Sistema eléctrico - Voltaje Alta (kv). Fuente: Elaboración propia (2024).

Para un periodo de retorno de 500 años, el sistema eléctrico de alta tensión presenta una notable redistribución en los niveles de exposición. De los 2952.46 metros analizados, el 48.84% se encuentran en nivel bajo, lo que representa casi la mitad de la infraestructura evaluada. Los niveles medio y alto representan el 7.85% y el 4.66%, respectivamente, mientras que el 0.37% están clasificados en nivel muy alto. La proporción de infraestructura sin afectaciones disminuye significativamente al 38.27%, evidenciando una mayor vulnerabilidad ante inundaciones.

Tabla 36

Afectaciones en sistema eléctrico Tr 500 años: Línea de Voltaje Baja (V).

Elemento	Nivel de exposición	Depth * Velocity Range (m2/s)		Longitud (m)	Porcentaje
		Mínimo	Máximo		
Sistema eléctrico - Voltaje Baja (V)	Bajo	0	19.26	2445.05	47.66
	Medio	19.26	38.5	372.63	7.26
	Alto	38.5	57.74	44.64	0.87
	Muy alto	57.74	76.99	18.44	0.36
	Sin afectaciones			2249.26	43.85
	Total			5130.02	100

Nota. Sistema eléctrico - Voltaje Baja (V). Fuente: Elaboración propia (2024).

El sistema de baja tensión refleja una situación similar, con una gran parte de la infraestructura expuesta a distintos niveles de riesgo. De los 5130.02 metros totales, el 47.66% se encuentran en nivel bajo, el 7.26% están en nivel medio, el 0.87% en nivel alto, y 0.36% en nivel muy alto. Solo el 43.85% permanece sin afectaciones, indicando que casi el 60% de la infraestructura está expuesta en algún grado a inundaciones.

Tabla 37

Afectaciones en sistema eléctrico Tr 500 años: Poste.

Elemento	Nivel de exposición	Depth * Velocity Range (m2/s)		Número de poste	Porcentaje
		Mínimo	Máximo		
Poste	Bajo	0	19.26	71	42.01
	Medio	19.26	38.5	15	8.88
	Alto	38.5	57.74	2	1.18

Muy alto	57.74	76.99	0	0
Sin afectaciones			81	47.93
Total			169	100

Nota. Sistema eléctrico - Poste. Fuente: Elaboración propia (2024)

En cuanto a los postes eléctricos, de los 169 evaluados, el 42.01% presentan un nivel de exposición bajo, el 8.88% están clasificados en nivel medio y el 1.18% en nivel alto. No se registran postes con nivel muy alto de exposición, pero el 47.93% permanece sin afectaciones, lo que implica que más de la mitad de los postes se encuentran expuestos a distintos niveles de riesgo.

Mapa 22

Mapa de exposición de sistema eléctrico de TR de 500 años



Nota. Mapa de exposición de sistema eléctrico de TR de 500 años. Fuente: Elaboración propia (2024).

4.1.3. Objetivo 3. Proponer medidas de reducción de riesgo ante la amenaza de inundación del río Chibunga en la parroquia San Luis del cantón Riobamba

A lo largo de la investigación, se determinó la magnitud de afectación sobre los elementos esenciales. De acuerdo con los resultados obtenidos a través de la investigación. Se han identificado diversas afectaciones en el elemento esencial puede impactar significativamente a la parroquia. Por lo tanto, se proponen las medidas de reducción de riesgos que abarquen soluciones estructurales como no estructurales.

4.1.3.1. Medidas de reducción de riesgo estructurales.

Las medidas estructurales son construcciones físicas diseñadas para mitigar el impacto de inundaciones, pero su funcionalidad es limitada, ya que solo protegen frente a eventos con una probabilidad específica. Si ocurre un evento mayor al previsto, pierden su capacidad de protección y funcionalidad (Escuder et al., 2010). Entre las medidas estructurales tenemos:

Infraestructura de protección

La implementación de infraestructura de protección no solo permite contener y encauzar el flujo de agua, sino que también protegen a las habitantes cercanas al río y sus bienes, ya que contribuyen a la seguridad y resiliencia de la población frente a eventos hidrometeorológicos.

Tabla 38

Medidas estructurales: Infraestructura de protección

Componente de medida de reducción	Medidas estructurales	Fuente de verificación	Responsables
--	------------------------------	-------------------------------	---------------------

Infraestructura de protección	1. Construcción de muros de contención y diques en la fábrica de lácteos y en la escuela de la parroquia, utilizando materiales apropiados, conforme a los diseños previamente aprobados.	Planos, diseños de Infraestructura y Registro fotográfico de la construcción	<ul style="list-style-type: none"> ✓ GAD parroquial ✓ MTOP ✓ Comunidad
	2. Realizar reforzamiento de los sistemas de agua potable y alcantarillado que se encuentra en la ribera del río, y el sistema eléctrico (cambiar los postes de madera por los de hormigón ya que son más resistentes)	Registro fotográfico	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Autoridades Municipales y Ambientales ✓ Ingenieros y Expertos en Hidrología

Nota. Infraestructura de protección medidas estructurales. Fuente: Elaboración propia (2024)

Construcción de albarradas

La construcción de albarradas es una medida para el control del flujo de agua, ya que permiten un manejo más controlado del agua, reduciendo el riesgo de erosión del suelo y asegurando una distribución más equilibrada de los recursos hídricos. Esta medida es esencial para mitigar los efectos de fenómenos climáticos extremos y contribuir a la seguridad y sostenibilidad de zona afectada.

Tabla 39

Medidas estructurales: Construcción de albarradas

Componente de medida de reducción	Medidas estructurales	Fuente de verificación	Responsables
Construcción de albarradas	Construcción de albarradas en la parte alta de la cabecera parroquial con el objetivo de captar y almacenar agua lluvia, garantizando su aprovechamiento en épocas de sequía para el riego en los cultivos.	Planos, reportes de construcción y registro fotográfico	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Municipio de Riobamba ✓ MTOP ✓ Grupos de Voluntarios Comunitarios

Nota. Construcción de albardas medidas estructurales. Fuente: Elaboración propia (2024)

Sistemas de alerta temprana

Establecer un sistema de monitoreo permanente del río Chibunga, mediante la instalación de sensores y estaciones de monitoreo y ubicadas en los puntos estratégicos de la cuenca. El propósito es detectar el aumento en el caudal y emitir alertas a los organismos de respuesta y los habitantes en caso de amenaza de desbordamiento del río, con ellos facilitando una respuesta rápida y efectiva.

Tabla 40

Medidas estructurales: Sistema de Alerta Temprana (SAT)

Componente de medida de reducción	Medidas estructurales	Fuente de Verificación	Responsable
Sistema de Alerta Temprana (SAT)	1. Identificar y mapear ubicaciones estratégicas para instalar los instrumentos de alerta temprana.	Plan de Ubicación sirenas	
	2. Adquirir e instalar los equipos necesarios como sensores de nivel de agua y pluviómetros, sirenas comunitarias.	Facturas y Recibos de Compra	<ul style="list-style-type: none"> ✓ SNGR ✓ INAMHI ✓ GAD parroquial
	3. Puesto que en el hidrograma se presenta mayor precipitación en la madrugada, por ende, se requiere instalar una estación meteorológica que proporcioné datos con pronósticos en tiempo real.	Registro y reportes técnicos, Informe de los pronóstico y Documentos de adquisición	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Unidad de Riegos de Riobamba ✓ Comité comunitario

Nota. Sistema de Alerta Temprana (SAT) medidas estructurales. Fuente: Elaboración propia (2024).

4.1.3.2. Medidas de reducción de riesgo no estructurales.

Las medidas no estructurales son estrategias basadas en políticas, sensibilización, planificación y coordinación, destinadas a reducir riesgos e impactos de inundaciones sin requerir infraestructura física. Estas medidas abarcan la participación de políticas pública, la difusión de información, planificación urbana, predicción de inundaciones y procedimientos de operación, y desempeñan un papel crucial en la gestión de riesgos actuales y futuros. (Pettan Cedeño, 2019). A continuación, las medidas no estructurales.

Educación comunitaria

Implementar campañas educativas dirigidas a los habitantes de la parroquia San Luis, con el objetivo de sensibilizar sobre el riesgo de desbordamiento del río Chibunga y promover medidas preventivas. Estas iniciativas incluirán información sobre cómo actuar en caso de emergencias y la señalización adecuada de rutas de evacuación.

Tabla 41*Medidas no estructurales: Educación Comunitaria.*

Componente de medida de reducción	Medidas no estructurales	Fuente de Verificación	Responsable
Educación Comunitaria	1. Elaborar materiales educativos sobre riesgos de desbordamiento río chibunga, así como medidas preparación y acciones preventivas que se pueden adoptar.	Material Impreso y Digital	✓ Unidad de Gestión de Riesgos Cantonal
	2. Organizar charlas y talleres dirigidos a los habitantes, con el propósito de sensibilizar sobre riesgo de desbordamiento del río y cómo actuar.	Registro	✓ GAD Parroquial de San Luis
	3. Planificar y ejecutar simulacros educativos donde los habitantes puedan aprender preparar los kits de supervivencia y el conocer rutas de evacuación.	Registro de Simulacros Educativos	✓ Instituciones Educativas Locales
	4. Evaluar periódicamente para determinar la efectividad de los talles y realizar ajustes según las necesidades de la comunidad.	Reportes de Evaluación	

Nota. Educación Comunitaria medidas no estructurales. Fuente: Elaboración propia (2024)

La limpieza y el mantenimiento

La limpieza y mantenimiento del cauce del río es fundamental, ya que a través de esta medida se elimina la acumulación de desechos y sedimentos, lo que permite un flujo adecuado del agua, especialmente durante épocas de lluvias intensas. Además, facilita la planificación de intervenciones oportunas, asegurando el correcto funcionamiento del río y protegiendo a la población cerca al río.

Tabla 42*Medidas no estructurales: Limpieza y mantenimiento*

Componente de medida de reducción	Medidas no estructurales	Fuente de verificación	Responsables
Limpieza y mantenimiento	1. Realizar estudios técnicos para determinar los sectores, donde se encuentra obstrucciones o bloqueos.	Informe técnico	✓ GAD parroquial
	2. Efectuar limpieza periódica del cauce del río para garantizar un flujo adecuado del agua.	Registro y fotográfico	✓ Municipio de Riobamba
	3. Realizar dragados con el fin de remover desechos y obstáculos que bloquean el flujo normal del río, asegurando que el cauce tenga capacidad suficiente para abastecer el caudal durante la precipitación.	Registro y fotográfico	✓ Población
	4. Realizar monitoreo continuo de las condiciones del cauce para planificar intervenciones futuras.	Informes de monitoreo	✓ Grupos de voluntarios

Nota. Limpieza y mantenimiento no estructurales. Fuente: Elaboración propia (2024)

Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial

Establecer el plan de ordenamiento territorial que establezca normativas y directrices que regula el uso adecuado de suelo. Estas normativas restringirán las construcciones en áreas con alto riesgo a inundación, con ello prevenir la expansión urbana en zonas vulnerables y mitigar el impacto de desbordamiento del río Chibunga.

Tabla 43*Medidas no estructurales: Ordenamiento Territorial*

Componente de medida de reducción	Medidas no estructurales	Fuente de Verificación	Responsable
PDOT	1. Determinar las áreas con mayor exposición a inundaciones.	Informes de evaluación	
	2. Elaborar PDOT que establezca normativas específicas para el uso del suelo, según los niveles de riesgo identificados.	PDOT	✓ GAD Parroquial
	3. Establecer restringir para la construcción de viviendas en áreas cercanas al río y promover un manejo adecuado del suelo en áreas con mayor riesgo.	Mapas de áreas con restricción	✓ Unidad de Gestión de Riesgos Cantonal
	4. Realizar un seguimiento constante al cumplimiento de las normativas mediante inspecciones, aplicando medidas sancionatorias en caso de incumplimiento.	Monitoreo y sancionadoras	✓ Urbanistas y Expertos en Planificación

Nota. Ordenamiento Territorial medidas no estructurales. Fuente: Elaboración propia (2024).

Sistema de Alerta Temprana (SAT)

Establecer sistemas de alerta temprana es fundamental, ya que permiten detectar amenazas y brinda el tiempo suficiente para tomar medidas preventivas, como evacuaciones y cierres de rutas peligrosas. Esto permite que las autoridades y la comunidad actúen de manera adecuada para salvaguardando las vidas y los bienes.

Tabla 44*Medidas no estructurales: Sistema de Alerta Temprana (SAT)*

Componente de medida de reducción	Medidas no estructurales	Fuente de Verificación	Responsable
Sistema de Alerta Temprana (SAT)	1. Establecer índices de alerta temprana basados según pronósticos meteorológicos.	Documento de criterios de Índices	✓ GAD Parroquial
	2. Implementar un mecanismo alerta que integre diferentes vías de comunicación, como SMS y apps móviles.	Plan de Integración de Comunicación	✓ Unidad de Gestión de Riesgos Cantonal
	3. Capacitar a los habitantes y autoridades locales sobre el funcionamiento sistema de alerta, para tenga conocimiento como actuar de manera adecuada durante una emergencia.	Registro de Sesiones de Capacitación	✓ Equipo de logística (Bomberos, Policía Nacional)

Nota. Sistema de Alerta Temprana (SAT) medidas no estructurales. Fuente: Elaboración propia (2024).

Monitoreo y Evaluación Continua

Implementar sistemas de monitoreo y evaluación permanentes que permitan medir la eficacia de las medidas implementadas para prevenir y mitigar el desbordamiento del río Chibunga. Con base en la información obtenida, realizar ajustes periódicos para que las medidas implementadas sean efectivas y se adapten según las necesidades específicas de la parroquia y de sus habitantes.

Tabla 45

Medidas no estructurales: Monitoreo y Evaluación Continua

Componente de medida de reducción	Medidas no estructurales	Fuente de Verificación	Responsable
Monitoreo y Evaluación Continua	1. Implementar sistemas de monitoreo continuo para determinar el nivel del caudal y las condiciones meteorológicas de la cuenca de río Chibunga.	Informes de Monitoreo y Datos Recopilados	
	2. Evaluar y analizar periódicamente los datos recopilados sobre el nivel del caudal del río Chubunga para identificar variaciones y patrones.	Informes de Análisis y Evaluación	✓ GAD Parroquial
	3. Determinarla efectividad de las medidas implementadas, según las informaciones recopilados a través de los sistemas de monitorio.	Informes de Evaluación	✓ Unidad Gestión de Riesgos cantonal
	4. Identificar las áreas que necesitan acciones correctivas sobre las medidas implementadas, considerando las variaciones climáticas y los cambios demográficos de la cuenca.	Informes de seguimiento	✓ Instituciones de Investigación INHAMI
	5. Informar de manera eficiente comunidad los resultados del monitoreo y evolución del evento, además las acciones implementadas.	Informes de Comunicación	✓ Secretaria de Gestión de Riesgos
	6. Actualizar plan de emergencia según las recomendaciones técnicas, garantizando su adaptabilidad y efectividad a largo plazo.	Versiones Actualizadas	

Nota. Monitoreo y Evaluación medidas no estructurales. Fuente: Elaboración propia (2024).

Respuesta ante desbordamiento

Establecer protocolos de respuesta para el evento de desbordamientos del río Chibunga, que involucren la colaboración entre organismo de emergencia y respuesta y autoridades

gubernamentales. Estos mecanismos aseguraran una respuesta coordinada y eficaz, reduciendo los impactos del desbordamiento y apoyando a la población afectada.

Tabla 46

Medidas no estructurales: Respuesta ante desbordamiento

Componente de medida de reducción	Medidas no estructurales	Fuente de Verificación	Responsable
Respuesta ante desbordamiento	1. Identificar y asignar los organismos de respuestas, responsables de coordinar y ejecutar acciones necesarias, garantizando una intervención eficaz.	Listado de Entidades Designadas	
	2. Crear protocolos detallados de respuesta ante el evento, asignado roles, responsabilidades para una respuesta de eficiente.	Protocolos de Respuesta Ante Desbordamientos	✓ GAD parroquial ✓ Autoridades Gubernamentales
	3. Implementar protocolos de medios de comunicación y coordinación con los organismos de respuesta.	Informes de Simulacros y Ejercicios	✓ Unidad Gestión de Riesgos cantonal
	4. Capacitar a la comunidad en medidas de respuesta ante desbordamientos, como puntos de encuentro seguros y rutas de evacuación.	Materiales Asistencia	✓ Secretaria de Gestión de Riesgos
	5. Evaluar periódicamente los mecanismos de respuesta, basándose en los resultados de los simulacros y la experiencia acumulada.	Informes de Evaluación	

Nota. Respuesta ante desbordamiento medidas no estructurales. Fuente: Elaboración propia (2024).

CONCLUSIONES

1. Los factores tanto condicionantes como detonantes inciden de manera significativa al desbordamiento del río Chibunga en la parroquia San Luis. Entre los condicionantes, destacan el uso inadecuado del suelo como la deforestación, agricultura intensiva y expansión urbana desordenada, así como también las pendientes pronunciadas y los suelos de baja permeabilidad, que aumentan la escorrentía superficial. Por otra parte, entre los factores detonantes se destacan las precipitaciones ya que saturan los suelos y arrastran sedimentos hacia el cauce lo que incrementan el riesgo de desbordamiento.

2. Se determinó las afectaciones en los elementos esenciales ante inundaciones del río Chibunga, considerando períodos de retorno de 10, 50, 100 y 500 años. El sistema de agua potable demostró una alta resiliencia, mientras que el alcantarillado mostró una vulnerabilidad significativa, alcanzando un 74.19% de exposición en el escenario más severo. En cuanto al sistema eléctrico, se evidencia un bajo riesgo en periodos cortos, pero su vulnerabilidad aumentó a más del 60% en escenarios extremos. Se elaboró un mapa de exposición que identificó áreas críticas y permitió evaluar el alcance de los desbordamientos del río.

3. Se han propuesto medidas estructurales y no estructurales que servirán como insumos clave en la toma de decisiones, estas acciones buscan fortalecer la capacidad de respuesta de las autoridades y reducir la vulnerabilidad de la población frente a eventos asociados al comportamiento del río. En ese sentido la implementación de dichas medidas permitirá mitigar y prevenir riesgos, minimizando los costos de afectación en la cabecera parroquial de San Luis. Al priorizar acciones preventivas y correctivas, se logrará una gestión más eficiente del territorio, protegiendo así los medios de vida, la infraestructura y los recursos locales.

RECOMENDACIONES

1. Para abordar los impactos negativos derivados de los factores condicionantes y detonantes de los desbordamientos del río Chibunga, se recomienda la reforestación de las zonas afectadas por la deforestación, el fomento de prácticas agrícolas sostenibles, y la implementación de técnicas de conservación de suelos. Además, se sugiere establecer sistemas de alerta temprana para las comunidades en riesgo. También se recomienda llevar a cabo estudios técnicos en las zonas altas y medias de la cuenca, con el fin de controlar la erosión y reducir la acumulación de sedimentos, lo que contribuirá a proteger a las poblaciones cercanas al río.

2. Las instituciones públicas y privadas del área Gestión de Riesgos sugiere el uso de drones con tecnología LiDAR y RTK, capaces de obtener datos de alta precisión, con resoluciones menores a 3 metros e incluso milimétricas. Esto facilita la modelación hidráulica mediante software especializado, optimizando las simulaciones de inundación y permitiendo identificar con mayor certeza las áreas en riesgo de desbordamiento del río Chibunga. Además, es fundamental realizar estudios científicos para garantizar el uso adecuado del software y seleccionar herramientas tecnológicas avanzadas que fortalezcan los análisis y la toma de decisiones ante posible desbordamiento río.

3. Implementar un programa continuo de capacitación dirigido a la población, que proporcione información clara, accesible y práctica sobre las acciones a tomar antes, durante y después de una posible amenaza de desbordamiento del río Chibunga. Estas capacitaciones deben priorizar la comprensión de medidas preventivas, adaptando los contenidos a las necesidades y características de la comunidad para garantizar su efectividad. Esta iniciativa debe ser liderada por las entidades competentes, como el GAD Municipal de Riobamba, el GAD Parroquial de San Luis, la Unidad de Gestión de Riesgos, SGR y el Cuerpo de Bomberos. De

este modo, se reducirá significativamente el nivel de riesgo y se minimizarán los impactos en la parroquia.

BIBLIOGRAFÍA

- Aeroterra. (1969). *Historia de Aeroterra | Sistemas de Información Geográfica—Aeroterra*.
<https://www.aeroterra.com/es-ar/sobre-aeroterra/historia-de-aeroterra>
- Alarcón, S., & Basantes, K. (2022). *Determinación de zonas urbanas vulnerables a inundaciones causadas por las principales quebradas de Guano empleando distintos modelos hidrológicos e hidráulicos* [Investigación, Universidad nacional de Chimborazo].
http://dspace.unach.edu.ec/bitstream/51000/10021/1/Alarc%c3%b3n%20%2c%20Sebasti%c3%a1n_Basantes%20%2c%20Katherine%282022%29_Determinaci%c3%b3n%20de%20zonas%20urbanas%20vulnerables%20a%20inundaciones%20causadas%20por%20las%20principales%20quebradas%20de%20Guano.pdf
- Alvarado, E. (2017). *Manual de Medición de Caudales*. <https://icc.org.gt/wp-content/uploads/2023/03/064.pdf>
- Álvarez Villanueva, J. I., & Huamán Vidaurre, J. F. (2022). Modelos hidrológicos para la estimación de caudal ecológico. *Manglar*, 19(2), 201-207.
<https://doi.org/10.17268/manglar.2022.025>
- Blanco, P. S. (2020). La intensidad de las precipitaciones y el cambio climático: Tendencias y variabilidades interanuales registradas en algunas localidades del Nordeste Argentino (período 1971-2019). *Geográfica Digital*, 17(34), 47-64.
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8564656>
- Celeo. (2018). *Hietograma o Histograma*. Scribd.
<https://es.scribd.com/document/373509996/Hietograma-o-Histograma>
- Chileno, G & Agualongo, J. (2023). “Análisis de las afectaciones por el desbordamiento del río Suquibí en la zona del Barrio La Primavera de San Luis de Pambil, Provincia Bolívar,

periodo abril-septiembre 2023” [Universidad Estatal de Bolívar].

<https://dspace.ueb.edu.ec/handle/123456789/6438>

Constitución de la República del Ecuador. (2008). *Constitución de la República del Ecuador.*

COOTAD. (2010). *LEY ORGÁNICA REFORMATORIA AL CÓDIGO ORGÁNICO DE ORGANIZACIÓN TERRITORIAL, AUTONOMÍA Y DESCENTRALIZACIÓN.*

Decreto Ejecutivo No 394. (2024). *Decreto Ejecutivo No 394.*

https://strapi.lexis.com.ec/uploads/Decreto_Ejecutivo_No_394_20240818112253_20240818112258_20240818112300_095e644fb0.pdf

Duque, J., González, S., Andrade, X., & Garzón, Ó. (2015). *MEMORIA TÉCNICA - CANTÓN RIOBAMBA.*

Durango, Y. O. (2020). *DINÁMICA DE LAS INUNDACIONES EN EL MUNICIPIO DE SAN PELAYO (CÓRDOBA) DESDE SU CONFIGURACIÓN ESPACIAL HASTA LA ACTUALIDAD: UNA MIRADA DESDE LA GEOGRAFÍA HISTÓRICA.*

<https://repositorio.unicordoba.edu.co/server/api/core/bitstreams/65a77aed-9da5-4139-b7ee-50d2b57fac73/content>

EcuRed. (2020). *Artículos de interés y actualidad en las temáticas relacionadas con la Cultura.*

https://www.ecured.cu/EcuRed:Enciclopedia_cubana

Escuder, I., Matheu, E., & Castillo, J. (2010). *Análisis y evaluación de riesgos de inundación: Estimación del impacto de medidas estructurales y no estructurales.*

Feito, O. B. (2021, febrero 9). *Iber es un software libre para la modelización hidráulica.*

Imasgal. <https://imasgal.com/que-es-iber/>

GADPR-San Luis. (2022). *Plan De Desarrollo Y Ordenamiento Territorial.*

García, J. (2022). *Hidráulica e Hidrología: Canales*.

http://www.gpalacios.es/pdf/hidra_canales.pdf

Hernández, R., Barrios, H., & Ramírez, A. I. (2017, junio 30). Análisis de riesgo por inundación:

Metodología y aplicación a la cuenca Atemajac. *Tecnología y ciencias del agua*, 08(3),

05-25. <https://www.revistatyca.org.mx/ojs/index.php/tyca/article/view/1316>

Hernández Uribe, R. E., Barrios-Piña, H., & Ramírez, A. I. (2017). Análisis de riesgo por

inundación: Metodología y aplicación a la cuenca Atemajac. *Tecnología y ciencias del*

agua, 08(3), 05-25. <https://doi.org/10.24850/j-tyca-2017-03-01>

Hinojosa, R. (2011). Rugosidad. *Rugosidad*.

<https://ingenieriamecanicacol.blogspot.com/2023/03/la-estructura-cognitiva-de-las.html>

IGEAR. (2017). *Instituto Geográfico de Aragón (IGEAR)*. Gobierno de Aragón. Portal del

Gobierno de Aragón. [https://www.aragon.es/organismos/departamento-de-fomento-](https://www.aragon.es/organismos/departamento-de-fomento-vivienda-logistica-y-cohesion-territorial/direccion-general-de-urbanismo-y-ordenacion-del-territorio/instituto-geografico-de-aragon-igear-)

[vivienda-logistica-y-cohesion-territorial/direccion-general-de-urbanismo-y-ordenacion-](https://www.aragon.es/organismos/departamento-de-fomento-vivienda-logistica-y-cohesion-territorial/direccion-general-de-urbanismo-y-ordenacion-del-territorio/instituto-geografico-de-aragon-igear-)

[del-territorio/instituto-geografico-de-aragon-igear-](https://www.aragon.es/organismos/departamento-de-fomento-vivienda-logistica-y-cohesion-territorial/direccion-general-de-urbanismo-y-ordenacion-del-territorio/instituto-geografico-de-aragon-igear-)

INEC. (2022). *El Instituto Nacional de Estadística y Censos*.

<https://censoecuador.ecudatanalytics.com/>

INHAMI. (2019). *Determinación de ecuaciones para el cálculo de intensidades máximas de*

precipitación.

La Prensa. (1998). *Construcción de muro en la parroquia San Luis, canton Riobamba*.

LOGIRD. (2024). *Ley Orgánica para la Gestión Integral del Riesgo De Desastres*.

Londoño, C. (2001). *Cuencas hidrográficas: Bases conceptuales – caracterización Planificación*

administración. <https://docplayer.es/11540081-Cuencas-hidrograficas.html>

LOOTUGS. (2016). *Ley Orgánica de Ordenamiento Territorial Uso y Gestión de Suelo*.

Machado, N. M. T., & Proaño, S. F. J. (2023). *ANÁLISIS DE RIESGO DE DESASTRES A PARTIR DE LA CONSTRUCCIÓN DE EDIFICACIONES DE USO RESIDENCIAL Y TURÍSTICO SOBRE LAS FRANJAS DE PROTECCIÓN DEL RÍO EN EL CASCO PARROQUIAL DE RIO VERDE DEL CANTÓN BAÑOS DE AGUA SANTA PTOVINCIA DE TUNGURAHUA.*

Mena, M., Scheffczyk, K., Urrutia, M., Huerta, B., & Walz, Y. (2021). *Evaluación del riesgo de inundación en Ecuador.*

https://collections.unu.edu/eserv/UNU:8434/VALE_Flood_Risk_Assesment_Report_Ecuador_SPA_FINAL_META.pdf

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2021). *Microcuencas -.*

<https://www.minambiente.gov.co/gestion-integral-del-recurso-hidrico/microcuencas/>

Montalvo, L., & Salazar, D. (2023). *SIMULACIÓN DE INUNDACIONES UTILIZANDO GEOTECNOLOGÍAS PARA GESTIONAR EL USO Y OCUPACIÓN DEL SUELO, EN LA QUEBRADA DE CUNDUANA CANTÓN RIOBAMBA-CHIMBORAZO* [Investigación, UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO].

<http://dspace.unach.edu.ec/bitstream/51000/10567/1/2.%20MONTALVO%20L.%20LENIN%20E.%20SALAZAR%20C.%20DANNY%20G.%282023%29-SIMULACION%20DE%20INUNDACIONES%20CUNDUANA.pdf>

Montserrat, J. (1985). *Forma de una cuenca de drenaje. Análisis de las variables morfométricas que nos la definen.* <http://hdl.handle.net/10459.1/43579>

Morales, E. (2023). *Trabajo de Titulación para optar al título de Abogada de los Tribunales y Juzgados de la República del Ecuador.*

<http://dspace.unach.edu.ec/bitstream/51000/10937/1/Morales%20Guam%c3%a1n%2c%2>

0Y.%20%282023%29%20La%20contaminaci%c3%b3n%20del%20r%c3%ado%20Chib
 unga%20y%20el%20Derecho%20al%20buen%20vivir%20de%20los%20habitantes%20
 del%20cant%c3%b3n%20Riobamba..pdf

Naciones Unidas. (2015). *Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres 2015-2030. 1.*

https://www.eird.org/americas/docs/43291_spanishsendaiframeforasterri.pdf

OAS. (2021). *Desastres, Planificación y Desarrollo: Manejo de Amenazas Naturales para Reducir los Daños.*

Ordenanza No. 006-2021. (2021). *Ordenanza de aprobación de la actualización del plan de desarrollo y ordenamiento territorial, y actualización del plan de uso y gestión de suelo del cantón Riobamba.*

Orellana, M., & Cedillo, P. (2020). *Detección de valores atípicos con técnicas de minería de datos y métodos estadísticos.*

Parra, K. Á., & Vide, J. M. (2024). *Análisis estadístico de los eventos extremos de precipitación en la zona centro y sur de Chile continental.*

Pérez, C. S., Castro, D. C., Ramírez, K. A., Cuervo, L. P., & Upegui, E. (2019). Crecimiento urbano e impermeabilización del suelo alrededor de la Reserva Forestal Thomas van der Hammen, en la ciudad de Bogotá*. *Ambiente y Desarrollo*, 23(44), 1-16.

<https://www.redalyc.org/journal/3478/347874623006/html/#ref3>

Pittaluga, M. A., & Suvires, G. M. (2010). Susceptibilidad a las inundaciones por crecientes estivales y por desbordes en las localidades de Villa Nueva, Puchuzum y Villa Corral, Cuenca del Río Castaño, Calingasta, San Juan. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 66(4), 520-528.

https://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0004-48222010000300009&lng=es&nrm=iso&tlng=en

Posada, G., Vega, E., & Silva, R. (2023). *Peligros Naturales en el Estado de Campeche*.

Prado-Hernández, J. V., Pascual-Ramírez, F., Cristóbal-Acevedo, D., Valentín-Paz, Ó. G., Carrillo-García, M., Martínez-Ruiz, A., & Sánchez-Morales, J. J. F. (2019).

APLICACIÓN DE HEC-HMS E IBER EN LA MODELACIÓN NUMÉRICA DE INUNDACIONES EN EL RÍO SAN SEBASTIAN DEL MUNICIPIO DE TOTOLAPAN, MORELOS, MÉXICO. 263-274. <https://doi.org/10.2495/WS190231>

Rodríguez, G. T., Aguilar, J. P. M., Morales, G. B. P., & Acosta, A. A. T. (2021). *Metodología para la medición de la velocidad de flujo en un río en el diagnóstico de la socavación en pilas de un puente, utilizando un dispositivo electrónico*. 356.

Sánchez, J. (2024). *Inundaciones: Qué son, causas y consecuencias - Resumen* [Ecología Verde]. [ecologiaverde.com. https://www.ecologiaverde.com/inundaciones-que-son-causas-y-consecuencias-1282.html](https://www.ecologiaverde.com/inundaciones-que-son-causas-y-consecuencias-1282.html)

SGR. (2018). *Glosario-de-términos-de-gestión-de-riesgos-de-desastres-guia-de-consulta*.

Snyder. (1938). *Hidrología*.

Soto Carrasco, J. L. (2017). *Modelamiento hidráulico y diseño de defensas ribereñas del río Amojú, localidad El Parral—Jaén—Cajamarca* [Universidad Nacional de Cajamarca]. <http://repositorio.unc.edu.pe/handle/20.500.14074/1095>

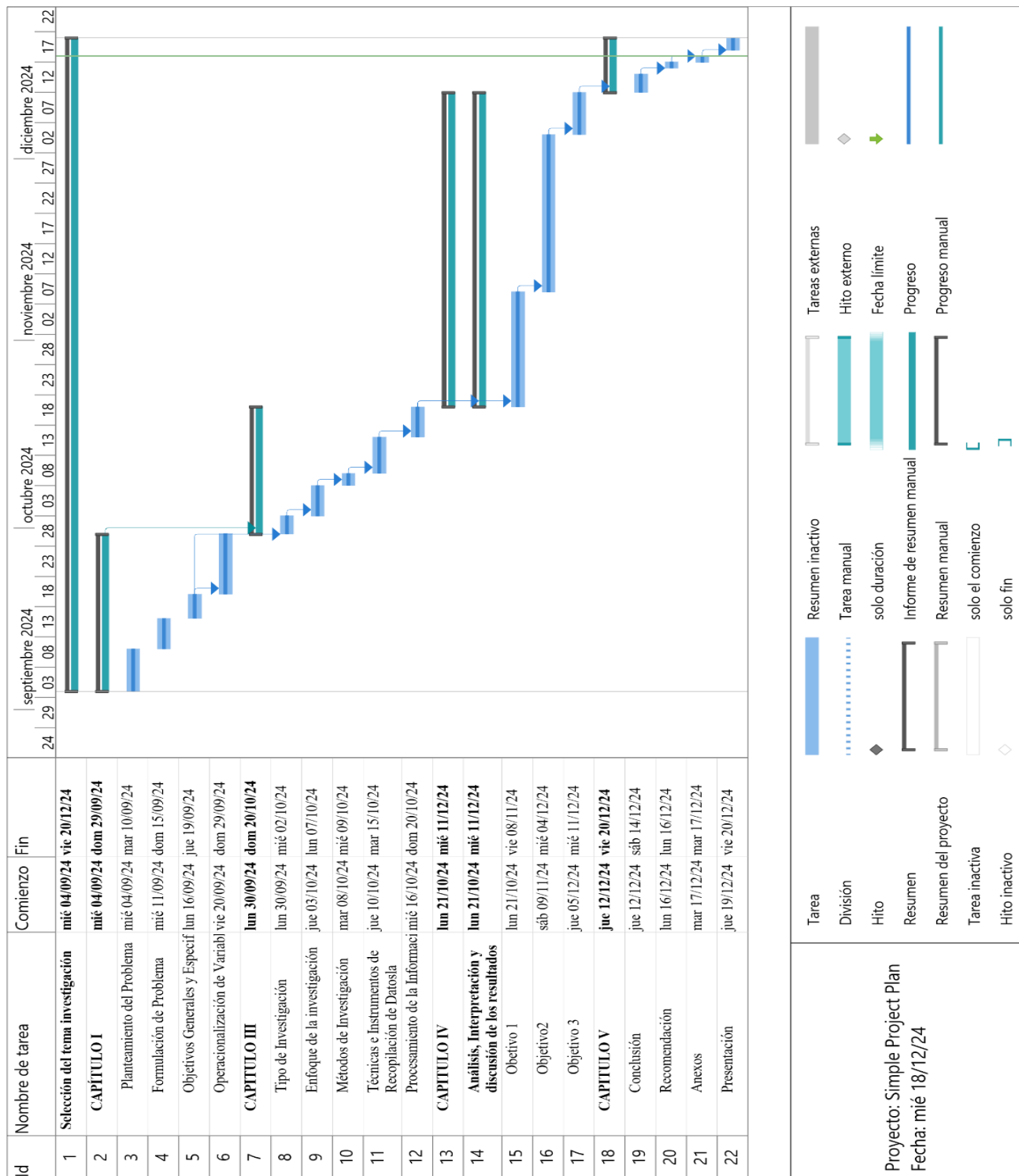
Stappung, C. (1999). *Lluvias de diseño de sistemas de aguas lluvias en Chile. Memorias XIV Congreso Chileno de Hidrología*. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000228195>

Témez, J. (1978). *Cálculo Hidrometeorológico de caudales máximos en pequeñas cuencas naturales*. <https://www.edgarladino.com/hidrología/tiempo-de-concentración>

- Tenesaca, E., Reyes Zambrano, J. L., & Vallejo Vizhuete, D. P. (2024). Modelación hidrológica e hidráulica para la identificación de zonas de inundación en la quebrada las abras, riobamba. *Revista Científica*, 7.
- Tipán, D. (2018). *ESTUDIO HIDRÁULICO DEL RÍO GUANO PARA LA DETERMINACIÓN DE LA CONDUCTANCIA ENTRE RÍO- ACUÍFERO Y ZONAS DE INUNDACIÓN* [UNACH]. <http://dspace.unach.edu.ec/handle/51000/4983>
- Uribe-Alcántara, E. M., Montes-León, M. A. L., & García-Celis, E. (2010). Mapa Nacional de Índice de Inundación. *Tecnología y ciencias del agua*, 1(2), 73-85.
http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S2007-24222010000200005&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- Vargas, N., Rodríguez, N., Arbeláez, J., Caicedo, F., & Triana, J. (2017). *Guía metodológica para la elaboración de mapas de inundación*. https://blogdelagua.com/wp-content/uploads/2019/09/GUIA_METODOLOGICA_MAPAS_INUNDACION_MARZO_2018.pdf
- Vasquez-Velasquez, G. (2016). *INFLUENCIA DEL USO DE LA TIERRA EN LA RESPUESTA HIDROLÓGICA DE CUENCAS DE CABECERA EN LOS ANDES CENTRALES DE COLOMBIA (Influence of Land Use in the in the Hydrological Response of Headwaters in the Central Andes of Colombia)*. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.16328.72962>
- Ven Te Chow. (1994). *Hidraulica de Canales Abiertos*.
- Ven to chow, Maidment, D., & Mays, L. (1988). *Hidrologia aplicada*.
https://ponce.sdsu.edu/Applied_Hydrology_Chow_1988.pdf
- Villegas, P. (2017, enero 9). *Método del Número de Curva del SCS*. Agua y SIG.
<https://aguaysig.com/metodo-del-numero-de-curva-del-scs/>

ANEXOS

Cronograma de Actividad



Presupuesto Ejecutado

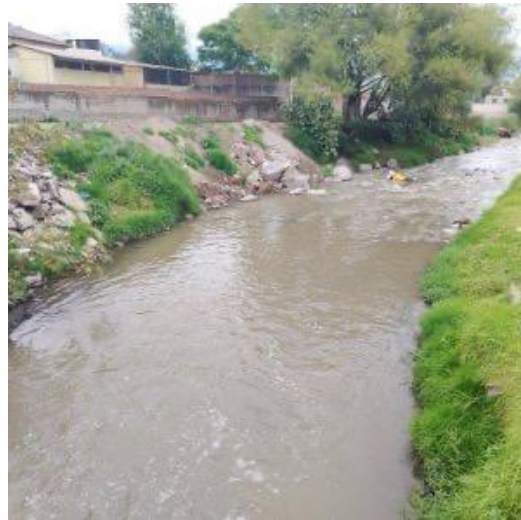
Presupuesto				
Nombre de proyecto:	Amenaza de desbordamiento del río Chibunga y sus afectaciones en la parroquia San Luis del cantón Riobamba en el período 2024		Fecha de elaboración:	01/09/2024
BIENES				
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	COSTO
		A	B	C = A x B
Materiales de medición del caudal (Flexómetro, varilla, objeto liviano)	U	1.00	5.00	5.00
Libreta, esferos, marcadores	U	2.00	2.00	4.00
SUBTOTAL				9.00
SERVICIOS				
DESCRIPCION (CATEG.)	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	COSTO
		A	B	C = A x B
Movilidad local	U	2.00	60.00	120.00
Alquiler de GPS	U	2.00	20.00	40.00
Alquiler de Dron	U	1.00	150.00	150.00
Fotocopias, anillados y empastados	U	5.00	40.00	200.00
SUBTOTAL				510.00
TOTAL, COSTO DIRECTO (M+N+O+P)				519.00
INDIRECTOS %				0.00
UTILIDAD %				
COSTO TOTAL DEL RUBRO				519.00
VALOR OFERTADO \$				519.00
ESTE PRECIO NO INCLUYE IVA				

 Memoria fotográfica



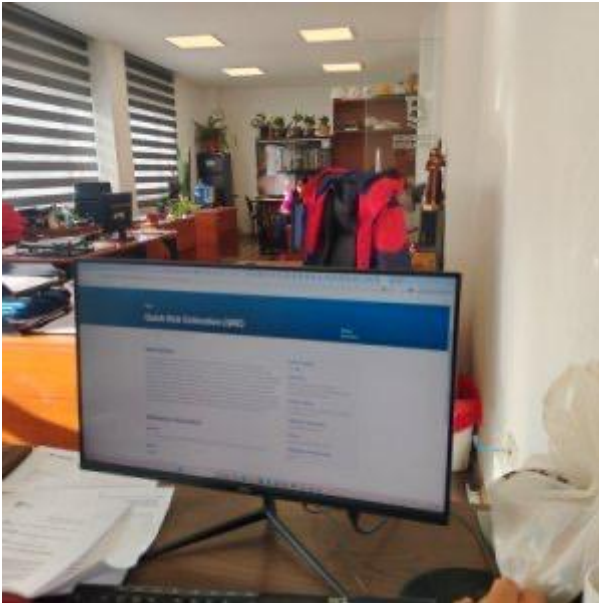
Descripción: Búsqueda de información en la biblioteca del GAD de Riobamba sobre los antecedentes del desbordamiento del río Chibunga y las afectaciones causadas en la parroquia San Luis.

Memoria fotográfica



Descripción: Levantamiento de información y determinación del caudal del río Chibunga utilizando el método de flotación.

Memoria fotográfica

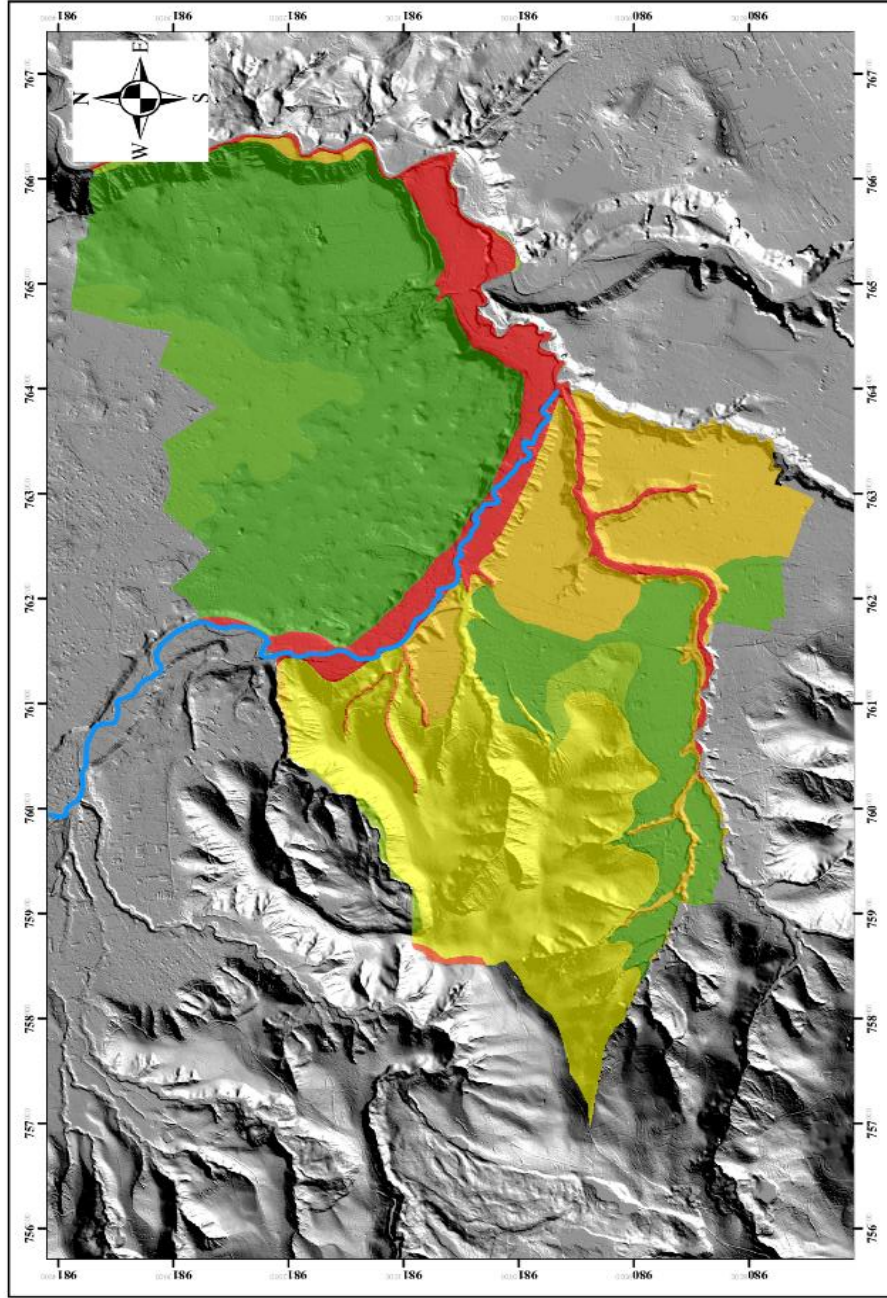


Descripción: Levantamiento topográfico mediante un dron para realizar la ortofoto de la parroquia San Luis, obteniendo imágenes digitales a una altura de 60 m.

Aneko - Mapa

Mapa de tipo de suelo de la parroquia San Luis

Ecuador - 1:40,000



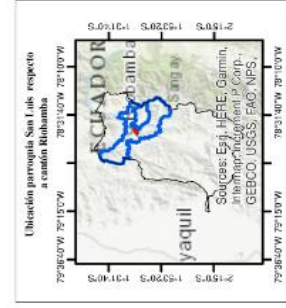
- TIPO DE SUELO**
- Arenas, limos, arcillas y conglomerados
 - Conglomerado volcánico de cantos angulares y redondeados de andesita en matriz de grano fino, con bancos interestratificados de ceniza (facies lahárrica)
 - Conglomerado, limo arenoso, arcilla limosa
 - Conglomerados
 - Conglomerados formados de cantos de tamaño centimétrico, cubiertos por depósitos piroclásticos con una matriz cementada
 - Conglomerados formados de cantos de tamaño centimétrico, cubiertos por depósitos piroclásticos de origen volcánico con una matriz cementada
 - Gravas y bloques de angulosos a subangulosos, con o sin mezcla irregular y en proporciones variables de elementos finos (limos, arcillas y arenas)
 - Limos, arcillas, arenas, gravas y bloques
 - Mezcla heterogénea de materiales finos y fragmentos angulares toscos, con ausencia de estratificación y estructuras de ordenamiento interno
 - No aplica
 - Proclastos de colores claros de tobas y aglomerados con fragmentos de andesita; ocasionales niveles de lavas andesíticas

LEYENDA

SIMBOLOGÍA

Provincia, Cantón y Parroquia

- Chimborazo
- Riobamba
- San Luis
- Río
- Río Chibungo



ESCALA GRÁFICA
1:40,000

0 500 1000 2000 Metros

SISTEMA DE COORDENADAS UTM WGS84 ZONAS 17S/18S
Proyector: Transverso-Mercator
Datum: WGS 1984
Unidades: Metro

UNIVERSIDAD ESTATAL DE BOLÍVAR

Facultad de Ciencias de la Salud y del Ser Humano

Carrera de Ingeniería en Registros y Desastres

UBICACION

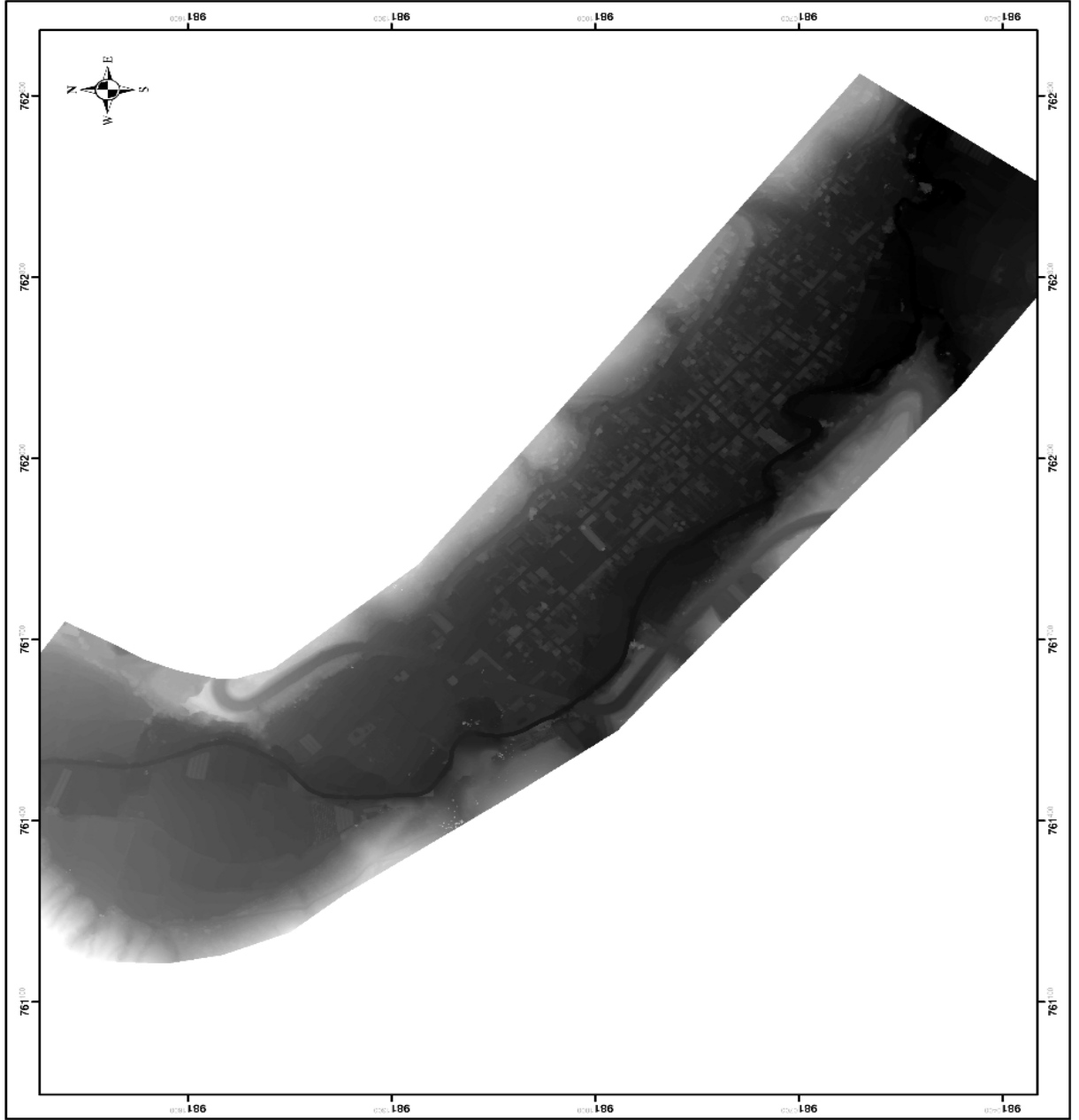
Provincia: Bolívar
Localidad: Guayana
Parroquia: Santa Rosa
Código Postal: 5101000

Escuela: 1.4.300
Lamina: A 3

UNEB

Modelos Digitales de Elevación de la parroquia San Luis

ECUADOR - 1:6,000



LEYENDA Y SIMBOLOGÍA

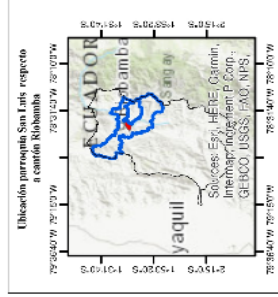
Provincia, Cantón y Parroquia

- Chimborazo
- Babahoyo
- San Luis

DEM

High : 2649.84

Low : 2509.44



ESCALA GRÁFICA

0 50 100 150 200 Metros

SISTEMA DE COORDINADAS UTM WGS84 ZONA 17 SUR

Proycción: Transverse Mercator

Datum: WGS 1984

Unidad: Metro

UNIVERSIDAD

UNIVERSIDAD ESTADAL DE BOLÍVAR

Facultad de Ciencias de la Salud y del Ser Humano

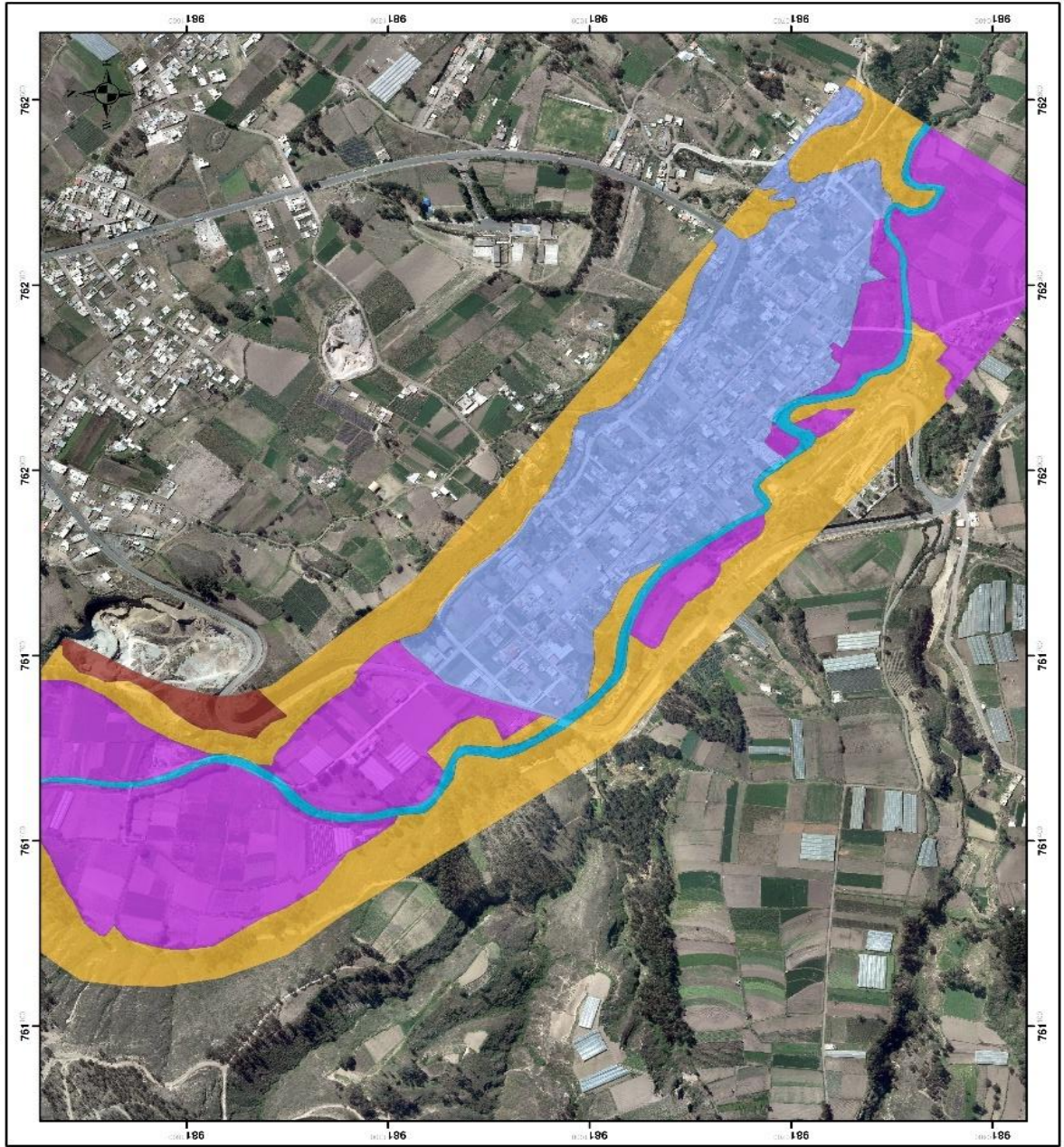
Carrera de Ingeniería en Riesgo de Desastres

Nombre:	Ortiz	3.20
Apellido:	Ortiz	
Grado:	Ingeniería	
Grupo:	San Luis	
Fecha:	14/04/2024	
Asignatura:	Modelos Digitales de Elevación	
Calificación:		

A 9

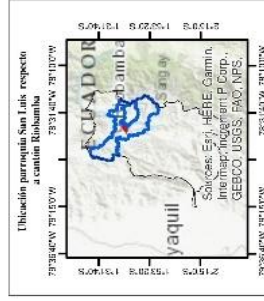
Uso de suelo y coeficiente de rugosidad de Manning de la parroquia San Luis

ECUADOR - 1:6,000



LEYENDA Y SIMBOLOGÍA

Provincia, Cantón y Parroquia	
	Chimborazo
	Riobamba
	San Luis
Uso de suelo	
	Cultivo
	Industrial
	Residencial
	Río
	Vegetación densa
Coeficiente Manning	
	0.025
	0.032
	0.06
	0.1
	0.15

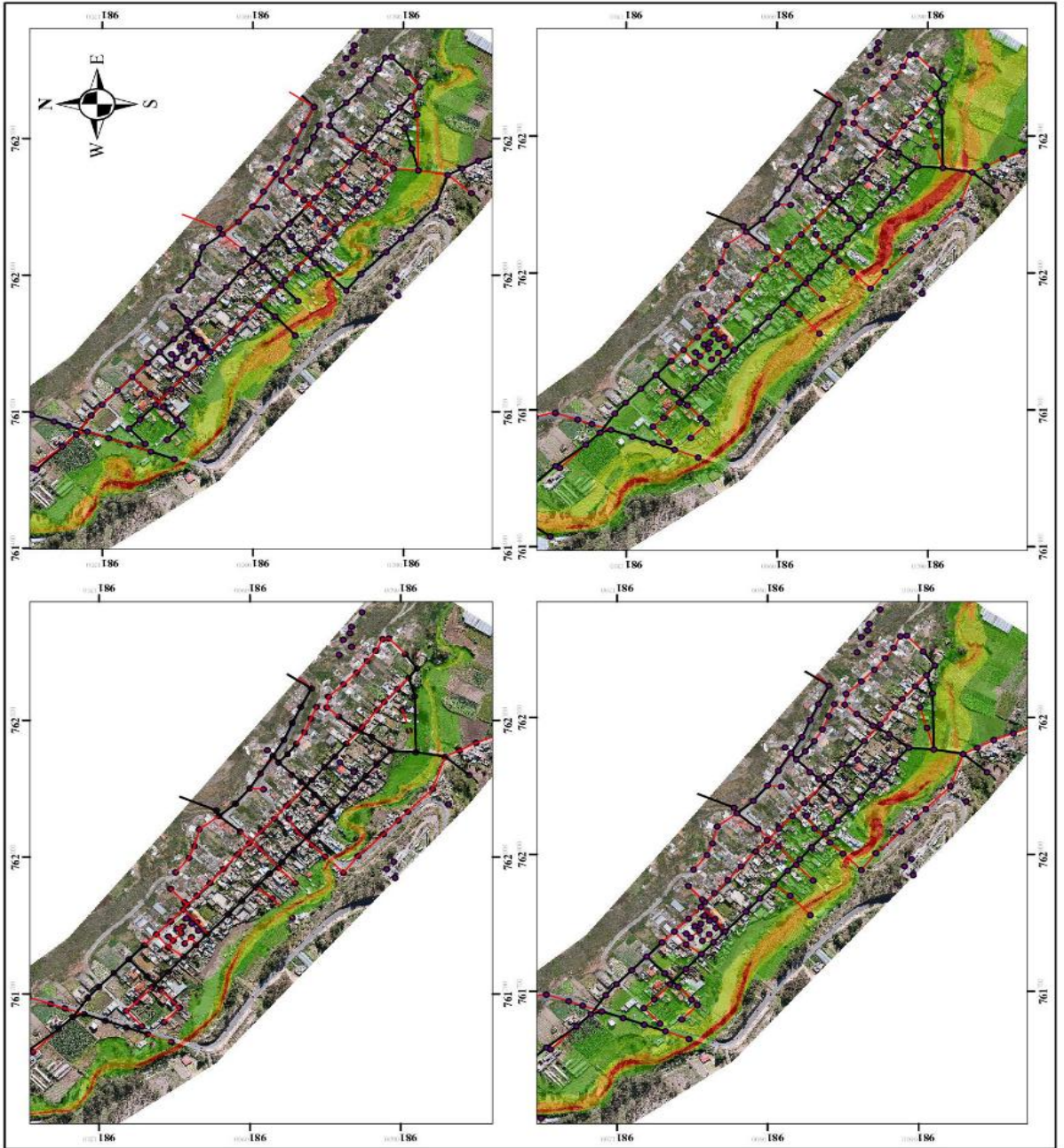


ESCALA GRÁFICA
1:6,000
0 25 50 100 200
Metros
SISTEMA DE COORDENADAS UTM WGS84 ZONA 17 SUR
Proyección: Transverso-Mercator
Datum: WGS84
Unidades: Metros

UEB UNIVERSIDAD ESTADAL DE BOLÍVAR	UNIVERSIDAD ESTADAL DE BOLÍVAR
Facultad de Ciencias de la Salud y del Ser Humano	Facultad de Ciencias de la Salud y del Ser Humano
Carretera de Ingeniería en Riego y Drenaje	Carretera de Ingeniería en Riego y Drenaje
Proyecto	Proyecto
Cursado	Cursado
Trimestre	Trimestre
Fecha	Fecha
Elaborado por	Elaborado por
Revisado por	Revisado por
Escala: A 10	

Mapa de exposición de sistema eléctrico a inundación para un periodo de retorno de 10, 50, 100 y 500 años

ECUADOR - 1:8,000



LEYENDA Y SIMBOLOGÍA

Provincia, Cantón y Parroquia

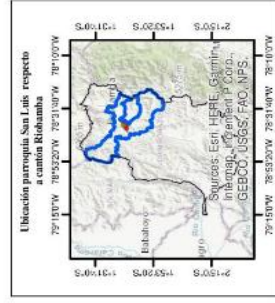
- Chimborazo
- Riobamba
- San Luis

Sistema eléctrico

- Voltaje Alto (KV)
- Voltaje Bajo (V)
- Poste

Nivel de Amenaza - Tr 10, 50, 100 y 500

- Bajo
- Medio
- Alto
- Muy Alto



ESCALA GRÁFICA

0 100 200 300 400 500 Metros

SISTEMA DE COORDENADAS UTM WGS84 ZONA 17 SUR

Proyección: Transverso Mercator

Datum: WGS 1984

Unidades: Metros

Facultad de Ciencias de la Salud y del Ser Humano			
Carrera de Ingeniería en Riesgos de Desastres			
Prácticas	Observación	Escala: 1:8000	Lámina:
Cálculo	Elaboración	Fecha:	
Expediente	Nombre	No. de Hoja	A 16
Elaborado por:	Universidad Estatal de Bolívar	No. de Hoja	