



UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE CUENCA

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA

Comunidad Educativa al Servicio del Pueblo

**UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERIA,
INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN**

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**ESTUDIO DE OBRAS DE ENCAUSAMIENTO; CASO DE
ESTUDIO: RÍO BURGAY, TRAMO BIBLIAN (DESDE EL
CAMAL) HASTA EL PUENTE 16 DE ABRIL DE LA CIUDAD
DE AZOGUES.**

**PROYECTO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERA CIVIL**

AUTORA: RITA PRISCILA GONZÁLEZ SALAZAR

DIRECTOR: ING. DIEGO FERNANDO CORONEL SACOTO

CUENCA - ECUADOR

2024

DIOS, PATRIA, CULTURA Y DESARROLLO



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA

Comunidad Educativa al Servicio del Pueblo

**UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA,
INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN**

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

“ESTUDIO DE OBRAS DE ENCAUSAMIENTO; CASO DE ESTUDIO:
RÍO BURGAY, TRAMO BIBLIAN (DESDE EL CAMAL) HASTA EL
PUENTE 16 DE ABRIL DE LA CIUDAD DE AZOGUES.”

**PROYECTO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO CIVIL**

AUTORES: RITA PRISCILA GONZALEZ SALAZAR

DIRECTOR: ING. DIEGO FERNANDO CORONEL SACOTO

CUENCA - ECUADOR

2024

DIOS, PATRIA, CULTURA Y DESARROLLO

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Yo, **Rita Priscila González Salazar** portadora de la cédula de ciudadanía N. ° 0105184196. En calidad de autora y titular de los derechos patrimoniales del trabajo de titulación **“ESTUDIO DE OBRAS DE ENCAUSAMIENTO; CASO DE ESTUDIO: RÍO BURGAY, TRAMO BIBLIAN (DESDE EL CAMAL) HASTA EL PUENTE 16 DE ABRIL DE LA CIUDAD DE AZOGUES.”** de conformidad a lo establecido en el artículo 114 Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación, reconozco a favor de la Universidad Católica de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos, Así mismo; autorizo a la Universidad para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el Repositorio Institucional de conformidad a lo dispuesto en el artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, **2 de abril del 2024**

F: 

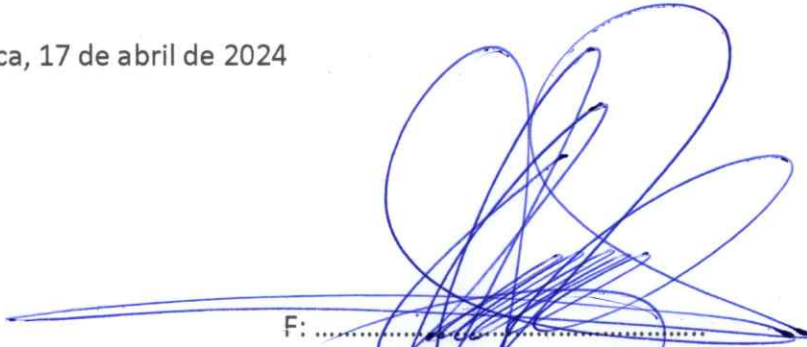
Rita Priscila González Salazar

C.I.: 0105184196

CERTIFICACIÓN

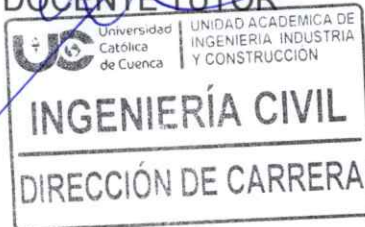
Con un cordial saludo, certifico que en calidad de tutor he revisado y acompañado en el desarrollo del trabajo de titulación previo a la obtención del título de INGENIERA CIVIL, Cuyo tema es "Estudio de obras de encauzamiento; caso de estudio: Río Burgay, tramo Biblián (desde el camal) hasta el Puente 16 de abril en la ciudad de Azogues"; y, fue desarrollado por Rita Priscila González Salazar.

Cuenca, 17 de abril de 2024



F:

Ing. Carlos Méndez Martínez
DOCENTE TUTOR



DEDICATORIA

Este proyecto de titulación está dedicado inicialmente a Dios ya que he logrado concluir con mis estudios a pesar de las adversidades, justo como se lo había pedido en mis oraciones; es necesario agradecer a mi hermano Aarón ya que gracias a su alegría y su puro corazón ha acompañado mis días difíciles de estudio; agradezco a mis padres José y Rita por su amor que siempre estará conmigo así como a mi hermano José Ricardo por estar siempre junto a mí y finalmente a mi abuela Judith Borja la cual me incentivó y motivó al momento de escoger e iniciar con mi carrera haciéndome ilusión a que todo es posible con el esfuerzo necesario.

Rita Priscila González Salazar.

AGRADECIMIENTO

Primeramente, le doy gracias a Dios por permitirnos tener tan buena experiencia dentro de la universidad, a mis padres, hermanos, amigos y profesores que estuvieron presentes en este tiempo de estudio, en especial, al Ing. Diego Fernando Coronel Sacoto, mi guía del trabajo de investigación quien me ha guiado con todo el profesionalismo del caso; gracias por confiar en mi trabajo y brindarme todo su conocimiento durante el proceso en la elaboración del proyecto de titulación.

Rita Priscila González Salazar.

RESUMEN

La mala gestión en los márgenes del río Burgay, y el aumento de las precipitaciones en la subcuenca de este río de montaña, han incrementado la necesidad de obras de encauzamiento en las ciudades de Biblián y Azogues; ya que se han suscitado una serie de desastres en ciertas zonas críticas de desborde, las cuales se identifican en este estudio y a su vez expone el dimensionamiento del diámetro efectivo necesario en el enrocado para redireccionar el flujo alterando la sección transversal del cauce. Considerando que se trata de un río de montaña el cual depende directamente de las precipitaciones que suceden dentro de la divisoria de aguas que determina su cuenca hidrográfica.

Utilizando mapas a través de ArcMap, y modelación digital con HEC – HMS y HEC - RAS; se simula una inundación con las intensidades máximas de precipitación; para seleccionar el enrocado necesario capaz de encauzar el río mediante barreras en puntos críticos considerando variables como la intensidad de lluvia, la cobertura vegetal, el tipo y uso de suelo, el caudal, rugosidad y pendiente del cauce (MDT).

Se analiza fórmulas empíricas propuestas por especialistas en flujo hidráulico como Maynard e Isbash estimando el nivel de vulnerabilidad de los bordes del río en función de las variables obtenidas en la simulación; como el tirante, la velocidad, el número de Froude y el ancho del río en las tres áreas críticas vulnerables; en el Puente San José, mercado Sucre y parque Del Migrante, las cuales requieren un enrocado con un diámetro promedio de 1.50 m.

Palabras clave: encauzamiento, hidráulica fluvial, precipitación, desbordamiento, río de montaña

ABSTRACT

Mismanagement along the margins of the Burgay River and the increased precipitation in its sub-basin has heightened the need for channeling works in Biblián and Azogues. This is due to a series of disasters occurring in certain critical overflow areas, which are identified in this study and present the sizing of the effective diameter required in the rockfill to redirect the flow by altering the cross-sectional area of the channel. This is crucial, considering that it is a mountain river directly influenced by precipitation within the watershed that defines its hydrographic basin.

A flood is simulated with maximum precipitation intensities using ArcMap maps and digital modeling with the Hydrologic Engineering Center's Hydrologic Modeling System (HEC – HMS), and the River Analysis System (HEC – RAS) to select the necessary rockfill capable of channeling the river through barriers at critical points. Variables, such as rainfall intensity, vegetation coverage, type and land use, flow rate, roughness, and the mean dynamic topography (MDT) of the channel slope are considered.

Empirical formulas proposed by hydraulic flow specialists, such as Maynard and Isbash, are analyzed to estimate the vulnerability level of the riverbanks based on variables obtained in the simulation, including water depth, velocity, Froude number, and river width in the three vulnerable critical areas: San José Bridge, Sucre Market, and Del Migrante Park. These areas require rockfill with an average diameter of 1.50 m.

Keywords: channeling, fluvial hydraulics, precipitation, overflow, mountain river

ÍNDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIA	V
AGRADECIMIENTO.....	VI
RESUMEN.....	VII
ABSTRACT.....	VIII
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	IX
ÍNDICE DE TABLAS	XII
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
CAPITULO I.....	8
1.1 INTRODUCCIÓN.....	8
1.2 ANTECEDENTES	9
1.3 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	11
1.4 JUSTIFICACIÓN	12
1.5 OBJETIVOS	13
1.5.1 OBJETIVO GENERAL.....	13
1.5.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	13
1.6 METODOLOGÍA.....	14
CAPITULO II	16
2 MARCO TEÓRICO	16
2.1 <i>Importancia de las fuentes hídricas y su encausamiento.</i> -	16
2.2 <i>Ríos de montaña.</i> -	17
2.3 <i>Hidrología.</i> -	17
2.3.1 <i>Cuenca Hidrográfica.</i> -	18

2.3.2	Precipitación. -	18
2.3.3	Intensidad, Duración y frecuencia (IDF). -	19
2.3.1	Intensidad (I)	20
2.3.2	Duración o tiempo de concentración (Tc).....	20
2.3.3	Método de bloques alternos. -	21
2.3.4	Caudales. -.....	21
2.3.5	Rugosidad de la superficie. -	22
2.4	<i>Fundamentos de la hidráulica fluvial.</i> –.....	23
2.5	<i>Análisis de riesgo y mitigación.</i> -.....	23
2.5.1	Control de inundaciones. -	24
2.5.2	Resistencia al flujo. -.....	24
2.6	Obras de encauzamiento. -	25
2.6.1	Estructura de las obras de encauzamiento o labores de enrocado. –.....	26
2.6.1.1	<i>Gaviones.</i> –.....	26
CAPITULO III.....		29
3	ANALISIS HIDROLOGICO - HIDRAULICO.....	29
3.1	Área de estudio. -	29
3.2	Análisis de la Subcuenca hidrográfica. -.....	31
3.3	Análisis de precipitación y curvas IDF-.....	33
3.4	Tiempo de concentración y tiempo de retardo. –.....	36
3.4.1	Numero de curva (CN), método SCS. -	39
3.5	Análisis de hietogramas. -.....	41

3.6	Análisis de caudales. -	46
3.7	Simulación de inundación Hec Geo Ras y Hec Ras. -	48
3.8	Variables necesarias para la simulación. -	50
3.8.1	Valores de Manning. -	50
3.8.2	Estado de flujo. -	51
3.8.3	Condiciones de contorno. -	52
3.9	Resultados de corridas en Hec – Ras. -	52
3.10	Modelo de inundaciones para los tres períodos de retorno. -	58
3.11	Análisis de inundaciones. -	60
CAPITULO IV		62
4	Medidas de mitigación de INUNDACIONES. -	62
4.1	Dimensionamiento de los enrocados mediante fórmulas empíricas. -	62
4.2	Dimensionamiento para la zona de inundación en el puente San José. -	62
4.2	Dimensionamiento para la zona de inundación en el antiguo Mercado Sucre. -	64
4.2	Dimensionamiento para la zona de inundación en el parque del Migrante. -	65
CAPITULO V		68
5	RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES. -	68
5.1	RESULTADOS	68
5.2	CONCLUSIONES	69
5.3	RECOMENDACIONES.....	70
5.4	BIBLIOGRAFÍA	71
5.5	ANEXOS	74

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Distribución de precipitaciones en el suelo Elaboración Propia	19
Tabla 2. Estaciones pluviograficas. Fuente: (INAMHI 2019).	34
Tabla 3. Datos para las ecuaciones de la estación Cañar. Fuente: (INAMHI 2019).	35
Tabla 4. Intensidades máximas en 24 horas para varios períodos de retorno. INAMHI 2019.	35
Tabla 5. Intensidades máximas de la estación Biblián. Fuente: Elaboración propia.	35
Tabla 6. Determinación de la pendiente de la cuenca. Fuente: Elaboración propia.....	38
Tabla 7. Tiempo de concentración y tiempo de retardo de la cuenca. Fuente; Elaboración propia.....	38
Tabla 8. Numero de curva según el tipo y uso de suelo. Fuente: Elaboración propia.	40
Tabla 9. Numero de curva CN, de la subcuenca. Fuente: Elaboración propia.	41
Tabla 10. Hietograma de precipitación para un período de retorno de 25 años. Fuente: Elaboración propia	43
Tabla 11. Hietograma de precipitación para un período de retorno de 50 años. Fuente: Elaboración propia.	44
Tabla 12. Hietograma de precipitación para un período de retorno de 100 años. Fuente: Elaboración propia.	45
Tabla 13. Condiciones de contorno extremo superior del cauce. Fuente: Elaboración propia en Hec – Ras.....	52
Tabla 14. Condiciones de contorno extremo inferior del cauce. Fuente: Elaboración propia en Hec – Ras.....	52
Tabla 15. Resultados al correr el programa Hec – Ras, Secciones criticas Puente San José. Fuente: Elaboración propia.	57

Tabla 16.. Resultados al correr el programa Hec – Ras, Secciones criticas Parque del
Migrante. Fuente: Elaboración propia..... 58

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Espigón provisional en el cauce del río Burgay. Fuente: Propia.....	26
Ilustración 2. Distintos diseños de espigones. Fuente: (Rivera, 2020).....	27
Ilustración 3. Sección típica de enrocado. Elab: (Banda, 2022).....	28
Ilustración 4. Ubicación geográfica del río Burgay y la zona de estudio. Fuente: Google Earth Pro.....	29
Ilustración 5. Diagrama de elevaciones del tramo de estudio (río Burgay). Fuente: Elaboración propia, Hec – Ras.....	30
Ilustración 6. Ubicación del tramo de estudio. Fuente: Elaboración propia.	31
Ilustración 7. Delimitación de la Subcuenca Burgay Alto. Fuente: Elaboración propia.....	32
Ilustración 8. Mapa de las estaciones pluviométricas del Ecuador. Autor: INNAMHI 2019	33
Ilustración 9. Formula específica para la estación Cañar. Fuente: (INAMHI 2019)	35
Ilustración 10. Grafica de intensidades máximas de la estación Biblián. Fuente: Elaboración propia.....	36
Ilustración 11. Longitud del cauce principal. Fuente: Elaboración propia.....	37
Ilustración 12. Vegetación de la Subcuenca. Fuente: Elaboración propia.	39
Ilustración 13. Tipo de suelo de la Subcuenca. Fuente: Elaboración propia.....	40
Ilustración 14. Ubicación del punto de interés. Fuente: Elaboración propia en HECHMS.	42
Ilustración 15. Hietograma de precipitación para un período de retorno de 25 años. Fuente: Elaboración propia.	43
Ilustración 16.. Hietograma de precipitación para un período de retorno de 50 años. Fuente: Elaboración propia.	44
Ilustración 17. Hietograma de precipitación para un período de retorno de 100 años. Fuente: Elaboración propia.	45

Ilustración 18. Grafica de Caudales TR 25. Fuente. Elaboración propia.	46
Ilustración 19. Caudal de diseño y velocidad para un período de 25 años. Fuente: Elaboración propia.	46
Ilustración 20. Grafica de Caudales, TR 50 años. Fuente: Elaboración propia.....	47
Ilustración 21. Caudal de diseño y velocidad para un período de 50 años. Fuente: Elaboración propia.	47
Ilustración 22. Grafica de caudal, TR 100. Fuente: Elaboración propia.	48
Ilustración 23. Caudal de diseño y velocidad para un período de 100 años. Fuente: Elaboración propia.	48
Ilustración 24. Análisis de secciones. Fuente: Elaboración propia.	49
Ilustración 25. Tramo de estudio con secciones cada 20m. Fuente. Elaboración propia en Hec – Ras.	50
Ilustración 26. Método de Cowan para el cálculo de n. Fuente: (Días, 2020).	51
Ilustración 27. Perfil longitudinal del río con la línea de agua determinada por los 3 períodos de retorno. Fuente: Elaboración propia en Hec - Ras.	53
Ilustración 28. Nivel de agua en la seccion transversal crítica, puente San José. Fuente: Elaboración propia en Hec – Ras.	53
Ilustración 29. Nivel de agua en la seccion transversal crítica, mercado Sucre. Fuente: Elaboración propia en Hec – Ras.	54
Ilustración 30. Nivel de agua en la seccion transversal crítica, parque del Migrante. Fuente: Elaboración propia en Hec – Ras.	54
Ilustración 31. Velocidades a lo largo del tramo río Burgay. Fuente: Elaboración propia. .	55
Ilustración 32. Ancho de la sección transversal en el río Burgay. Fuente: Elaboración propia.....	55
Ilustración 33. Número de Freud en el tramo río Burgay. Fuente: Elaboración propia.	56

Ilustración 34. Resultados al correr el programa Hec – Ras, Secciones criticas Mercado Sucre. Fuente: Elaboración propia.	57
Ilustración 35. Modelo de inundación para TR 25 años. Fuente. Elaboración propia.	59
Ilustración 36. Modelo de inundación para TR 50 años. Fuente. Elaboración propia.	59
Ilustración 37. Modelo de inundación para TR 100 años. Fuente. Elaboración propia.	60
Ilustración 38. Obras de encauzamiento, parque San José. Fuente: Elaboración propia.	66
Ilustración 39. Obras de encauzamiento, antiguo mercado Sucre. Fuente: Elaboración propia.....	67
Ilustración 40. Obras de encauzamiento, parque Migrante. Fuente: Elaboración propia.....	67
Ilustración 41. Parámetros para determinar el número de curva CN.	74
Ilustración 42. Estación meteorológica de la ciudad de Biblián. Fuente fotográfica: Propia.	75
Ilustración 43. Reconocimiento de la sección transversal del rio. Fuente fotográfica: propia.	75
Ilustración 44. Reconocimiento del puente San José. Fuente fotográfica: propia.....	76
Ilustración 45. Daños en los límites del rio por fuertes crecidas. Fuente fotográfica: Propia.	76
Ilustración 46. Reconocimiento del aporte del rio Tabacay, mercado Sucre. Fuente fotográfica: propia.	77
Ilustración 47. Reconocimiento del parque del Migrante. Fuente fotográfica: Propia.....	77

CAPITULO I

1.1 INTRODUCCIÓN

En la actualidad como efecto directo del cambio climático, el incremento de las precipitaciones y las deforestaciones simultaneas en las cuencas hidrográficas del mundo, han ido alterando la morfología de las cuencas en las zonas montañosas, resultando en caudales torrentosos los que provocan erosión y sedimentación en los diferentes ríos derivados de las montañas; generando grandes inundaciones debido a los grandes volúmenes de agua que provocan socavaciones y alteraciones de pendiente a los márgenes de los ríos (Bazan, 2020).

Debido a los daños en los márgenes de los ríos y a las infraestructuras hidráulicas escasas en el cauce del río se han provocado una serie de desastres a lo largo de los años y en la actualidad; desatando inundaciones y provocando pérdidas significativas. Es por ello que cabe destacar que ya se evidencia la existencia de medidas preventivas desde el siglo XIII en España hasta la actualidad; empleando estas infraestructuras hidrológicas que modifican los limites naturales del río o las condiciones de desagüe del cauce permitiendo disminuir los caudales y velocidades de flujo existentes. Se datan este tipo de obras de ingeniería tales como gaviones, embalses y muros de encausamiento (Bazan, 2020).

Es necesario entonces, realizar una investigación de tipo descriptiva del estudio de los caudales máximos para diferentes períodos de retorno con el objetivo principal de describir las características de las variables dependientes e independientes con un enfoque a la solución de problemas y al control de situaciones o sucesos reales existentes causados por los volúmenes de agua del tramo estudiado en el río Burgay, el cual a lo largo de su historia ha sufrido una serie de inundaciones y alteraciones de los márgenes que con el tiempo el mismo cauce del río ha ido limitando.

Para prevenir inundaciones y pérdidas de infraestructuras o viviendas cercanas a la zona, es fundamental un análisis de las precipitaciones así como de las intensidades máximas de lluvias para diferentes períodos de retorno, y a su vez emplear un modelo digital de elevaciones en donde se pueda evidenciar visualmente una simulación de la descarga del río; con la finalidad de obtener las variables y características necesarias para un análisis de fórmulas precisas con las cuales se determinará el dimensionamiento de la obra de encausamiento necesaria para corregir o encausar cada punto crítico del cauce, retener sedimentos, controlar puntas de avenidas, estabilizar laderas y reducir la capacidad erosiva a lo largo del tramo del río, conociendo así los conceptos de hidráulica fluvial y los factores que afectan tanto al cauce como a los márgenes del río; implementando una obra de ingeniería capaz de encausar y mejorar las condiciones del mismo.

1.2 ANTECEDENTES

En el año 2019 Adriana Bravo propone en su tesis un plan de manejo integral para la subcuenca hidrográfica del río Burgay debido a las actividades humanas y a la mala gestión de los recursos de una subcuenca, los cuales ella considera han creado problemas como: déficit hídrico, erosión, deforestación, y alteraciones de suelo. La Fao ha realizado aportes con la gestión de cuencas en el Ecuador desde 1980, iniciando con el “Estudio de las cuencas hidrográficas de Azuay y Cañar” en donde se han implementado 18 proyectos a nivel nacional (Bravo, 2019) ,en donde ha sido participe nuestra zona de estudio del río Burgay.

Un antecedente importante es el análisis realizado por Luis Timbe junto con el “*Grupo de ciencias de la tierra y del ambiente*” de la universidad de Cuenca; en donde expone los primeros modelos de inundación para diferentes períodos (5, 50, 100 y 200 años) en un tramo de 10 km del río Burgay; próximo al tramo que se estudiará en esta tesis. En el mismo expresa la necesidad de información histórica de niveles de inundación para la ciudad de Azogues y como conclusión en su estudio presenta que el coeficiente de Manning o los resultados de eventos de crecida para los

diferentes períodos de retorno es poco significativo al pasar de los años proyectados. También demuestra la utilización del programa Hec – Ras para la realización de simulaciones hidráulicas considerando al río Burgay adecuado en condiciones de flujo 1D debido a que no tienen llanuras aluviales grandes y no existen diques a lo largo de los márgenes del cauca (Timbe, 2012).

El pasado 21 de Abril el diario EL UNIVERSO publicó un artículo de noticia en donde se declara emergencia ciudadana ya que aquel día ha colapsado una gran parte de mesa asfáltica en el sector del puente San José impidiendo el paso de estudiantes y habitantes ya que ha colapsado esta conexión entre la ciudad de Azogues y Biblián; aproximadamente en un tramo de ocho kilómetros las aguas de este río afectaron seis zonas, con la perdidas de viviendas completas, vías, postes de hormigón y puentes; a lo largo del día miércoles el caudal de río poco a poco fue carcomiendo las infraestructuras aledañas pero todo se agravó en la madrugada sin descanso hasta la mañana siguiente, causando pérdidas significativas en la comunidad; se cita también en este artículo que el alcalde de la provincia Rommel Sarmiento, explicó que canalizara los recursos para soluciones definitivas en los puntos críticos; así como acotó el prefecto Byron Pacheco, que para encauzar el río Burgay se requiere de material pétreo, rocas grandes, que por ahora solo están disponibles en el sector de La Josefina y en la cual existe una traba legal que por ahora impide tomar este material (Sarmiento, 2022).

En la catástrofe del 21 de Abril en el diario EL UNIVERSO se reportó que el Alcalde de la ciudad de Azogues manifestó que tras la reunión del COE cantonal en donde hablaron de la emergencia ciudadana, se destacó que se han realizado obras de encauzamiento desde Gulán hasta el Puente Sucre; y se analizaron estudios realizados por la SENAGUA y el Ministerio De Obras Publicas desde el año 1992 en donde se establecieron ya las áreas de inundación a lo largo del río Burgay concluyendo así con aproximadamente 7 puntos críticos en los cuales debido a las sequias presentes a lo largo de los años; en estas áreas se realizaron rellenos para parques y viviendas en

donde actualmente según exclama el alcalde son justamente los puntos críticos en donde el río Burgay está tomando su cauce natural (Sarmiento, 2022).

El presente año 2023 Bolívar Pérez publicó un artículo en el diario EL MERCURÍO titulado “Obras pendientes en márgenes del Burgay: Azogues” precisamente en nuestra zona de estudio; en donde el escritor resalta la preocupación de los ciudadanos de los márgenes del río Burgay y detalla que el puente peatonal ubicado en el Parque del Migrante está por colapsar como consecuencias de las crecientes del año 2022; así mismo evidencia que los márgenes próximos al puente hasta las proximidades del antiguo Mercado Sucre están carcomidas y se ha tratado de mitigar esta situación con la colocación de montículos de rocas para encausar el agua del río incluyendo la recuperación de colectores como medida preventiva para la llegada del fenómeno de El Niño. Se detalla también en este artículo que los recursos de 1,5 millones de dólares que recibió la anterior administración sirvieron para subsanar los daños del puente San José, antiguo Mercado Sucre, puente Miguel Unamuno y la UNAE así como también la Avenida Andrés F. Córdova que esta junto a los márgenes del río Burgay en donde existen negocios y accesos al CNE y al Hospital (Pérez, 2023); pero aun así la necesidad de estas obras de encauzamiento pendientes son primordiales para la preocupación de la ciudadanía.

1.3 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Actualmente las crecidas de los ríos de montaña o de la zona montañosa presentan picos de creciente muy destructivos como las ocurridas hace poco tiempo atrás en el río Burgay, en el tramo desde la feria de ganado de la ciudad de Bilián hasta la avenida 16 de abril, a la altura de la feria de ganado de la ciudad de Azogues.

La deforestación y alteración de la cobertura vegetal en las cuencas o áreas cercanas a las fuentes hídricas genera una alteración del caudal de descarga debido a la poca retención de aguas lluvias en la vegetación y así como la variación en la erosión del suelo, ya sea por su tipo o su uso

ha provocado la infiltración de aguas generando así una mayor cantidad de sedimentos transportados por erosión en el flujo del río. Es por ello que se pretende recopilar todos los datos necesarios de la cuenca hidrográfica, así como también realizar la caracterización hidrológica del río Burgay; ya que una de las problemáticas radica también en la falta de información hidrológica actual para iniciar con un plan de manejo de desastres.

Otra de las problemáticas es que, debido al uso inadecuado de la separación de márgenes que se tiene de un río; considerando estas zonas como inadecuadas para la construcción en los bordes de los ríos, inclusive con la adaptación de rellenos se ha pretendido encausar el río manualmente por obra humana hacia otro cause, sin tomar en cuenta que un río siempre al pasar del tiempo es singular y seguirá su cauce natural, y reclamara lo suyo a pesar de las plataformas que han invadido las áreas de inundaciones naturales, ya que al hablar de naturaleza hay que tener claro que es algo en donde el ser humano difícilmente interviene.

Finalmente, una problemática mencionada en un reportaje realizado al alcalde de la ciudad de Biblián es que el diámetro de las rocas necesarias para el encausamiento correcto únicamente se encuentra en minas como la Josefina la cual tiene leyes que prohíben su uso; por eso es necesario encontrar un diseño que se acople a los recursos que son más comunes de emplear.

1.4 JUSTIFICACIÓN

Se ve la necesidad de resolver esta problemática con el fin de recuperar el cauce y áreas de inundación del río Burgay por actividades antrópicas. Esto ocurre en diferentes puntos críticos donde la sección transversal levantada con un modelo DEM; sea encausado en ciertas zonas críticas donde ocurre inundación con la implementación de obras longitudinales de enrocado las cuales permita encausar el paso medianamente torrentoso del flujo hídrico, y así se pueda prevenir o evitar desbordamientos catastróficos que afecten tanto a las obras civiles, como a los cultivos en la zona;

los desbordamientos con seguridad afectan al ornato territorial, así como a la planificación de áreas de desarrollo.

Otra justificación importante en donde radica la necesidad de realizar este estudio es debido a que muchas obras de ingeniería brindan un servicio social y deben ser precauteladas, para lo cual se considera esencial indagar en la rama de hidráulica fluvial y determinar qué tipo de encausamiento es más favorable para que estas obras de ingeniería satisfagan a la comunidad incluso paisajísticamente.

El encausamiento produce efectos que son fundamentales de considerar debido a que es la manera más efectiva de protección frente a inundaciones, protección de márgenes, mejoramiento de condiciones de desagüe, fijar un canal de navegación o circulación y para restauración ecológica; todas estas acciones buscan prevenir un daño económico y precautelar la vida humana y obras civiles.

1.5 OBJETIVOS

1.5.1 OBJETIVO GENERAL

Analizar los diferentes tipos de obras de encauzamiento en ríos de montaña, para identificar los más adecuados de acuerdo a las variables con las que se puede contar en modelación de ríos de montaña adaptándose a la problemática del río Burgay.

1.5.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Determinar caudales para diferentes períodos de retorno (25, 50 y 100 años), en el tramo de estudio; partiendo de hidrogramas de crecida utilizando Hec – Hms.
- Utilizar el software Hec – Ras para determinar los niveles o manchas de inundación y resultados hidráulicos en el tramo de estudio para definir la ubicación de obras de defensa.

- Diseñar enrocados de encausamiento de acuerdo a las variables obtenidas en la simulación del río Burgay y que muestran mayor seguridad en ríos de montaña para el tramo del río Burgay.

1.6 METODOLOGÍA

El desarrollo de esta tesis tendrá un resultado cuantitativo que proporcionará un análisis comparativo entre autores de las ecuaciones por el método empírico existente para determinar el dimensionamiento de obras de encauzamiento adecuadas, también tendrá una participación analítica para determinar ciertos parámetros necesarios en la determinación de obras de encauzamiento en ríos de montaña; es por ello que se realizará una recopilación bibliográfica y de mapas descriptivos mediante modelación digital con elevaciones de las afecciones naturales a las que se encuentra sometido el río Burgay en el tramo de estudio.

Se pretende a su vez realizar una demostración con mapas en el software ArcGIS, es decir el levantamiento de la pendiente del río, su perfil longitudinal y su sección transversal mediante un modelo de inundación, en donde se puedan evidenciar las características tanto físicas como hidrológicas del río y de la cuenca hidrográfica al que este pertenece; además de la utilización de los softwares Hec - Hms, Hec - Ras y la extensión Hec -Geo - Ras con el fin de analizar el alcance del río, es decir del flujo hídrico y cómo es la línea de comportamiento de este en casos de una inundación y con estos resultados obtener las variables fundamentales para el dimensionamiento del diámetro necesario en el enrocado de encauzamiento.

Finalmente, se realizará un reconocimiento del cauce de estudio a través de la simulación de inundaciones que se definen con curvas de nivel para poder determinar las zonas críticas y los parámetros fundamentales necesarios para seleccionar las fórmulas empíricas del cálculo de encausamientos propuestas por diferentes autores. Con los resultados obtenidos, se dimensionará el

diámetro del enrocado que conformarán las obras de encauzamiento en sitios vulnerables a desborde del cauce en el estudio.

En síntesis, el método de análisis para el estudio de caso, que está planteado en el título de esta tesis, será primero un modelo de infiltración el cual transformará la precipitación calculada de lluvia en caudal en el programa Hec – Hms y también se utilizará un método basado en un modelo hidráulico unidireccional no estacionario en el programa Hec- Ras en donde se determinarán los niveles de inundación máximos a lo largo del tramo; además este programa determinaría variables fundamentales para el cálculo mediante el método del paso estándar para canales abiertos. todo esto para tres diferentes períodos de retorno (25 años, 50 años y 100 años). Con estos resultados se determinará el diámetro efectivo mediante la comparación de dos ecuaciones propuestas por Maynard e Isbash basadas en el método empírico para control de inundaciones en ríos de montaña. Únicamente para el periodo de retorno y áreas críticas más desfavorables.

CAPITULO II

2 MARCO TEÓRICO

2.1 Importancia de las fuentes hídricas y su encausamiento. -

No es novedoso mencionar que las fuentes hídricas son de suma importancia para el desarrollo evolutivo de las comunidades aledañas a estas; tanto en el ámbito de salud como de alimentación; siendo que las sociedades se benefician de los servicios que se aprovechan de estas; pero, para este estudio es necesario indagar un poco más y conocer cómo se llevan a cabo las obras de ingeniería que ayudarán a precautelar estas redes para poder continuar brindando estos servicios por medio de diferentes métodos de encausamiento, aprovechamiento y distribución del servicio hacia una comunidad.

Desde el inicio de los tiempos se data la utilidad de las fuentes hídricas y la contribución al mejoramiento de la vida del hombre; así como existen las evidencias de las primeras obras de ingeniería para el aprovechamiento de este recurso desde los primeros nómadas en la tierra; también existen pruebas físicas en la cual se evidencia la necesidad de encausar o canalizar un río o quebrada para evitar catástrofes y para aprovechar el agua como recurso hídrico para riego de cultivos, para consumo humano y también de animales.

Es por eso que, la ingeniería hidráulica se define como la rama de la ingeniería civil que se encarga de la proyección y ejecución de obras relacionadas con el aprovechamiento de las fuentes hídricas (Alvarez, 2018), ya sea para uso de energía hidráulica, de riego, potabilización, canalización y otras actividades.

El ingeniero hidráulico con especialización en hidráulica fluvial estudia las intervenciones del hombre sobre los ríos, ya sea para la adecuación al sistema de aprovechamientos del recurso hídrico, la disminución de riesgos de daños por inundación y encausamiento de ríos con el fin de evitar catástrofes, desbordamientos y pérdidas (Hernandez, 2020).

2.2 Ríos de montaña. –

El 27 % de la superficie terrestre corresponde a regiones de montaña, además se considera que el 10% de la población mundial habita en laderas de montaña (Alonso, 2005); de tal manera que la mitad de la población mundial depende directa e indirectamente de sus cuencas y los recursos que estas proveen.

Estas áreas montañosas son de suma importancia de aportación a los recursos hídricos; se considera que el caudal por unidad de superficie de cuenca en montañas es cuatro veces más común que ríos de llanuras; por lo que se entiende que el efecto orográfico sobre el cual actúa la precipitación en grandes altitudes tiene menor evaporación en las zonas de montaña.

Los ríos de montaña al llegar al pie de monte sufren un cambio brusco en su pendiente y gradiente hidráulico, por lo cual en épocas de crecientes tienden a depositar sus arrastres sólidos para formar lo que se conoce como abanico aluvial, la mala distribución de terrenos habitables ha hecho que las poblaciones se asienten sobre estos abanicos fluviales de los ríos de montaña. Los deslizamientos, los aludes torrenciales y las inundaciones ocurren natural y frecuentemente en estos ambientes amenazando directamente a los desarrollos urbanos asentados (Lopez, 2005).

En ríos de cuencas de montaña, debido a la fuerte pendiente que estos poseen; y a las fuertes precipitaciones o tormentas; existen intensidades elevadas en la capacidad de transporte de sedimentos con la que cuenta el flujo. Si existen sedimentos disponibles para la corriente, ésta presentará una importante carga de sólidos, con tamaños que van desde arcilla hasta piedras redondeadas de río, como se las conoce habitualmente.

2.3 Hidrología. -

Se conoce un concepto básico de hidrología mencionado en diferentes textos como una ciencia natural que estudia el agua, su circulación y distribución en la superficie terrestre;

proporcionando así al ingeniero los métodos para resolver problemas prácticos que se presentan en el diseño, planeación y operación de estructuras hidráulicas (Béjar, 2004).

2.3.1 Cuenca Hidrográfica. -

Como se ha aprendido en las aulas de clase, la cuenca hidrográfica es un área definida topográficamente, es decir una zona de la superficie terrestre, drenada por un curso de agua o por un sistema conectado de cursos de agua provenientes de las precipitaciones o aguas lluvias que caen dentro de esta zona; las cuales se dirigen hacia un mismo punto de salida de manera que todo el caudal es descargado por una salida simple.

Desde el punto de vista científico se dice que una cuenca hidrológica es un BLACK BOX, sobre el cual se le da un estímulo (precipitación) y la cuenca responde con un escurrimiento o salida (caudal), (González, 1992). Entre el estímulo de precipitación y la respuesta de un caudal de salida ocurren varios fenómenos que condicionan la relación entre el uno y el otro, estos fenómenos son:

Los que condicionan el volumen de escurrimiento cuyas variables son el área de la cuenca, el tipo de suelo y la vegetación.

Y los que condicionan la velocidad de respuesta cuyas variables son el orden de las corrientes, la pendiente de la cuenca y la pendiente de los causes.

Para determinar el perímetro y área de una cuenca primeramente se debe definir la divisoria de aguas, la cual es una línea imaginaria formada por los puntos de máxima cata topográfica y que separa una cuenca de sus cuencas aledañas.; a su vez se separa las precipitaciones que caen en pendientes montañosas colindantes y será distribuida la escorrentía hacia otro sistema fluvial.

2.3.2 Precipitación. -

Como precipitación se estudia que es la caída de agua sobre la superficie terrestre en cualquiera de sus formas, pero principalmente líquida como lluvia; esta da origen a todas las

corrientes superficiales y profundas y se suele medir en mm de altura o en litros por metro cuadrado. Esta se mide con un pluviógrafo (Rascón, 2005).

La distribución de esta agua de precipitación en el suelo demuestra cómo se clasifica al llegar a la cuenca hidrográfica y como se canaliza hacia un mismo punto de concentración previo a su salida.

DISTRIBUCION DE PRECIPITACION EN EL SUELO	
Intercepción	En la vegetación
Detención superficial	Almacenamiento en depresiones
Humedad de suelo	Aprovechamiento para las plantas
Precipitación directa	Sobre la corriente de agua que sirve de drenaje del área considerada
Agua subterránea	Flujo superficial y escorrentía superficial

Tabla 1. Distribución de precipitaciones en el suelo Elaboración Propia

Se conoce también que la precipitación se mide de forma diaria, mensual y anual, de donde surgen lluvias máximas, diarias, mensuales o anuales por lo que es necesario tener calidad en los datos; es decir controlados, observados y comparados cuando sea necesario y tener una proporción normal, ya que se pueden obtener datos faltantes o escasos en las fuentes de información.

2.3.3 Intensidad, Duración y frecuencia (IDF). -

Son determinadas como las intensidades máximas para diferentes duraciones y períodos de retorno; al aplicar un logaritmo a cada valor de intensidad máxima se procede a graficar para así obtener las curvas de intensidad, duración y frecuencia, en las cuales cada quiebre está representado por una ecuación (INAMHI 2019):

$$I = \frac{k*(T)^m}{(d+c)^n}$$

Ecuación 1

De dónde:

I: Intensidad de lluvia relacionada a un período de retorno expresada en mm/h.

T: Período de retorno expresada en años.

d: Duración expresada en horas.

K, m, n y c: Constante de regreso.

2.3.1 Intensidad (I)

Está definida como la cantidad de lluvia que cae en un punto, por unidad de tiempo y esta es inversamente proporcional a la duración de la tormenta y está dada por $\left(\frac{mm}{h}\right)$ (INAMHI 2019).

$$i = \frac{P}{Td}$$

Ecuación 2

De donde:

I = intensidad.

P = Profundidad de lluvia dada en (mm o pulg),

Td = corresponde a la duración de lluvia generalmente expresada en horas, es decir, como la cantidad de agua que cae del espacio por unidad de tiempo.

2.3.2 Duración o tiempo de concentración (Tc)

La duración de lluvia de diseño o tiempo de concentración; es la cantidad de tiempo desde que inicia la precipitación hasta que esta cesa (INAMHI 2019).

Las ecuaciones para su obtención están publicadas en el documento de “*determinación de ecuaciones para el cálculo de intensidades máximas de precipitación*” publicado por la INAMHI Que es la encargada de tomar los datos meteorológicos y pluviógrafos mediante sus estaciones ubicadas en diferentes provincias del Ecuador. En donde dependen de las variables obtenidas por cada estación.

Existen también un sin número de fórmulas empíricas para la obtención del tiempo de concentración; pero se optará por la formula expresada por el método de Kirprich, la cual además de ser la más recomendada para cuencas montañosas, depende directamente de variables como la longitud del cauce principal de la cuenca y la pendiente de la cuenca la cual se determina por la diferencia entre la cota máxima y la cota mínima de toda el área (García, 2021).

$$tc = 0.066247 * L^{0.77} * S^{-0.385}$$

Ecuación 3

De donde:

tc = tiempo de concentracion

L = Longitud del cauce principal en m

S = Pendiente promedio de la cuenca (m/m).

2.3.3 Método de bloques alternos. -

Este es un método sencillo para determinar un hietograma de diseño utilizando las intensidades máximas de una cuenca. Este hietograma es considerado de diseño ya que especifica la profundidad de precipitación en n intervalos de tiempo sucesivos de duración (Chow, 2000).

2.3.4 Caudales. -

El escurrimiento superficial es el agua proveniente de la precipitación que circula sobre o bajo la superficie terrestre y que llega a la corriente para ser drenada a la salida de las cuencas, el escurrimiento puede ser superficial, subsuperficial y subterráneo; esto depende de la geografía de la zona; es decir, de la permeabilidad de los estratos de suelo, así como de la cobertura vegetal existente (Gamez, 2015).

El INAMI en la República del Ecuador tiene estaciones de medición de caudales en todo el país, pero solo en las cunecas de los cauces más importantes; existen cinco registros de caudales.

- Caudal medio diario. - Es la tasa promedio de descarga en m^3/s .
- Caudal medio mensual (Qm). - Se calcula hallando para cada mes la media aritmética de caudales promedio diarios.
- Caudal medio anual. - Es la medida de los caudales promedios diarios durante un año.
- Caudal máximo instantáneo anual. - Es el máximo caudal que se presenta en un año determinado; es necesario que la estación tenga un limnigrafo para su determinación.
- Caudal mínimo anual. - Es el menor caudal que se presenta durante un año determinado.

2.3.5 Rugosidad de la superficie. -

Los sedimentos suspendidos en un cauce son directamente relacionados con los caudales, la velocidad de la corriente ya que estos se asientan cuando la velocidad disminuye; y también con la erosión de cuencas que aumenta con la deforestación. La mayor parte de sedimentos llevados por los escurrimientos son causados por las erosiones en las laderas de las cuencas durante períodos de tormentas; se menciona además en la investigación realizada por la dirección general de aguas de Chile que los sedimentos transportados por los cauces no solo provienen de las erosiones de las laderas sino que también de procesos erosivos en las redes de drenaje de las cuencas, conociéndose así este proceso llamado acarreo o transporte de fondo (Iroume, 2003).

Otro tipo de movimiento de masas al que se hace referencia en este estudio, es a los aluviones, registrados en zonas, productos de precipitaciones muy intensas; se presentan cuando el material espeso y poco consolidado se desliza a altas velocidades, lo que a su vez afecta la dinámica y el funcionamiento de los cauces naturales en una cuenca generando impacto en las poblaciones que habitan las zonas aledañas (Castroviejo, 1990).

2.4 Fundamentos de la hidráulica fluvial. –

Cuando se escucha mencionar la hidráulica fluvial se debe saber que se trata de intervenciones humanas en los ríos que tienen su formación y cauces naturales, este tema se diferencia de la ingeniería hidráulica ya que descarta de sus consideraciones los aprovechamientos del agua y energía y únicamente se centra en el beneficio del encausamiento de un río.

Los objetivos de la hidráulica fluvial son:

- Diseñar cauces para que se mantengan funcionales, sin procesos que deterioren sus fronteras, debido a acciones antropogénicas.
- Corregir cauces que dañan o pueden afectar el entorno en zonas del aprovechamiento del hombre.
- Redireccionar cauces que fueron modificados por obras antropogénicas y perdieron su capacidad funcional.
- Esta rama de investigación se centra en la comprensión del ciclo hidrológico para transformar los cuerpos de agua.

2.5 Análisis de riesgo y mitigación. -

Las medidas de mitigación se clasifican usualmente en medidas estructurales y no estructurales. Las primeras hacen referencia a obras hidráulicas estructurales de ingeniería para el control de flujos y de sedimentos (Lopez, 2005); estas pueden ser obras de control de erosión o presas de control de sedimentos.

Las medidas no estructurales se refieren a acciones como instrumentación de sistemas de monitoreo de variables hidrometeorológicas en la cuenca (es decir instalación de estaciones para captar datos de precipitación en tiempo real), construcción de sistemas de alerta temprana para

avisar a la población, elaboración de planes de contingencia y evacuación; y elaboración de mapas de amenaza y riesgo (Lopez, 2005).

2.5.1 Control de inundaciones. -

Las inundaciones son parte de la naturaleza, que se presentan desde tiempos remotos en todo el mundo, la humanidad ha trabajado permanentemente en entender, predecir y manejar el tema de las inundaciones, sobre todo las poblaciones asentadas en las cercanías a cuerpos de agua tales como los ríos y costas en donde las afectaciones han sido devastadoras generando destrucción y en algunos casos fallecimientos (Vanegas, 2009).

Es en función de las causas de la inundación el comportamiento de éstas y por consecuencia el tipo de afectación, algunas se desarrollan de manera muy lenta, durante días y otras inundaciones son súbitas que se presentan minutos después de llover e inclusive sin lluvia aparente (Vanegas, 2009).

Las afectaciones pueden ser de las siguientes maneras:

- Población: en la seguridad, salud y medios de subsistencia.
- Sectores económicos: alteración en la capacidad productiva debido al cambio en la demanda de la materia prima que se produce.
- Infraestructura física: daño en edificios de vivienda, servicios urbanos (agua, luz, drenaje, etc.).

2.5.2 Resistencia al flujo. -

En teoría se menciona que la resistencia al flujo de un cauce alude al proceso en donde se considera que la geomorfología del mismo determina la geometría hidrológica y la velocidad de la corriente, ante un determinado caudal (López, 2005).

Es fundamental en el estudio de ríos de montaña el cálculo de la velocidad media de la corriente que dependerá a su vez del cauce y características del flujo que actúan como disipadores de energía del flujo. Es decir, en el caudal la resistencia al flujo determina el caudal que puede desaguar el cauce (López, 2005).

La complejidad del flujo en ríos de montaña requiere de un estudio minucioso, pero para el análisis de este estudio es fundamental estudiar fórmulas empíricas de dimensionamiento de encauzamientos; basados en la geometría de la cuenca, así como la del cauce, la cobertura vegetal y el tipo de suelo.

2.5.3 Rugosidad de los ríos o valores de Manning (n). -

La rugosidad en los ríos está descrita por el coeficiente de rugosidad (n), el mismo de la fórmula de Manning, el cual es un parámetro que determina el grado de resistencia que ofrecen las paredes es decir los taludes al borde del cauce y el fondo del canal al flujo uniforme (Allpoc, 2023).

2.6 Obras de encauzamiento. -

A este tipo de obras longitudinales o transversales se las puede definir como las encargadas de fijar límites predeterminados en los bordes del cauce de un río, y se las conocen como restauración hidrológica-fluvial (Aguirre, 2008); con objetivo de que la sección transversal resultante permita desaguar el caudal de avenida del período de retorno elegido en la zona del estudio. El objetivo principal de la implementación de estas obras es el de modificar el cauce natural del río aumentando su capacidad hidráulica.

Esta capacidad hidráulica depende del caudal del flujo, que a su vez depende del área de la cuenca y sus características hidrológicas, de las precipitaciones en esta, la rugosidad y de la sección transversal, así como de la pendiente del cauce.

Para conocer qué tipo de obra de encauzamiento es factible para cada caso en diferentes puntos críticos es fundamental determinar parámetros como, el caudal, tiempo de concentración, el número de Froude y de la velocidad del flujo la cual no debe producir erosiones en los contornos del cauce, este parámetro depende del material que se encuentra en las orillas del cauce (n). También se debe considerar el transporte de sedimentos debido a que este va sedimentando el canal, así como se debe tomar en cuenta que el trazado de un nuevo cauce debe ser lo más uniforme posible para así evitar curvas o radios amplios que causaran en ese punto un desfogue del río. Es por ello que existen ciertos tipos de estas obras que son específicas para cada tipo de problemática presente a lo largo del cauce; estas son:

2.6.1 Estructura de las obras de encauzamiento o labores de enrocado. –

2.6.1.1 Gaviones. –

Las obras estructurales o diques de gaviones son los más frecuentemente utilizados en obras de encauzamiento debido a su facilidad de construcción, comportamiento y sus bajos costos; a su vez para dimensionamientos de diques en ríos de montaña ya que así se describe en los artículos de cálculos hidráulicos (Tibanta, 2012).



Ilustración 1. Espigón provisional en el cauce del río Burgay. Fuente: Propia.

En la ilustración 1 se presenta una imagen de la construcción de espigones con enrocados en la orilla del río Burgay; estos según investigaciones propias en el GAD municipal de Azogues; son provisionales ya que se construyen sin estudios previos porque se trata de conservar la calzada de la vía paralela al río.

2.6.1.2 Espigones transversales. –

Son estructuras interpuestas a la corriente del flujo ubicadas transversalmente desde uno de los márgenes del cauce de manera superficial; puede ser empotrada o no a uno de sus extremos; existen también espigones sumergidos en el fondo del cauce. El objetivo fundamental es el de distanciar las orillas del cauce del flujo turbulento con alta velocidad, evitando así que el material de los taludes erosione y pueda ser transportado (Matamoros, 2020).

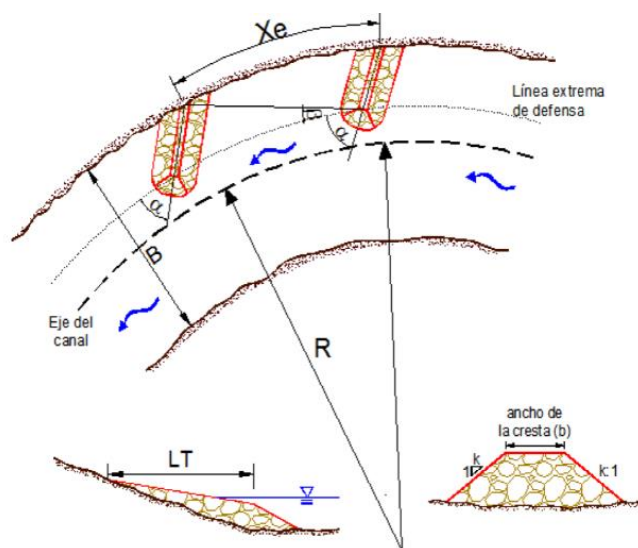


Ilustración 2. Distintos diseños de espigones. Fuente: (Rivera, 2020).

En la ilustración 2 se demuestra gráficamente las variables necesarias para dimensionar espigones transversales al flujo del río; una de las variables para regular la dirección del flujo es el radio de curvatura, el cual redirecciona el cauce evitando así desgaste por fricción de las orillas.

2.6.1.3 Muros longitudinales laterales o enrocados. –

Los enrocados de protección son estructuras conformadas en las partes laterales de los cauces es decir en la superficie de los taludes recubiertos por rocas pesadas ubicadas de manera trapezoidal; debido a la dificultad del traslado de estas rocas, se recomienda que la cantera este ubicada lo más cerca posible al punto crítico del tramo donde estas obras serán emplazadas; los mismos puntos críticos en donde se presentan flujos de agua a gran fuerza y velocidad, los cuales actúan con gran poder erosivo en los bordes del cauce que además no están naturalmente adecuados para resistir dichos flujos que provocan una inundación (Fernandez A. , 2018).

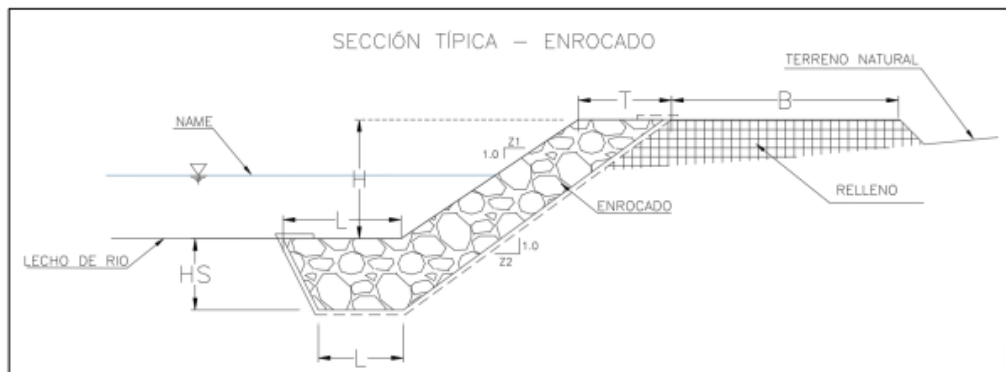


Ilustración 3. Sección típica de enrocado. Elab: (Banda, 2022).

En esta ilustración se detallan los parámetros necesarios para el dimensionamiento de obras longitudinales de encauzamiento; tanto de su emplazamiento como del enrocado, es decir el diámetro de roca, el cual se busca como resultado de esta tesis.

CAPITULO III

3 ANALISIS HIDROLOGICO - HIDRAULICO

3.1 Área de estudio. -

Con la utilización del software ArcGis se delimitó la zona de estudio la cual es la cuenca del río Burgay en el tramo desde la feria de ganado de la ciudad de Biblián hasta la avenida 16 de abril a la altura de la feria de ganado en la ciudad de Azogues; para la realización del proyecto de titulación; se investigará algo de su historia de crecientes.

El río Burgay es una corriente de agua que forma parte del escurrimiento superficial formado por las precipitaciones de aguas lluvias en la cuenca; localizada en la provincia del Cañar cuyos principales núcleos de población se centran en la ciudad de Biblián y Azogues (Escandon, 2022).

Se determinó la longitud aproximada de la zona de estudio a través de la aplicación Google Earth Pro obteniendo que se llevara el estudio acabo en 7.38 Km de tramo del río.



Ilustración 4. Ubicación geográfica del río Burgay y la zona de estudio. Fuente: Google Earth Pro.

Como límites en la zona de estudio se considera desde la feria de ganado de la ciudad de Biblián hasta el puente 16 de abril en la ciudad de Azogues en donde se encuentra el camal o el llamado Nuevo Mercado Municipal. Las coordenadas del punto inicial de estudio son: (735167.20 m E; 9698576.56m S) con una elevación de 2430 m; y el punto final se encuentra en las coordenadas: (739351.74 m E; 9694965.58 m S) con una elevación de 2546 m, considerando la zona 17 Sur.

Analizando un gráfico de elevaciones del tramo de estudio se observan los siguientes datos:

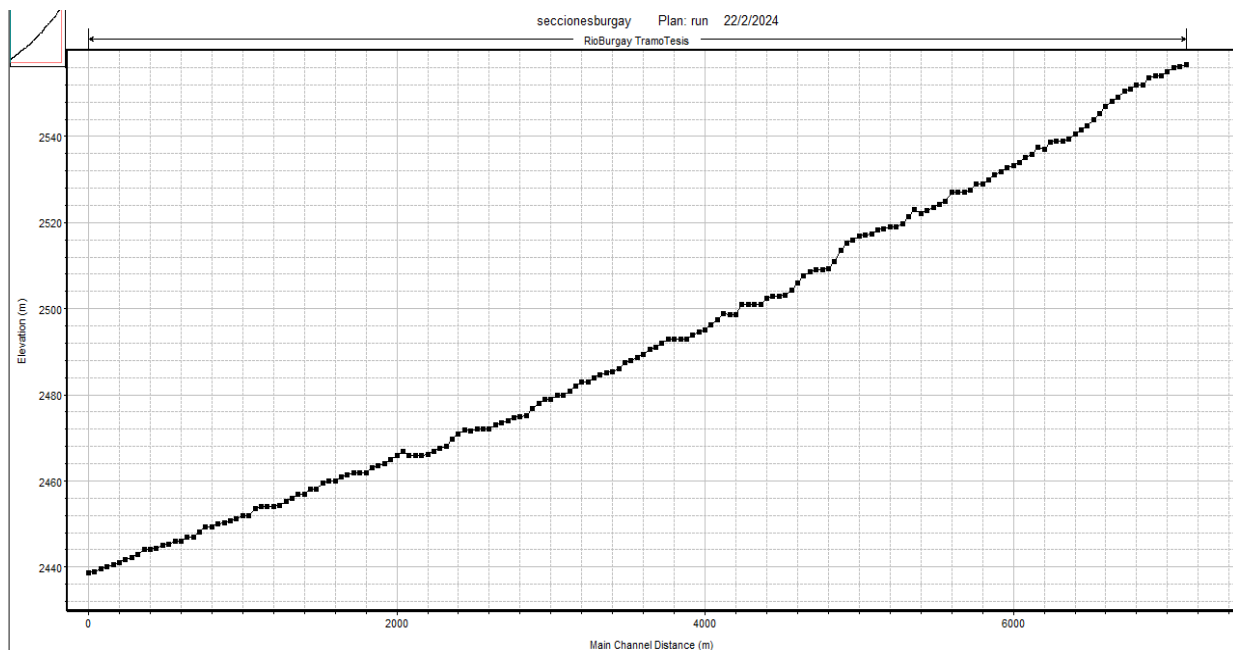


Ilustración 5. Diagrama de elevaciones del tramo de estudio (río Burgay). Fuente: Elaboración propia, Hec – Ras.

La cantidad de quebradas que son afluentes del río Burgay es de 33 de tipo perenne y estacionales; casi todas presentan problemas por canalización en tramos, falta de vegetación y acumulación de desechos (Leopoldo, 2015).

Se puede observar que el tramo de estudio es perteneciente a la Provincia del Cañar; y se ubica en la parte Sur de la ciudad de Biblián, cruzando el límite hacia la parte Sureste de la ciudad de Azogues, como se detalla a continuación.

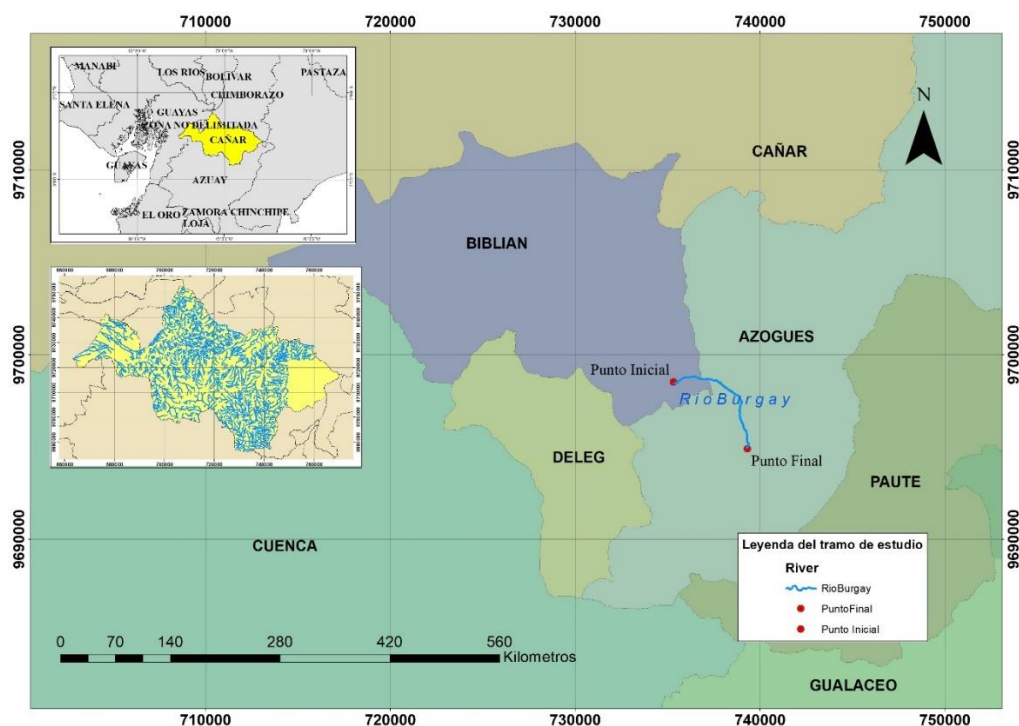


Ilustración 6. Ubicación del tramo de estudio. Fuente: Elaboración propia.

También se puede observar a lado izquierdo del mapa; la información de la red hídrica completa de la provincia del cañar que está disponible en la nube de datos del Instituto Geográfico Militar del Ecuador, la cual se puede aprovechar por medio del Software ArcMap.

3.2 Análisis de la Subcuenca hidrográfica. -

La cuenca se caracteriza por ser de relieve montañoso, con alturas que van desde los 2.300 hasta los 4.200 m s. n. m.; la pendiente media de la subcuenca es de 15.4% (Leopoldo, 2015).

Para la obtención grafica de la Subcuenca como primer paso se aísla de la base de datos a la provincia del Cañar en ArcMap por medio de la herramienta “hydrology” la cual al especificar el

punto de interés o punto de drenaje; con ayuda de un modelo digital de elevaciones, el programa delimitará la subcuenca comprendida entre las cotas más elevadas de la red hídrica seleccionada.

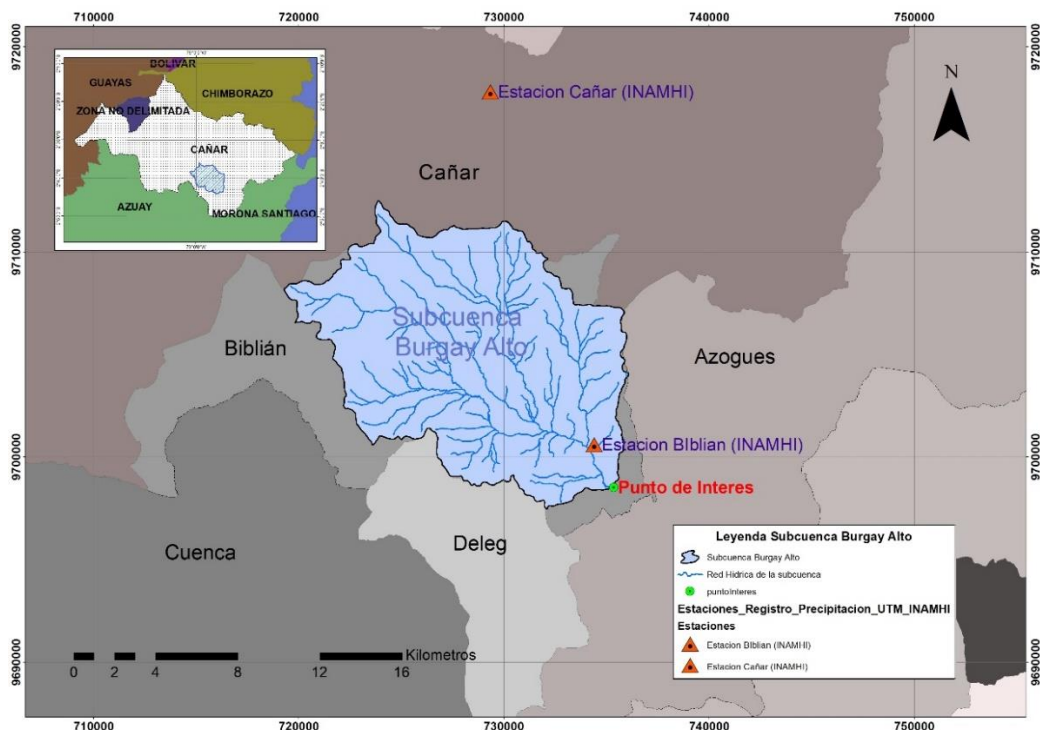


Ilustración 7. Delimitación de la Subcuenca Burgay Alto. Fuente: Elaboración propia.

Esta línea imaginaria que separa las diferentes cuencas, subcuencas y microcuencas hidrográficas entre sí; se la conoce como “divisora de aguas” (Gonzalez, 1990).

Es necesario además crear con la misma herramienta; “hydrology” un *flujo de dirección* el cual exhibe la información sobre el escurrimiento o el desplazamiento de las aguas; a su vez es necesario crear un *flujo de acumulación* el cual ayudará a observar las cotas mínimas reales del modelo digital de elevaciones en donde se tiene que posicionar el real punto de interés para así obtener un polígono el cual determina gráficamente la Subcuenca deseada; la cual expuso como resultado un área de 151.52 km^2 .

3.3 Análisis de precipitación y curvas IDF-

El Régimen pluviométrico es el rasgo climático más importante que caracteriza un lugar o zona, debido a muchos factores que afectan en el ámbito meteorológico, hidrológico y de ingeniería civil (INAMHI 2019). Según se expresa en el “estudio de intensidades y determinación para el cálculo de intensidades máximas de precipitación” del INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA Y DE HIDROLOGIA” del cual se utilizará la información pluviográfica obtenida por sus estaciones cercanas a la cuenca de estudio con el fin de determinar los datos necesarios y las variables influyentes en el objetivo de tesis.

Se puede observar a continuación la distribución de estaciones pluviométricas en el Ecuador que son manejadas por el INAMHI. Con este grafico se puede identificar las estaciones con información de lluvias cercanas a nuestra zona de estudio.

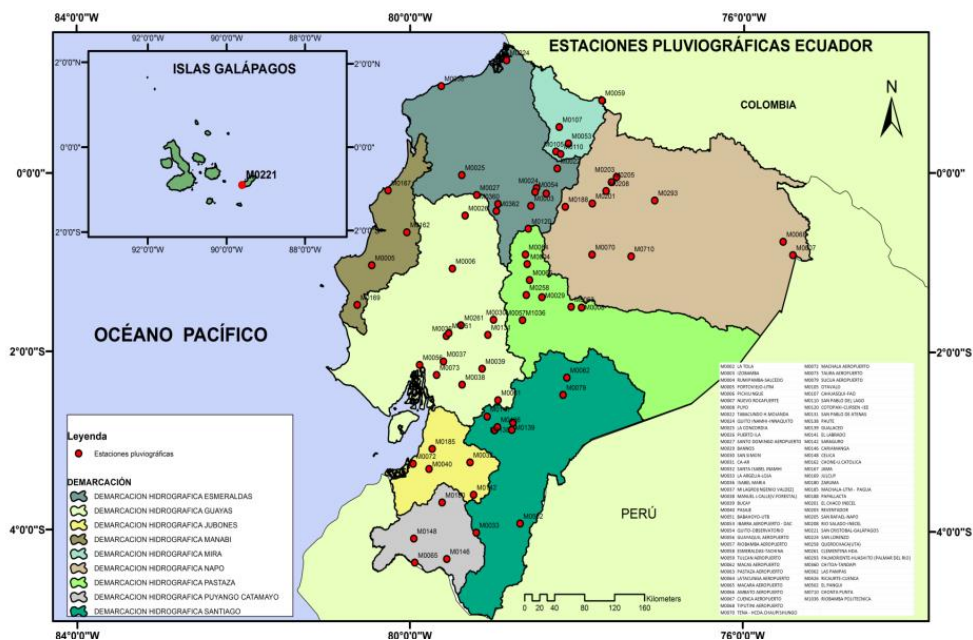


Ilustración 8. Mapa de las estaciones pluviométricas del Ecuador. Autor: INAMHI 2019

Según el documento “LUVIAS INTENSAS EN EL ECUADOR” últimamente revisado; se ha determinado que las estaciones más cercanas a la subcuenca de estudio del río Burgay el cual a su vez pertenecen a la cuenca del río Paute, son las siguientes:

Estaciones pluviográficas utilizadas para el estudio						
Código	Nombre	Latitud	Longitud	Altitud	N° Años	Institución
M031	Cañar	728467	9717724	3083	36	INAMHI
M137	Biblián	9700592	734407	2610	25	INAMHI

Tabla 2. Estaciones pluviográficas. Fuente: (INAMHI 2019).

Es necesario seguir el procedimiento especificado en el “estudio de intensidades y determinación para el cálculo de intensidades máximas de precipitación” del INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA DE HIDROLOGIA” ya que en dicho documento se encuentran definidas formulas específicas para la obtención de intensidades máximas de cada polígono en el que se ha dividido al Ecuador en este informe; en el mismo se especifica que la fórmula de la intensidad máxima de precipitación es:

$$I_{TR} = k * Id_{TR} * t^{-n}$$

Ecuación 4. Intensidades máximas de precipitación

De donde:

$I_{TR} \rightarrow$ Intensidad de precipitación para cualquier periodo de retorno. (mm/h) .

$k \rightarrow$ Depende de los intervalos establecidos en la siguiente tabla, (parametros regresión).

$Id_{TR} \rightarrow$ Depende de las intensidades máximas en 24 horas para varios periodos de retorno establecidos en el documento del INAMHI. (mm/h) .

$t \rightarrow$ Duración de lluvia (min).

La fórmula y los parámetros propuestos en dicho documento son los siguientes para la estación de Cañar y de Biblián; se utilizarán los datos de las dos estaciones debido a que no existen datos de fórmulas para la estación de Biblián por lo que se tomaran estas de las especificadas para la estación Cañar.

ZONA	CODIGO	NOMBRE ESTACIÓN	DURACIÓN	ECUACIÓN
15	M0031	CAÑAR	5 Min < 33.7 Min	$I_{TR} = 182.39 * I_{d_{TR}} * t^{-0.623}$ $R^2 = 0.9948$
			33.7 Min < 1440 Min	$I_{TR} = 330.41 * I_{d_{TR}} * t^{-0.792}$ $R^2 = 0.9976$

Ilustración 9. Formula específica para la estación Cañar. Fuente: (INAMHI 2019)

Datos de Estudio de llluvias intensas para formulas de la estación CAÑAR				
Código	Estación	Intervalos de t	k	n
M0031	Cañar	5 < 33.7	182.39	-0.623
		33.7 < 1440	330.41	-0.792

Tabla 3. Datos para las ecuaciones de la estación Cañar. Fuente: (INAMHI 2019).

Datos de Intensidades máximas en 24 horas para varios períodos de retorno							
Código	Estación	TR2	TR5	TR10	TR25	TR50	TR100
M0031	Cañar	0.93	1.18	1.35	1.55	1.71	1.86
M0137	Biblián	1.51	1.98	2.29	2.68	2.97	3.25

Tabla 4. Intensidades máximas en 24 horas para varios períodos de retorno. INAMHI 2019.

Posteriormente aplicando la ecuación (4) antes mencionada, se determinó las intensidades máximas de la estación Biblián, para diferentes períodos de retorno en tiempos estimados de duración:

Intensidades máximas de la estación Biblián							
IdTR (años)	t duración (min)						
	5	10	30	50	60	90	120
2	101.046	65.611	33.093	22.514	19.487	14.134	11.254
5	132.498	86.033	43.393	29.521	25.552	18.534	14.757
10	153.242	99.503	50.187	34.143	29.552	21.435	17.068
25	179.340	116.449	58.734	39.958	34.585	25.086	19.975
50	198.746	129.050	65.089	44.282	38.328	27.800	22.136
100	217.483	141.216	71.226	48.457	41.941	30.421	24.223

Tabla 5. Intensidades máximas de la estación Biblián. Fuente: Elaboración propia.

Finalmente se realizó la gráfica obteniendo un logaritmo para cada valor de la tabla y se define el comportamiento de precipitación obtenido mediante los datos leídos de la estación de Biblián, valores que fundamentales para analizar la cantidad de lluvia que cae sobre la cuenca hidrográfica de interés.

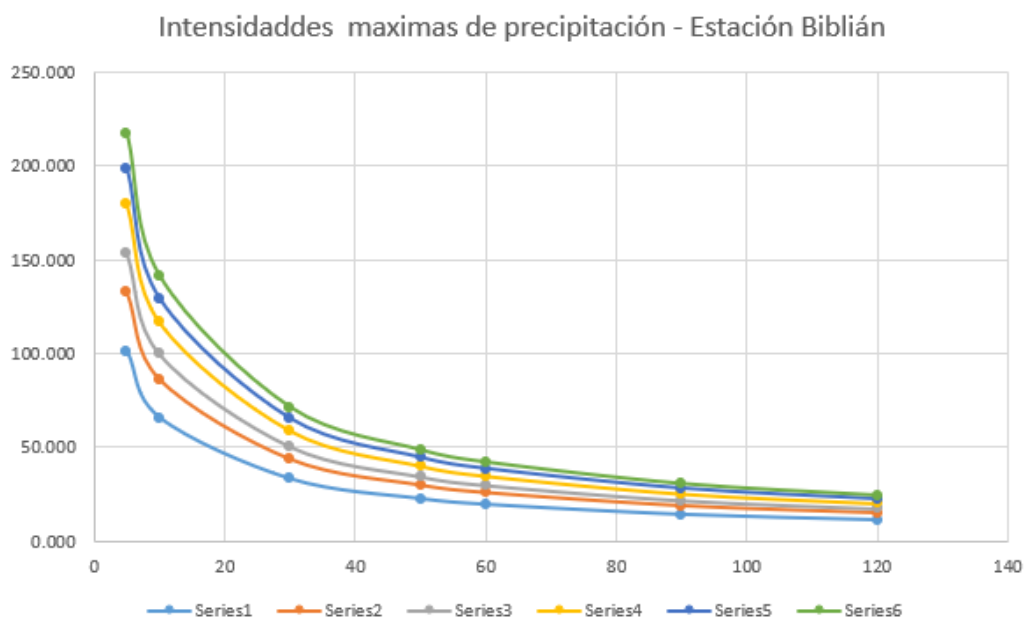


Ilustración 10. Gráfica de intensidades máximas de la estación Biblián. Fuente: Elaboración propia.

En la ilustración 11 se observa gráficamente las curvas de intensidades máximas de precipitación (mm) en función del tiempo de duración en minutos.

3.4 Tiempo de concentración y tiempo de retardo. –

En el programa HEC HMS define el parámetro del período de retorno (*Lag*) necesario para la obtención de hietogramas de intensidades máximas en una cuenca hidrográfica y su fórmula esta expresada por la ecuación (5); la cual a su vez depende del tiempo de concentración el cual se definió teóricamente en el capítulo anterior, en donde se determinó utilizar la ecuación (6) por el método de Kirprich.

$$Lag = 0.6 * tc$$

Ecuación 5

De donde:

$$tc = 0.066247 * L^{0.77} * S^{-0.385}$$

Ecuación 6

De donde:

tc = tiempo de concentracion

L = Longitud del cause principal en m

S = Pendiente promedio de la cuenca (m/m).

Para definir la longitud del cauce principal y la pendiente promedio de la cuenca se empleó el software mencionado ArcGis en donde se selecciona el cauce principal y en la tabla de atributos se observa una longitud de 21.93 km.

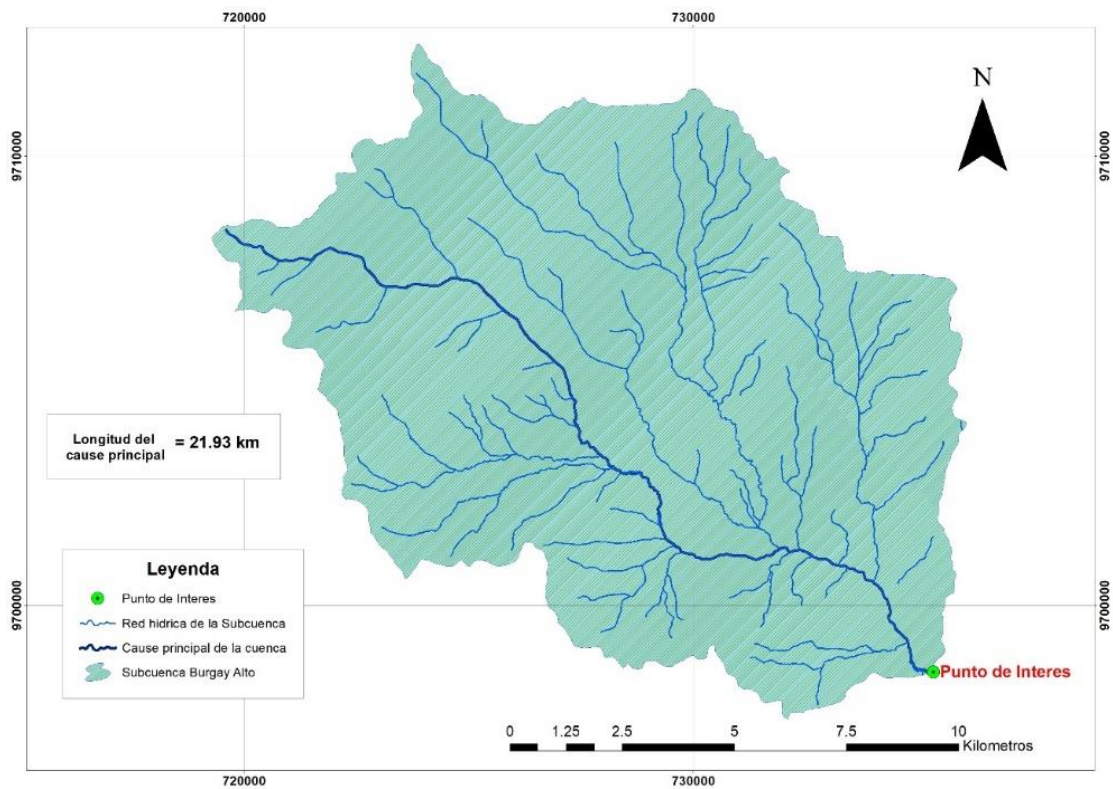


Ilustración 11. Longitud del cauce principal. Fuente: Elaboración propia.

A su vez se analizan los datos máximos y mínimos de elevaciones mediante las curvas de nivel para obtener la pendiente promedio de la cuenca la cual es la razón entre la diferencia de la cota más alta de la cuenca y la más baja con la longitud del cauce; como último paso el resultado se divide para mil para obtener el valor en m/m ; empleado de la siguiente manera:

Cotas máximas y mínimas de la cuenca		
C.Max	4020	m
C.Min	2600	m

Longitud del cauce principal		
L	21937.75	m
L	21.93775	km

Pendiente de la cuenca		
S	64.72860708	m
S	0.647286071	m/m

Tabla 6. Determinación de la pendiente de la cuenca. Fuente: Elaboración propia

Finalmente, al aplicar las ecuaciones antes mencionadas (5) y (6), se tiene como resultado de tiempo de concentración y tiempo de retardo respectivamente:

Tiempo de concentración		
tc	0.8445	horas
	50.6714	min

Tiempo de retardo		
lag time	30.40286843	min

Tabla 7. Tiempo de concentración y tiempo de retardo de la cuenca. Fuente; Elaboración propia.

3.4.1 Número de curva (CN), método SCS. -

Es un método creado por el Servicio de Conservación de Recursos naturales de EEUU con el fin de calcular la precipitación efectiva en función de la lluvia acumulada, la cobertura vegetal, el uso de suelo y las condiciones de humedad (Lavao, 2014).

Para la obtención de este valor mediante el método SCS se utilizó también el software ArcGis con la finalidad de al fusionar los datos de cobertura vegetal y tipo de suelo; resultará un valor ponderado del número de curva el cual se divide para el área de la zona o polígono, en donde las características del suelo y vegetación varían; posteriormente al realizar la sumatoria y dividir para el área total de la cuenca resultará el número de curva de la subcuenca hidrográfica estudiada.

Como se puede observar en el mapa de vegetación de la subcuenca resulta que mayormente existen zonas de bosque nativo y pastizal; con el área poblada muy escasa.

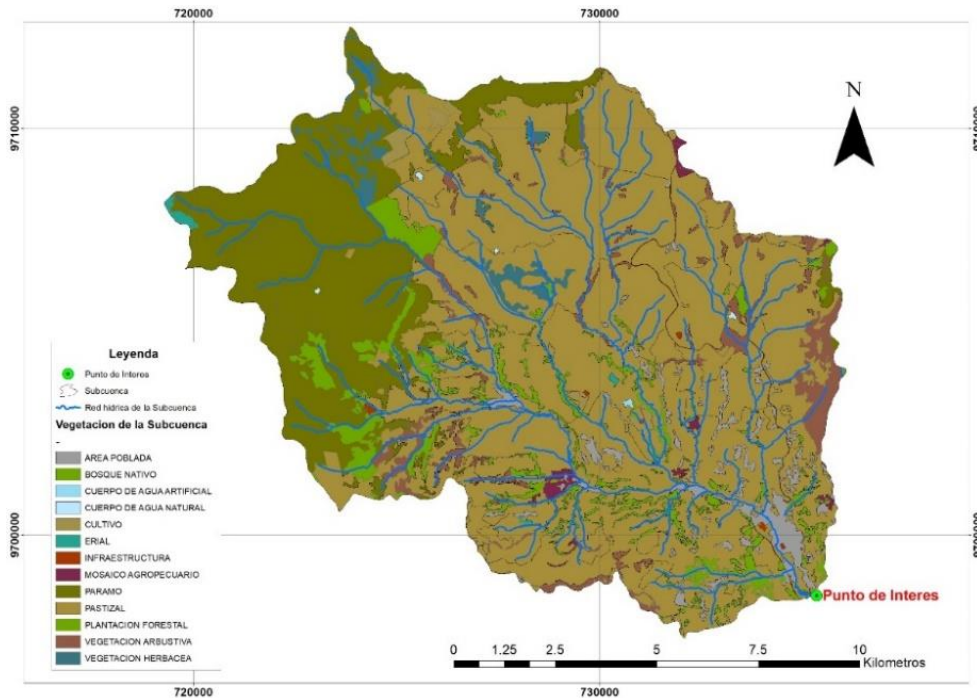


Ilustración 12. Vegetación de la Subcuenca. Fuente: Elaboración propia.

De la misma manera se puede observar la variación de tipo de suelo especificado en el siguiente mapa; este se clasificará posteriormente en tipo de suelo A, B, C y D.

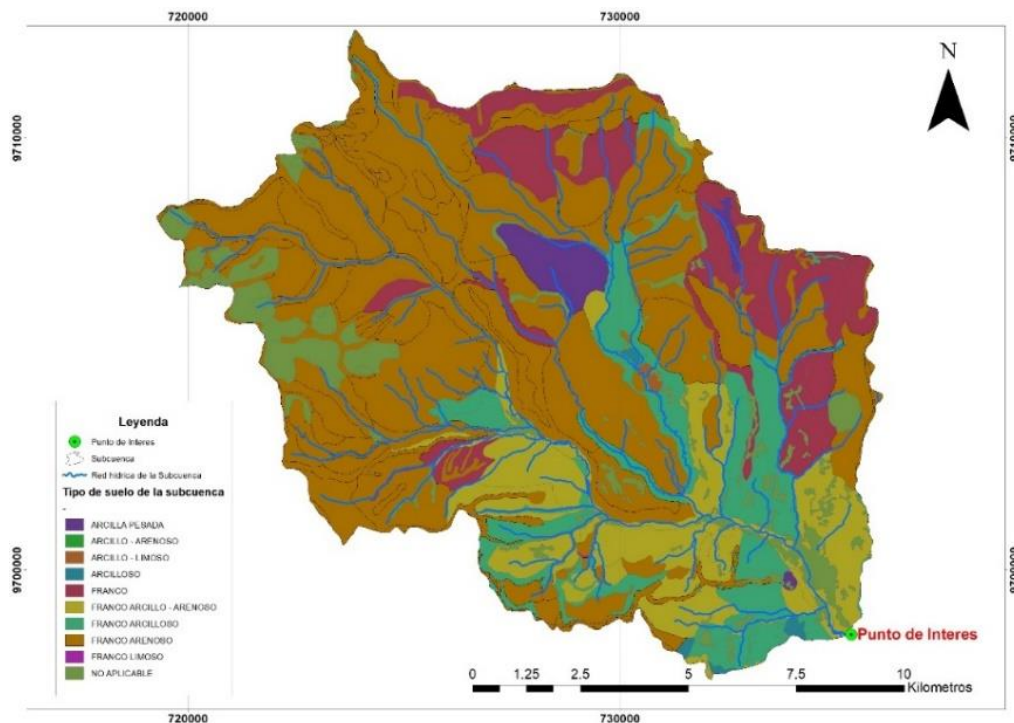


Ilustración 13. Tipo de suelo de la Subcuenca. Fuente: Elaboración propia.

Para determinar el número de curva para cada polígono se analizaron tablas de la “resolución 865 del 2004” del ministerio del ambiente, vivienda y desarrollo territorial de Bogotá, en donde se definen variables para determinar el número de curva mediante la clasificación SCS. A continuación, se detalla una tabla resumen de donde se determina el número de curva en función del uso y tipo de suelo:

Uso de suelo	Tipo de suelo			
	A	B	C	D
	Número de curva			
Bosque nativo	25	55	70	77
Selva	45	66	77	83
Arbusto	55	72	81	86
Agricultura	65	76	84	96
Pasto	39	61	74	80
Urbano	74	84	90	92
Agua	99	99	99	99

Tabla 8. Numero de curva según el tipo y uso de suelo. Fuente: Elaboración propia.

Se asignan los valores de *cn* a cada polígono o área basada en su tipo y uso de suelo; posteriormente se obtiene un valor ponderado del número de curva dividida por cada área y finalmente se realiza una sumatoria de dichos valores para al dividirlos por el área total de la cuenca obteniendo así el número adimensional de curva CN.

Entonces se considera al número de curva utilizado en el caudal como al resultado obtenido al interceptar las dos capas de ArcGis de tipo y uso de suelo.

Resultados del número de curva de la Subcuenca		
Área total	151.529773	Km2
Numero de Curva	59.95738305	

Tabla 9. Numero de curva CN, de la subcuenca. Fuente: Elaboración propia.

3.5 Análisis de hietogramas. -

El fin de analizar los hietogramas de precipitación de la subcuenca es para obtener datos fundamentales y necesarios de la red hídrica de la misma; es decir, se obtendrá el caudal para tres diferentes períodos de retorno; 25 años, 50 años y 100 años. Teniendo como resultados hietogramas de precipitación en milímetros en el eje de las abscisas en función del tiempo en minutos en el eje de las ordenadas.

Para la obtención de estas graficas se utilizará el software de Hec – Hms el cual realizará corridas de precipitación; para obtener los resultados se necesitan variables como el área de la subcuenca, el número de curva (el cual depende del tipo y uso de suelo) así como las precipitaciones en un determinado intervalo de tiempo *t* de duración, el cual considerare cada 5 minutos.

Según Wilton Van Te Chow en su libro de hidrología aplicada define el método de bloques alternos para obtener las precipitaciones de cada intensidad en un determinado tiempo de duración utilizando una curva de intensidad, duración y frecuencia.

En este método se especifica la profundidad de precipitación que ocurre en n intervalos de tiempo sucesivos de duración sobre una duración total, la cual se calcula multiplicando la intensidad de lluvia por el tiempo de duración; estos incrementos de reacomodan en una secuencia temporal, logrando que la intensidad máxima ocurra en el centro del tiempo total especificado y el resto de valores queden alternados hacia la derecha e izquierda en orden descendente para formar la gráfica de hietograma de diseño (Chow, 2000).

Especificación del punto de interés en HEC HMS, y la cuenca hidrográfica delimitada:

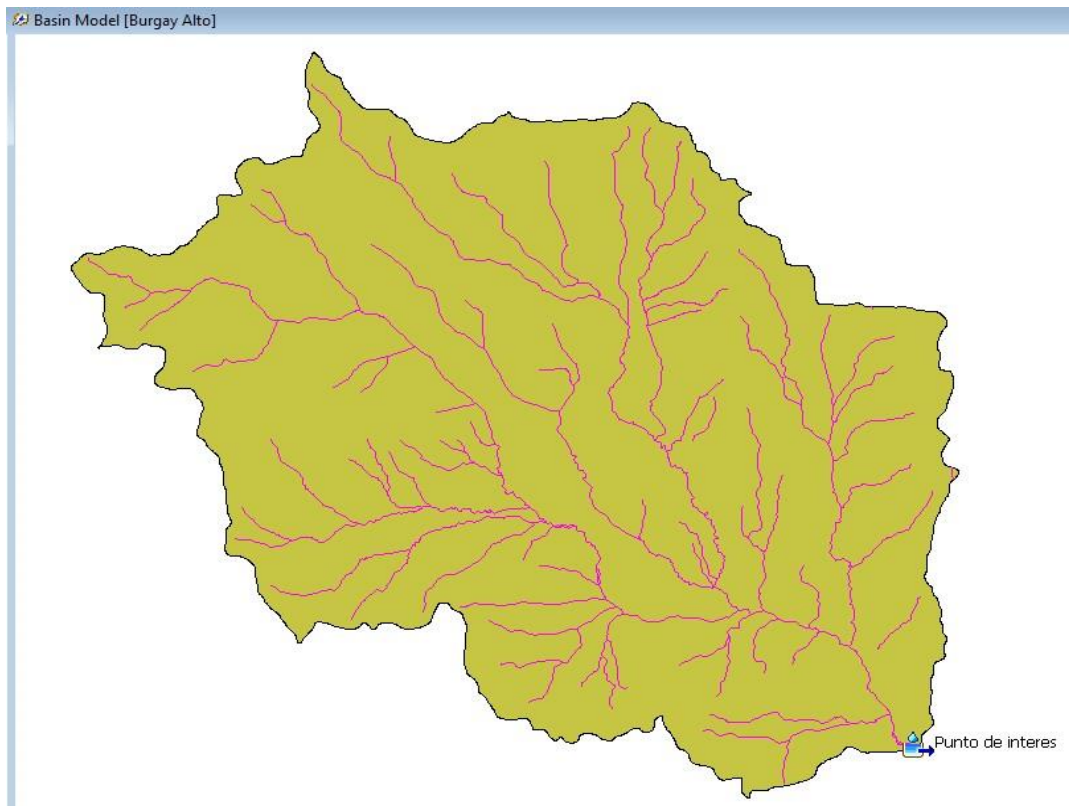


Ilustración 14. Ubicación del punto de interés. Fuente: Elaboración propia en HECHMS.

El hietograma de precipitación de la cuenca de Biblián para un período de retorno de 25 años y su respectiva grafica se expresan de la siguiente manera; dichos datos fueron ingresados en el programa Hrc – Hms para ser más preciso con la subcuenca hidrográfica estudiada.

HIETOGRAMA PARA UN PERÍODO DE 25 AÑOS				
t duración min	Intensidad (mm/h)	prof lluv acum (mm)	Prof lluv increm (mm)	Precipitación (mm)
0				
5	179.340	14.945	14.945	0.788
10	116.449	19.408	4.463	1.550
15	90.455	22.614	3.205	2.212
20	75.613	25.204	2.591	3.205
25	65.799	27.416	2.212	14.945
30	58.734	29.367	1.951	4.463
35	53.001	30.917	1.550	2.591
40	47.682	31.788	0.871	1.951
45	43.435	32.577	0.788	0.871
50	39.958	33.298	0.722	0.722

Tabla 10. Hietograma de precipitación para un período de retorno de 25 años. Fuente: Elaboración propia

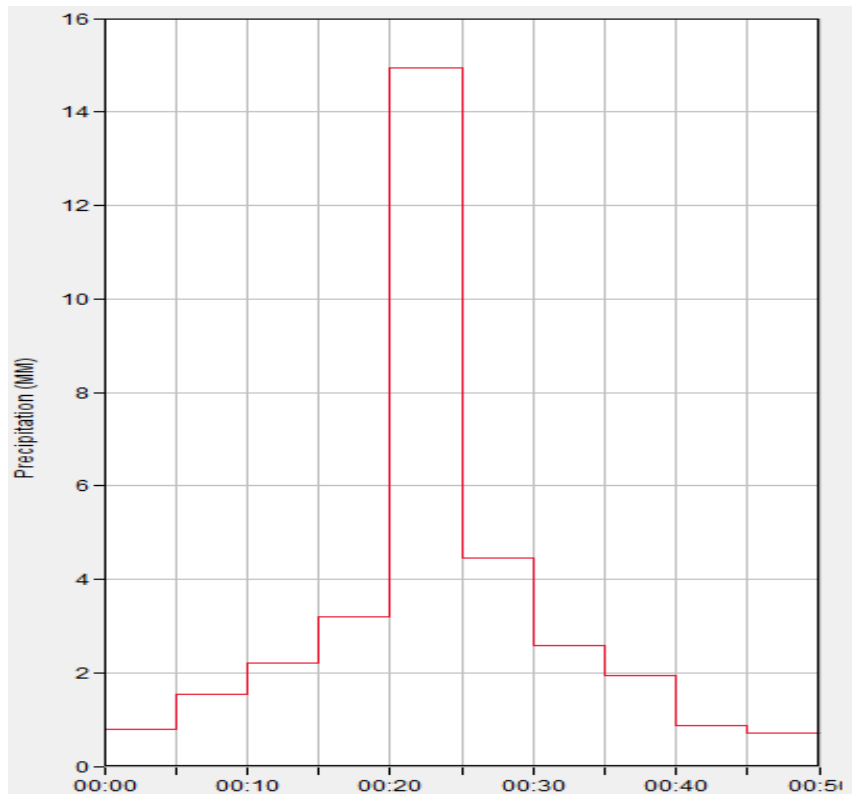


Ilustración 15. Hietograma de precipitación para un período de retorno de 25 años. Fuente: Elaboración propia.

Para el período de retorno de 50 años se sigue el mismo procedimiento.

HIETOGRAMA PARA UN PERÍODO DE 50 AÑOS				
t duración min	Intensidad (mm/h)	prof lluv acum (mm)	Prof lluv increm (mm)	Precipitación (mm)
0				
5	198.7463493	16.562	16.562	0.874
10	129.0498407	21.508	4.946	1.718
15	100.2426683	25.061	3.552	2.451
20	83.79455238	27.932	2.871	3.552
25	72.91902402	30.383	2.451	16.562
30	65.08949933	32.545	2.162	4.946
35	58.73645632	34.263	1.718	2.871
40	52.8418628	35.228	0.965	2.162
45	48.1354816	36.102	0.874	0.965
50	44.28181252	36.902	0.800	0.800

Tabla 11. Hietograma de precipitación para un período de retorno de 50 años. Fuente: Elaboración propia.

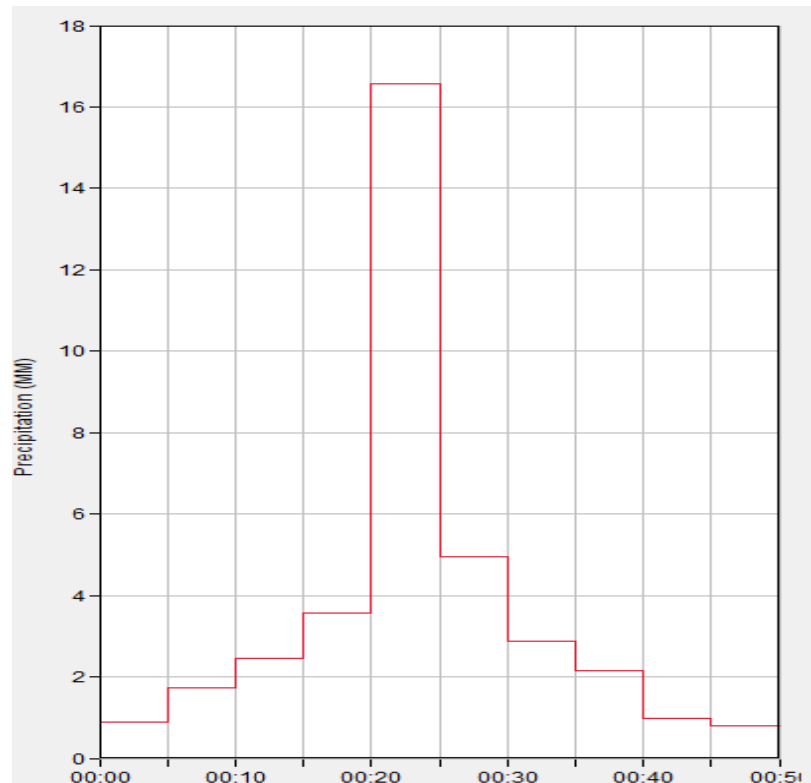


Ilustración 16.. Hietograma de precipitación para un período de retorno de 50 años. Fuente: Elaboración propia.

Finalmente se repite el mismo procedimiento para un período de retorno de 100 años.

HIETOGRAMA PARA UN PERÍODO DE 100 AÑOS				
t duración min	Intensidad (mm/h)	prof lluv acum (mm)	Prof lluv increm (mm)	Precipitacion (mm)
0				
5	217.4833788	18.124	18.124	0.956
10	141.2161556	23.536	5.412	1.880
15	109.6931555	27.423	3.887	2.683
20	91.6943755	30.565	3.142	3.887
25	79.79354481	33.247	2.683	18.124
30	71.22588311	35.613	2.366	5.412
35	64.27390001	37.493	1.880	3.142
40	57.82358724	38.549	1.056	2.366
45	52.67350681	39.505	0.956	1.056
50	48.45652885	40.380	0.875	0.875

Tabla 12. Hietograma de precipitación para un período de retorno de 100 años. Fuente: Elaboración propia.

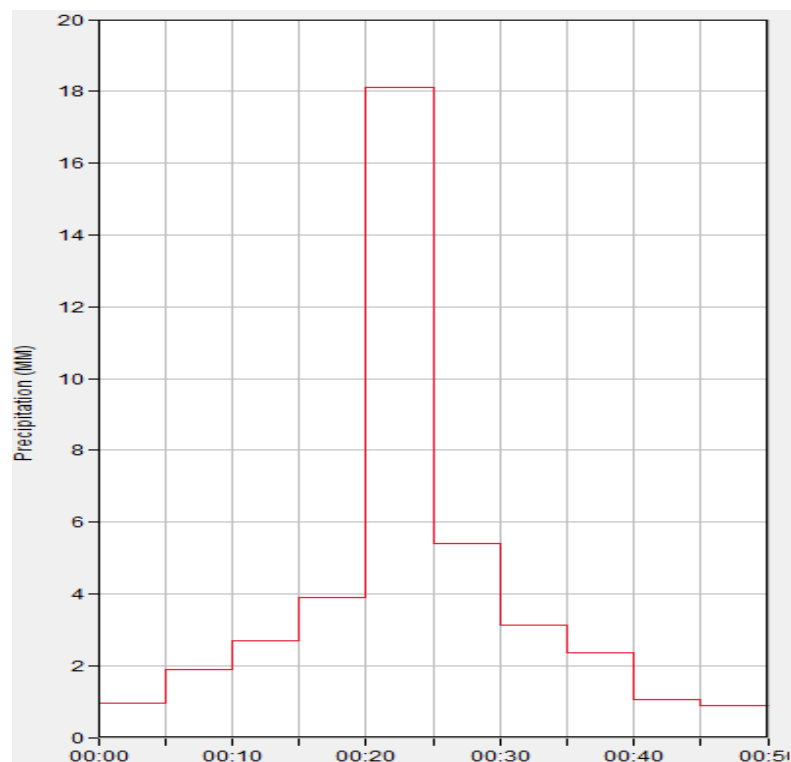


Ilustración 17. Hietograma de precipitación para un período de retorno de 100 años. Fuente: Elaboración propia.

3.6 Análisis de caudales. -

Al ingresar los datos de precipitación en el programa Hec – Hms también exhibe como resultados los caudales máximos de diseño entre otros parámetros fundamentales para el dimensionamiento de cualquier obra de ingeniería. Se analiza que los valores ascienden de manera progresiva al incrementar el período de retorno; debido a que de igual forma creció la profundidad de lluvia.

Para un período de retorno de 25 años:

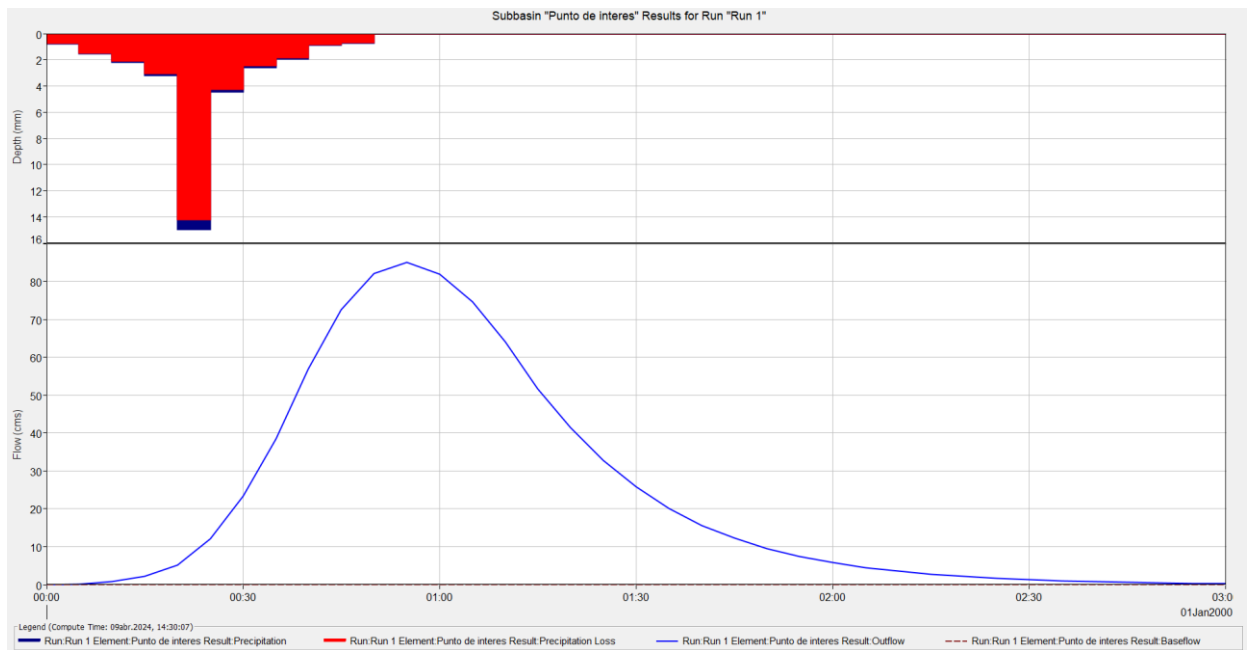


Ilustración 18. Grafica de Caudales TR 25. Fuente. Elaboración propia.

Project: Subcuenca Burgay alto Simulation Run: Run 1

Start of Run: 01ene.2000, 00:00 Basin Model: Subcuenca Burgay Alto
 End of Run: 01ene.2000, 00:50 Meteorologic Model: Met 1
 Compute Time: 05feb.2024, 04:48:58 Control Specifications: Control 1

Show Elements: All Elements Volume Units: MM 1000 M3 Sorting: Watershed Explorer

Hydrologic Element	Drainage Area (KM2)	Peak Discharge (M3/S)	Time of Peak	Volume (MM)
Punto de interes	151,5	82,1	1 January 2000, 0...	0,50

Ilustración 19. Caudal de diseño y velocidad para un período de 25 años. Fuente: Elaboración propia.

Para un período de retorno de 50 años:

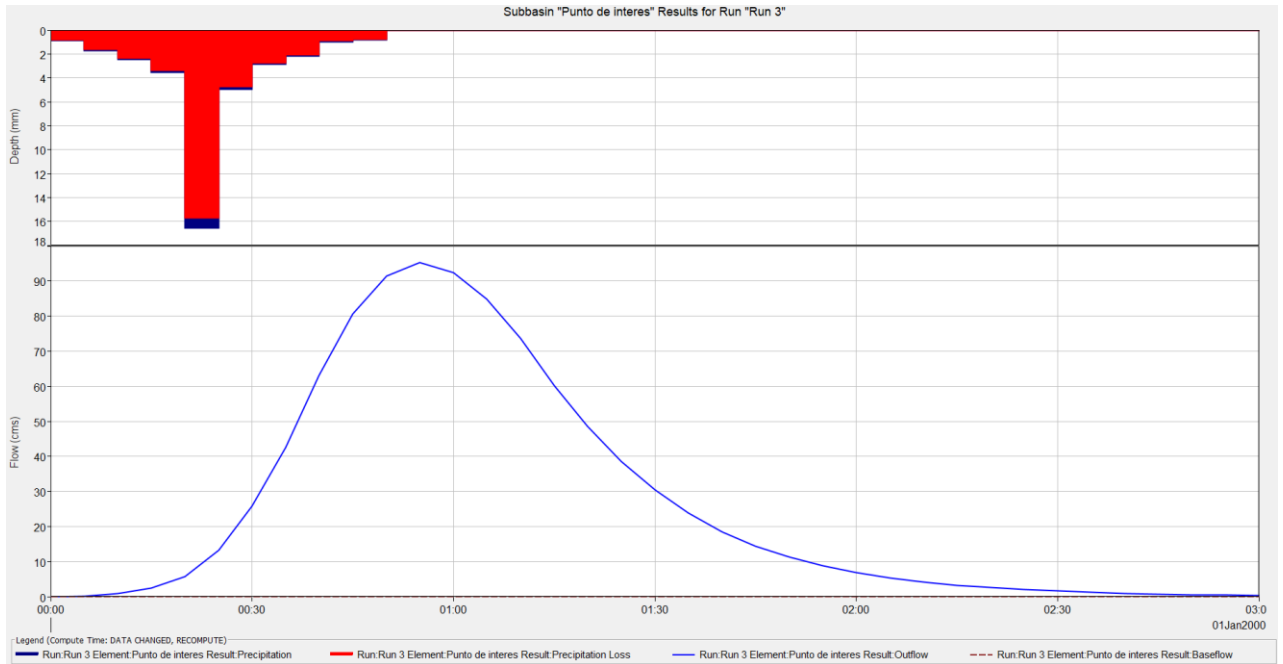


Ilustración 20. Grafica de Caudales, TR 50 años. Fuente: Elaboración propia.

Project: 25años Simulation Run: Run 2

Start of Run: 01ene.2000, 00:00 Basin Model: Subcuenca Burgay Alto
 End of Run: 01ene.2000, 00:50 Meteorologic Model: Met 1
 Compute Time: 05feb.2024, 04:57:20 Control Specifications: Control 1

Show Elements: All Elements Volume Units: MM 1000 M3 Sorting: Watershed Explorer

Hydrologic Element	Drainage Area (KM2)	Peak Discharge (M3/S)	Time of Peak	Volume (MM)
Punto de interes	151,5	91,4	1 January 2000, 0...	0,55

Ilustración 21. Caudal de diseño y velocidad para un período de 50 años. Fuente: Elaboración propia.

Para un período de retorno de 100 años:

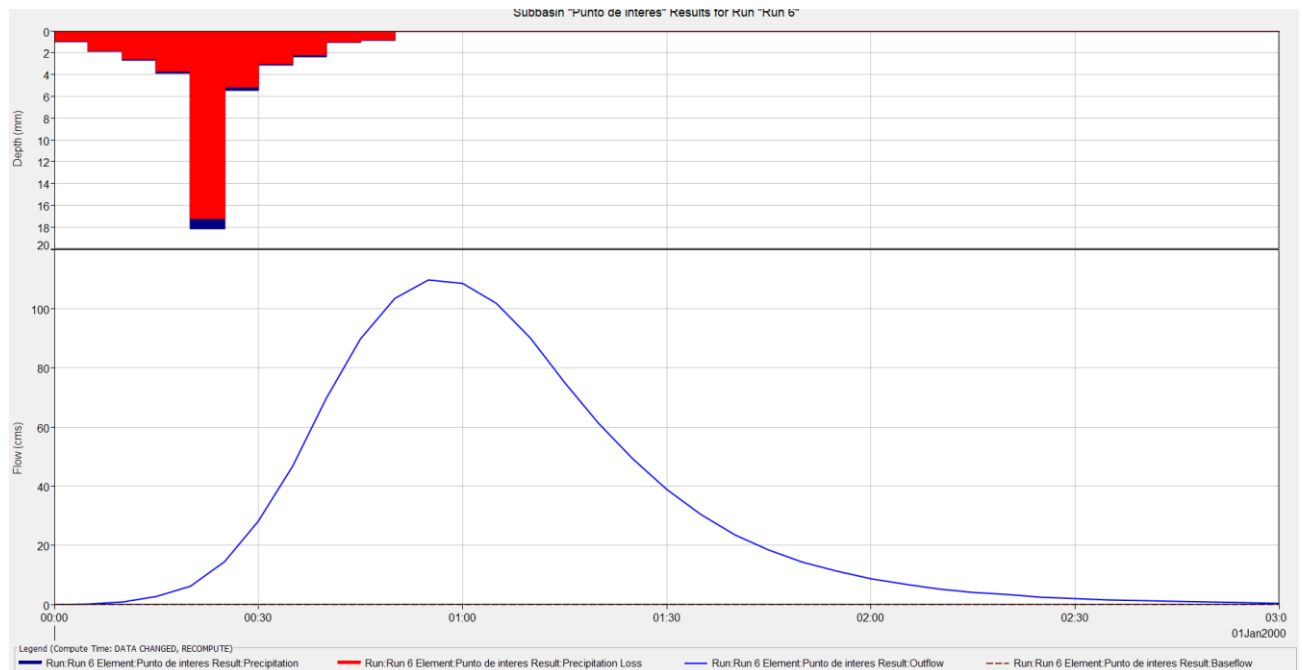


Ilustración 22. Grafica de caudal, TR 100. Fuente: Elaboración propia.

Project: 25años Simulation Run: Run 3

Start of Run: 01ene.2000, 00:00 Basin Model: Subcuenca Burgay Alto
 End of Run: 01ene.2000, 00:50 Meteorologic Model: Met 1
 Compute Time: DATA CHANGED, RECOMPUTE Control Specifications: Control 1

Show Elements: All Elements Volume Units: MM 1000 M3 Sorting: Watershed Explorer

Hydrologic Element	Drainage Area (KM2)	Peak Discharge (M3/S)	Time of Peak	Volume (MM)
Punto de interes	151,5	103,3	1 January 2000, 0...	0,61

Ilustración 23. Caudal de diseño y velocidad para un período de 100 años. Fuente: Elaboración propia.

3.7 Simulación de inundación Hec Geo Ras y Hec Ras. –

En ArcGis con la extensión Hec Geo Ras a partir de un modelo digital de elevaciones que abarque la zona de estudio se define en la opción *RAS Geometry* el cauce del Río Burgay mediante el comando *river*, consecutivamente se define el ancho del río con el comando *Bank Lines* siguiendo su cauce.

Posteriormente se determina un límite de inundación; es decir hasta donde se puede desbordar el río probablemente en caso de una inundación, esto mediante el comando *Flow Paths*

Centerlines. Finalmente se definen secciones transversales al río cada 20 metros con una longitud de sección entre 100 y 150 metros de la siguiente manera:

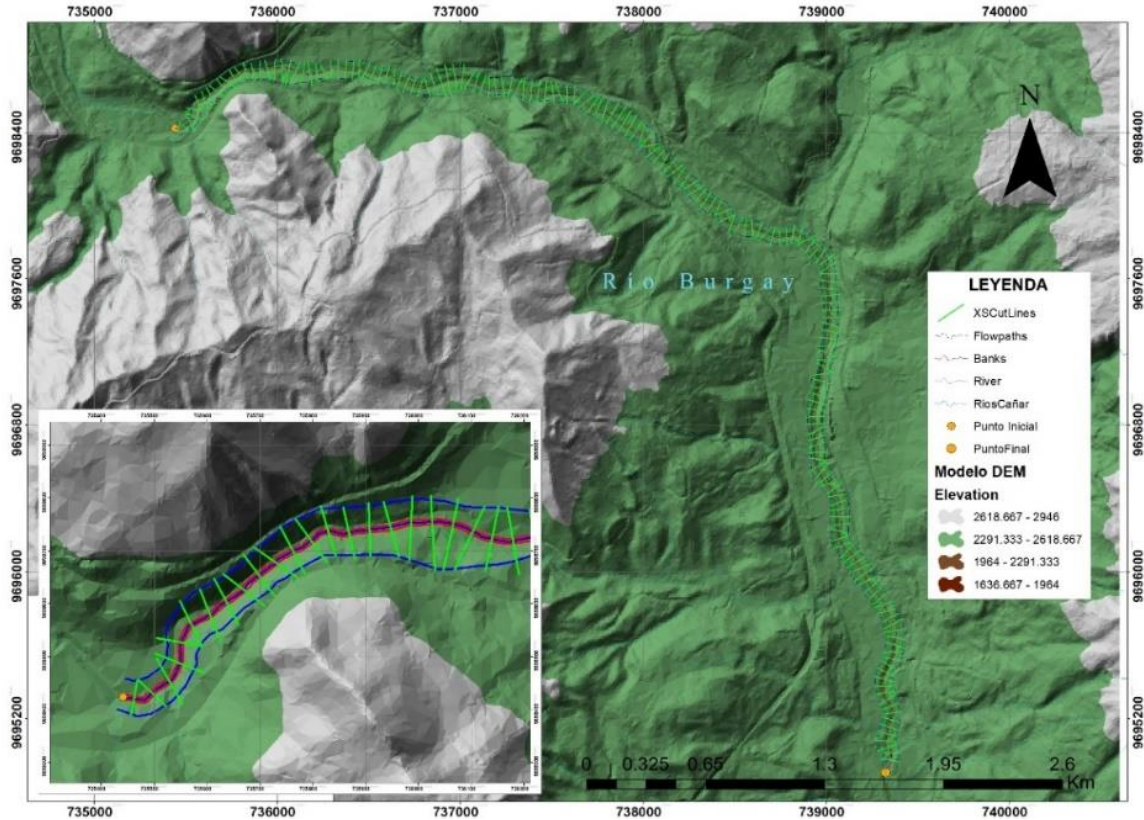


Ilustración 24. Análisis de secciones. Fuente: Elaboración propia.

Estas secciones definidas se exportarán al programa Hec Ras en donde se puede observar cada sección transversal basada en las elevaciones del raster utilizado en ArcGis.

También se puede observar aquí la sección longitudinal del río con su punto inicial y final, así como las elevaciones de estos y de cada sección que se cortó a lo largo del río con sus respectivas elevaciones y coordenadas; esta grafica es la que ya se mencionó anteriormente en el capítulo II.

Finalmente se visualiza el tramo de estudio con las secciones cada 20m en el programa.

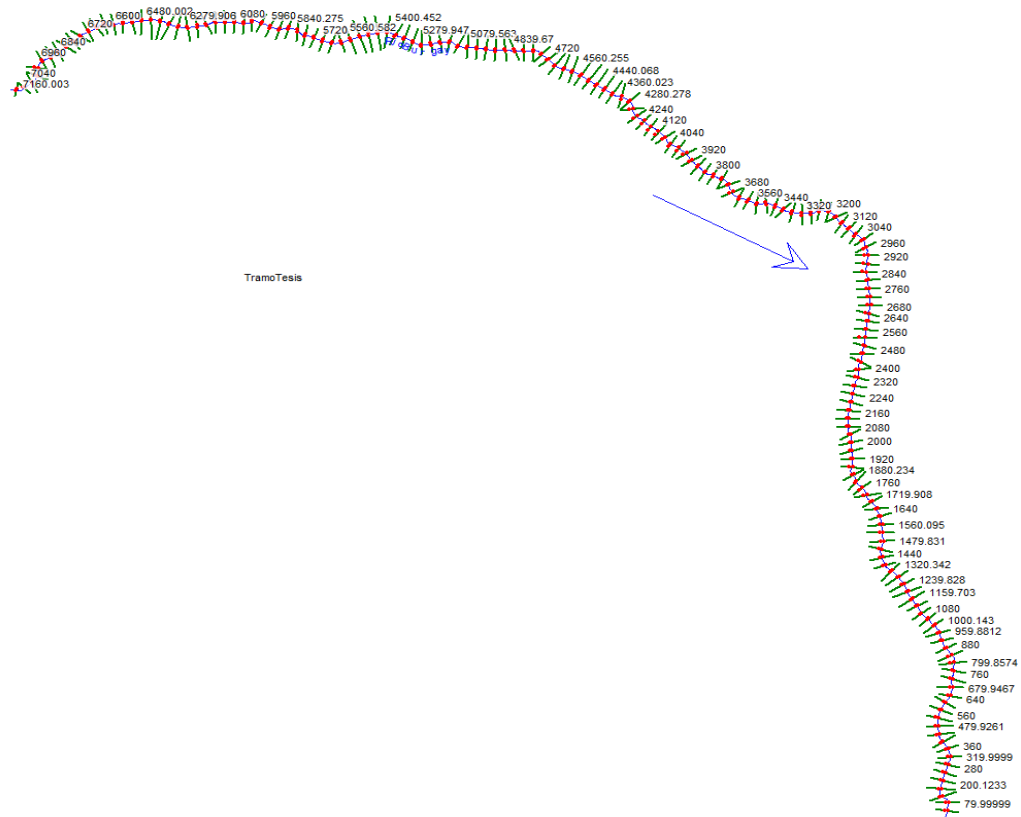


Ilustración 25. Tramo de estudio con secciones cada 20m. Fuente. Elaboración propia en Hec – Ras.

3.8 Variables necesarias para la simulación. –

3.8.1 Valores de Manning. –

Osío Yépez en la revista de ingeniería sobre expresa que el cálculo del coeficiente de rugosidad “n” se refiere a definir la resistencia al flujo de un cauce en función de la distribución de las velocidades y del diámetro medio de las partículas de fondo y que a lo largo del perímetro de la sección transversal pueden existir diferentes valores del coeficiente de rugosidad (Yépez, 2000).

Esta es entonces la cantidad de resistencia al movimiento o al flujo del agua en superficies naturales o artificiales; estos dependen directamente de la vegetación, irregularidad del nivel del fondo y del caudal; en un cauce natural la resistencia al flujo y el valor n de Manning tienen su diferencia y resulta más complicada de calcular considerando también de las características del material que recubren el perímetro de la sección del cauce (Fernandez C. , 2018).

Uno de los métodos para estimar este valor n en un cauce es mediante la fórmula de Cowan la cual considera el material, el grado de irregularidad. Variación de la sección transversal, vegetación, entre otros, los cuales son determinados en la siguiente tabla:

$$n = (n_0 + n_1 + n_2 + n_3 + n_4) * m$$

Ecuación 7

Condición del cauce		Valores
Material considerado	Tierra	0,020
	Corte en roca	0,025
	Grava fina	0,024
	Grava gruesa	0,028
Grado de Irregularidad	Suave	0,000
	Menor	0,005
	Moderado	0,010
	Severo	0,020
Variación de la Sección Transversal	Gradual	0,000
	Ocasionalmente alternante	0,005
	Frecuentemente alternante	0,010–0,015
Efecto de las Obstrucciones	Insignificante	0,000
	Menor	0,010–0,015
	Apreciable	0,020–0,030
	Severo	0,040 - 0,060
Vegetación	Baja	0,005–0,010
	Media	0,010–0,025
	Alta	0,025–0,050
	Muy alta	0,050–1,000
Cantidad de Meandros	Menor	1,000
	Apreciable	1,150
	Severa	1,300

Ilustración 26. Método de Cowan para el cálculo de n . Fuente: (Días, 2020).

Finalmente, mediante la fórmula determina que los valores de n para el cauce del Río Burgay en el tramo de estudio es de $n = 0.044$ y para los bordes debido a la vegetación existente es de $n = 0.060$.

3.8.2 Estado de flujo. –

En este apartado es en donde se refieren a los valores de los caudales obtenidos anteriormente en Hec – Hms en base a la intensidad de lluvia en la subcuenca en los diferentes períodos de retorno.

Para el estado del flujo que se debe ingresar en Hec – Ras se definió los tres períodos de retorno para 25 años, 50 años y 100 años con sus respectivos caudales máximos.

3.8.3 Condiciones de contorno. –

Como condiciones de contorno se define en Hec – Ras la pendiente del cauce para establecer el nivel inicial de agua inicial en ambos extremos considerando un régimen mixto el cual se considera entre un flujo lento y flujo rápido con un número de Froud > 1 .

Extremo superior			
7160		7120	
distancia	cota	distancia	Cota
7120.06	2556.73	7080.08	2556.2
pendiente		0.01325	

Tabla 13. Condiciones de contorno extremo superior del cauce. Fuente: Elaboración propia en Hec – Ras.

Extremo inferior			
40		80	
distancia	cota	distancia	Cota
0	2438.73	40	2439
pendiente		0.00675	

Tabla 14. Condiciones de contorno extremo inferior del cauce. Fuente: Elaboración propia en Hec – Ras.

3.9 Resultados de corridas en Hec – Ras. –

Lo primero que se observa al correr Hec – Ras es como se marca la línea de agua en el perfil longitudinal del cauce; resaltando los regímenes críticos subcríticos y supercríticos de los tres períodos de retorno ingresados.

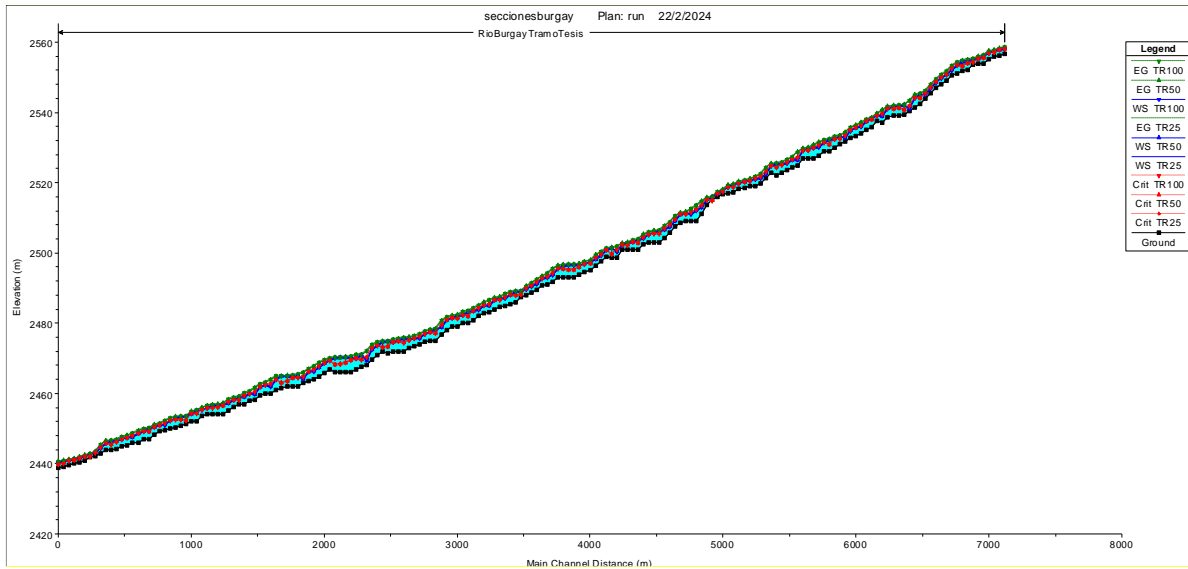


Ilustración 27. Perfil longitudinal del río con la línea de agua determinada por los 3 períodos de retorno. Fuente: Elaboración propia en Hec - Ras.

También se observa cómo en cada una de las secciones se detalla el nivel de agua para los tres períodos de retorno; a continuación, determinaremos el ancho de la lamina de agua en la sección para las tres zonas críticas de inundación.

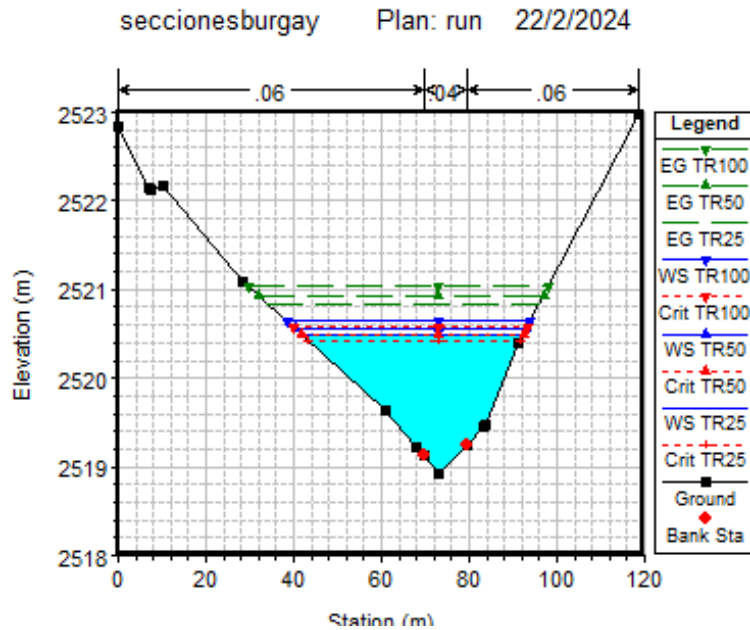


Ilustración 28. Nivel de agua en la seccion transversal crítica, puente San José. Fuente: Elaboración propia en Hec - Ras.

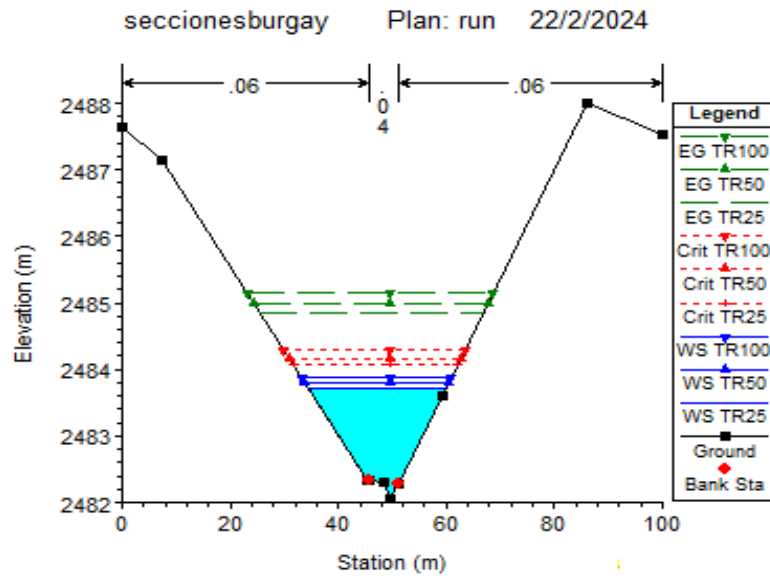


Ilustración 29. Nivel de agua en la seccion transversal crítica, mercado Sucre. Fuente: Elaboración propia en Hec – Ras

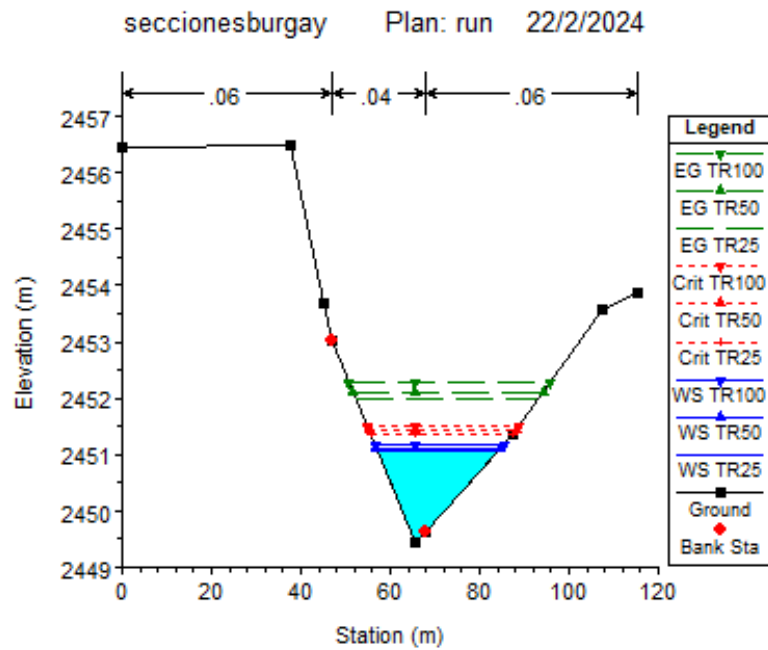


Ilustración 30. Nivel de agua en la seccion transversal crítica, parque del Migrante. Fuente: Elaboración propia en Hec – Ras

Finalmente se visualiza la tabla de resultados; en donde podemos observar la velocidad del caudal, el tirante de agua y el número de Froude; los cuales se analizan gráficamente de la siguiente

manera para determinar únicamente de los tres tramos más desfavorables definiendo así a las zonas más críticas a lo largo del tramo.

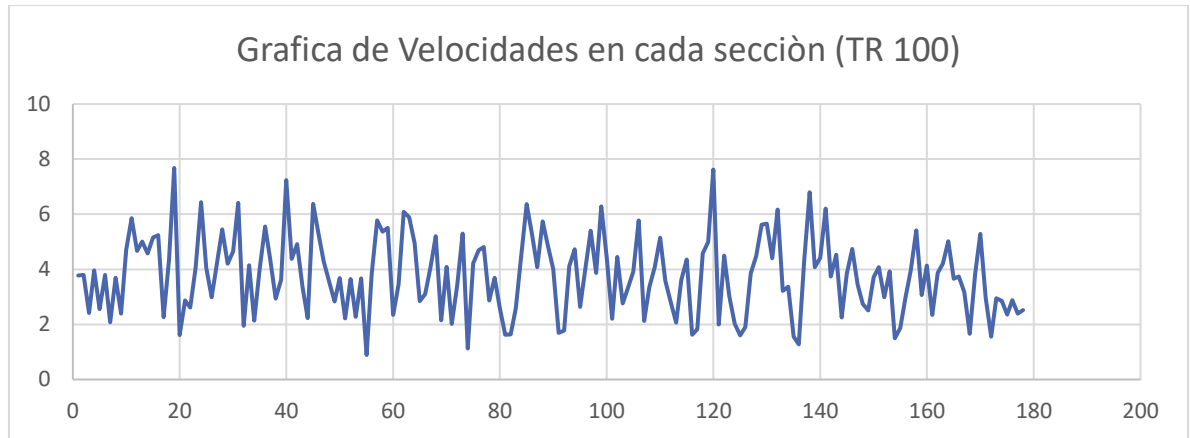


Ilustración 31. Velocidades a lo largo del tramo río Burgay. Fuente: Elaboración propia.

Se puede observar las velocidades más altas que se tiene a lo largo del tramo es en algunas secciones y estas varían entre 7 y 8 metros cuadrados.

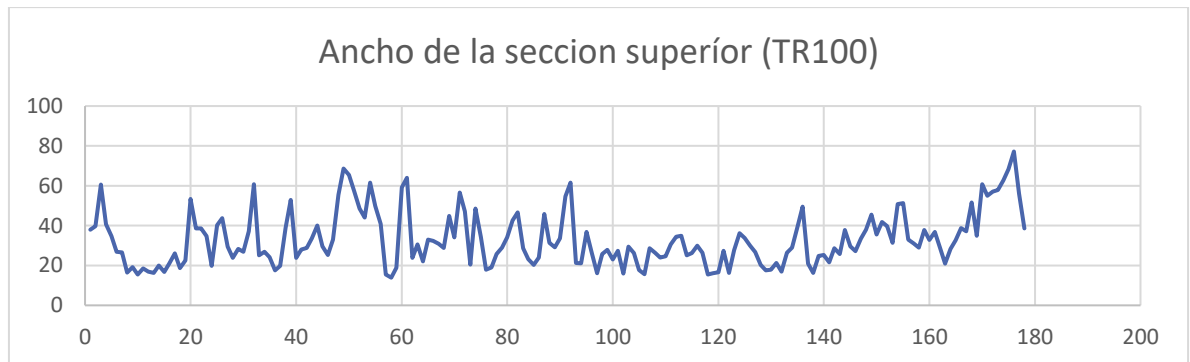


Ilustración 32. Ancho de la sección transversal en el río Burgay. Fuente: Elaboración propia.

Otra característica para determinar zonas críticas de inundación es en donde su sección transversal es alta y se desborda de los límites del ancho del río; es por eso que en la ilustración 32 podemos observar las secciones en donde su ancho llega incluso a los 70 m, para un período de 100 retorno de 100 años.

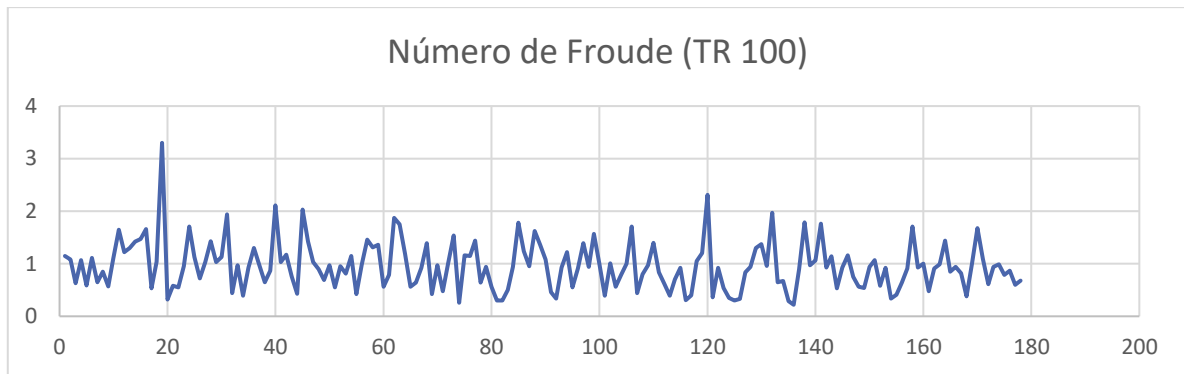


Ilustración 33. Número de Freud en el tramo río Burgay. Fuente: Elaboración propia.

Este parámetro define si se trata de un flujo crítico, super crítico y subcrítico dependiendo si este es mayor, menor o igual a 1 respectivamente; entonces donde es mayor este valor se dice que se trata de un flujo crítico o zona de inundación.

Se definieron algunas áreas de inundación críticas para los diferentes periodos de retorno: pero para este análisis se seleccionaron las tres zonas más problemáticas en base a las entrevistas realizadas a los ciudadanos las cuales se detallaron en los antecedentes de este documento y también en base a los resultados obtenidos en la simulación en el programa Hec – Ras; y son las siguientes con sus respectivos datos para el cálculo de encauzamiento con enrocado:

Zona critica ubicada en el puente San José:

Reach	River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
TramoTesis	5200.173	TR25	82.10	2518.60	2520.27	2520.06	2520.49	0.006483	2.66	52.66	62.67	0.69
TramoTesis	5200.173	TR50	91.40	2518.60	2520.37	2520.13	2520.59	0.006150	2.70	58.62	65.94	0.68
TramoTesis	5200.173	TR100	103.30	2518.60	2520.44	2520.20	2520.68	0.006343	2.83	63.85	68.69	0.69
TramoTesis	5159.929	TR25	82.10	2518.27	2519.71	2519.71	2520.11	0.013563	3.47	39.15	54.23	0.97
TramoTesis	5159.929	TR50	91.40	2518.27	2519.76	2519.76	2520.20	0.014421	3.66	41.94	57.47	1.01
TramoTesis	5159.929	TR100	103.30	2518.27	2519.88	2519.88	2520.31	0.013049	3.68	49.00	65.41	0.97
TramoTesis	5120.088	TR25	82.10	2517.29	2519.23	2518.69	2519.36	0.004179	2.06	60.66	55.81	0.54
TramoTesis	5120.088	TR50	91.40	2517.29	2519.32	2518.76	2519.45	0.004194	2.13	65.26	57.05	0.55
TramoTesis	5120.088	TR100	103.30	2517.29	2519.41	2518.84	2519.55	0.004186	2.22	70.66	57.42	0.55
TramoTesis	5079.563	TR25	82.10	2517.00	2518.68	2518.68	2519.08	0.012539	3.39	36.88	46.31	0.93
TramoTesis	5079.563	TR50	91.40	2517.00	2518.74	2518.74	2519.17	0.012702	3.52	39.81	47.27	0.95
TramoTesis	5079.563	TR100	103.30	2517.00	2518.82	2518.82	2519.27	0.012639	3.65	43.73	48.53	0.95
TramoTesis	5040.165	TR25	82.10	2516.82	2517.70	2517.38	2517.89	0.010226	1.94	43.21	42.51	0.75
TramoTesis	5040.165	TR50	91.40	2516.82	2517.76	2517.43	2517.97	0.010607	2.09	45.78	43.25	0.78
TramoTesis	5040.165	TR100	103.30	2516.82	2517.83	2517.50	2518.07	0.011114	2.28	48.85	44.11	0.81
TramoTesis	4999.833	TR25	82.10	2515.84	2516.97	2516.97	2517.29	0.020543	3.41	39.05	60.05	1.13
TramoTesis	4999.833	TR50	91.40	2515.84	2517.02	2517.02	2517.35	0.020606	3.53	41.93	60.89	1.14
TramoTesis	4999.833	TR100	103.30	2515.84	2517.08	2517.08	2517.44	0.020559	3.67	45.46	61.50	1.15

Tabla 15. Resultados al correr el programa Hec – Ras, Secciones criticas Puente San José. Fuente: Elaboración propia.

Zona critica ubicada en el Antiguo Mercado Sucre:

Reach	River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
TramoTesis	3320	TR25	82.10	2484.00	2486.34	2486.34	2486.99	0.011379	3.75	26.82	23.96	0.92
TramoTesis	3320	TR50	91.40	2484.00	2486.46	2486.46	2487.13	0.010987	3.85	29.63	25.20	0.91
TramoTesis	3320	TR100	103.30	2484.00	2486.59	2486.59	2487.30	0.010799	3.99	32.93	26.58	0.91
TramoTesis	3280	TR25	82.10	2483.00	2484.90	2485.27	2486.22	0.031404	5.17	16.97	14.80	1.45
TramoTesis	3280	TR50	91.40	2483.00	2485.01	2485.40	2486.38	0.029677	5.30	18.58	15.38	1.43
TramoTesis	3280	TR100	103.30	2483.00	2485.15	2485.54	2486.57	0.027175	5.40	20.82	16.17	1.39
TramoTesis	3240	TR25	82.10	2482.91	2485.04	2485.04	2485.66	0.012410	3.63	25.88	23.54	0.94
TramoTesis	3240	TR50	91.40	2482.91	2485.14	2485.14	2485.80	0.012078	3.74	28.35	24.54	0.94
TramoTesis	3240	TR100	103.30	2482.91	2485.26	2485.26	2485.97	0.011714	3.87	31.49	25.76	0.94
TramoTesis	3200	TR25	82.10	2482.05	2483.72	2484.08	2484.85	0.032271	5.80	22.56	25.55	1.52
TramoTesis	3200	TR50	91.40	2482.05	2483.79	2484.17	2484.99	0.032658	6.03	24.44	26.56	1.54
TramoTesis	3200	TR100	103.30	2482.05	2483.88	2484.29	2485.16	0.033051	6.29	26.80	27.78	1.57
TramoTesis	3160	TR25	82.10	2480.93	2483.28	2483.35	2484.06	0.013049	4.12	24.61	20.87	0.98
TramoTesis	3160	TR50	91.40	2480.93	2483.39	2483.47	2484.21	0.012916	4.26	26.91	21.83	0.99
TramoTesis	3160	TR100	103.30	2480.93	2483.52	2483.61	2484.39	0.012855	4.44	29.73	22.94	1.00

Ilustración 34. Resultados al correr el programa Hec – Ras, Secciones criticas Mercado Sucre. Fuente: Elaboración propia.

Zona critica ubicada en el Parque del Migrante:

Reach	River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
TramoTesis	880	TR25	82.10	2450.00	2452.20	2452.20	2452.80	0.011392	3.75	29.30	27.87	0.91
TramoTesis	880	TR50	91.40	2450.00	2452.31	2452.31	2452.93	0.011126	3.85	32.29	29.27	0.91
TramoTesis	880	TR100	103.30	2450.00	2452.43	2452.43	2453.08	0.010822	3.97	36.09	30.97	0.91
TramoTesis	840.1072	TR25	82.10	2449.44	2451.05	2451.35	2451.99	0.043437	5.00	21.55	26.80	1.63
TramoTesis	840.1072	TR50	91.40	2449.44	2451.11	2451.42	2452.11	0.045066	5.20	23.09	27.74	1.67
TramoTesis	840.1072	TR100	103.30	2449.44	2451.18	2451.52	2452.26	0.046425	5.41	25.11	28.93	1.71
TramoTesis	799.8574	TR25	82.10	2449.38	2450.96	2450.82	2451.30	0.014630	3.01	33.93	34.54	0.96
TramoTesis	799.8574	TR50	91.40	2449.38	2451.06	2450.90	2451.41	0.013929	3.04	37.37	36.03	0.95
TramoTesis	799.8574	TR100	103.30	2449.38	2451.18	2450.99	2451.53	0.013117	3.07	41.78	37.85	0.93
TramoTesis	760	TR25	82.10	2448.25	2450.26	2450.26	2450.81	0.013915	3.88	30.36	29.87	1.00
TramoTesis	760	TR50	91.40	2448.25	2450.35	2450.35	2450.93	0.013604	3.99	33.27	31.18	1.00
TramoTesis	760	TR100	103.30	2448.25	2450.46	2450.46	2451.08	0.013289	4.13	36.92	32.74	1.00
TramoTesis	720.123	TR25	82.10	2447.00	2449.79	2448.99	2449.97	0.002755	2.14	50.86	33.51	0.46
TramoTesis	720.123	TR50	91.40	2447.00	2449.91	2449.09	2450.10	0.002794	2.23	54.88	34.85	0.47
TramoTesis	720.123	TR100	103.30	2447.00	2450.05	2449.22	2450.26	0.002830	2.34	60.00	36.87	0.48
TramoTesis	679.9467	TR25	82.10	2447.00	2449.11	2449.11	2449.72	0.011419	3.63	27.78	26.32	0.91
TramoTesis	679.9467	TR50	91.40	2447.00	2449.22	2449.22	2449.85	0.011071	3.73	30.63	27.58	0.91
TramoTesis	679.9467	TR100	103.30	2447.00	2449.34	2449.34	2450.01	0.010898	3.87	34.00	28.98	0.91
TramoTesis	640	TR25	82.10	2446.00	2448.38	2448.46	2449.18	0.015140	4.03	22.31	18.74	1.03
TramoTesis	640	TR50	91.40	2446.00	2448.51	2448.58	2449.33	0.014308	4.12	24.66	19.70	1.02
TramoTesis	640	TR100	103.30	2446.00	2448.66	2448.73	2449.51	0.013177	4.20	27.88	20.95	0.99
TramoTesis	600	TR25	82.10	2445.99	2447.53	2447.74	2448.36	0.025920	4.43	23.59	26.75	1.30
TramoTesis	600	TR50	91.40	2445.99	2447.58	2447.82	2448.50	0.027876	4.68	24.96	27.50	1.36
TramoTesis	600	TR100	103.30	2445.99	2447.63	2447.93	2448.68	0.030971	5.02	26.39	28.26	1.44

Tabla 16.. Resultados al correr el programa Hec – Ras, Secciones criticas Parque del Migrante. Fuente: Elaboración propia.

En las salidas hidráulicas entregadas por el Hec Ras y mostradas anteriormente se observan los datos hidráulicos necesarios para el diseño y dimensionamiento de los enrocados u obras de defensa para encauzar zonas críticas.

3.10 Modelo de inundaciones para los tres períodos de retorno. –

A continuación, se muestran gráficos de las zonas más críticas, es decir desfavorables para el desborde en donde se provocan inundaciones las cuales son: en el puente de San José, en el Mercado Sucre y el parque del Migrante de la ciudad de azogues.

Para un período de retorno de 25 años:

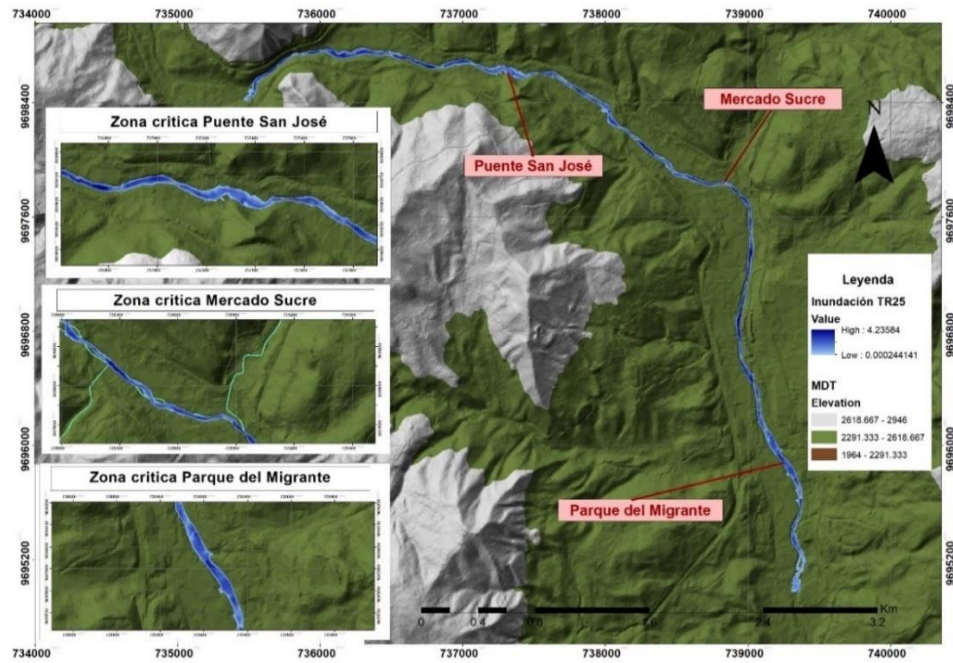


Ilustración 35. Modelo de inundación para TR 25 años. Fuente. Elaboración propia.

Para un período de retorno de 50 años:

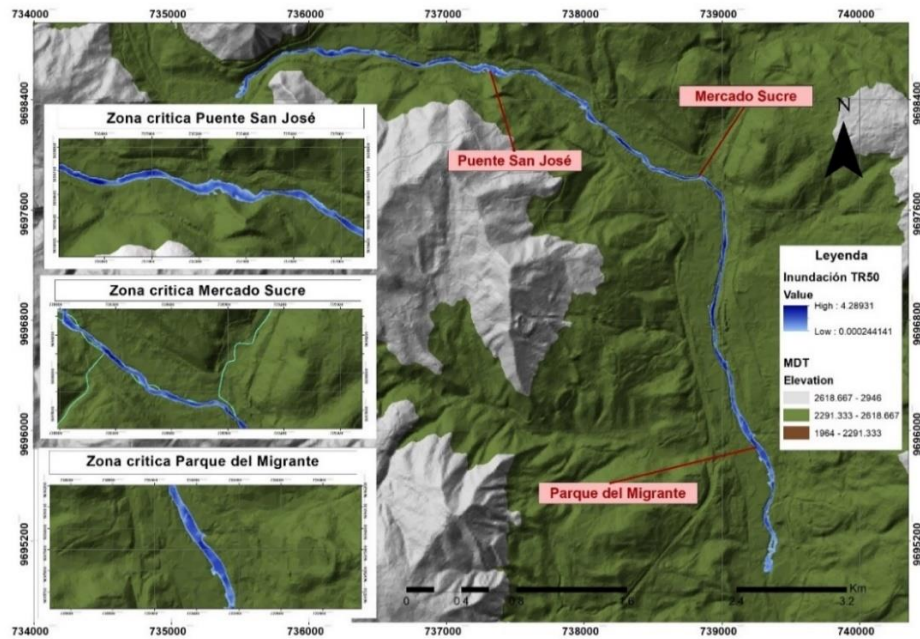


Ilustración 36. Modelo de inundación para TR 50 años. Fuente. Elaboración propia.

Para un período de retorno de 100 años:

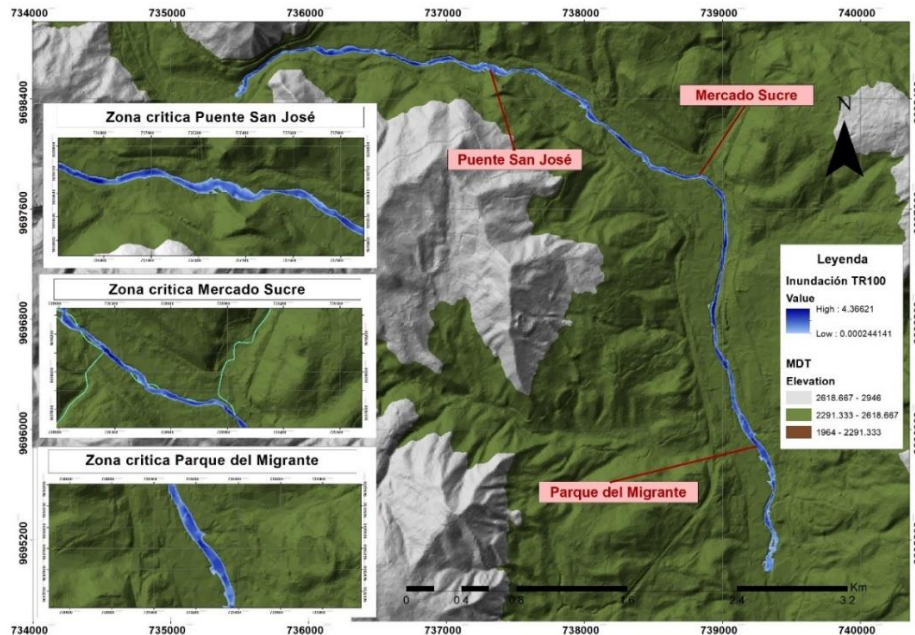


Ilustración 37. Modelo de inundación para TR 100 años. Fuente. Elaboración propia.

3.11 Análisis de inundaciones. -

Las salidas del HEC RAS muestran velocidades bajas para ríos de montaña por lo tanto el número de Froude también es bajo, y muestra que se trata de un flujo subcrítico, el cual evidentemente no ocurre en ríos de montaña; por lo tanto, se debería analizar al diámetro medio del enrocado para el peor de los escenarios, el cual es donde el río se estrecha y se vuelve con máxima velocidad, ya que el HEC RAS calcula los datos hidráulicos cuando ha ocurrido la inundación.

Evidentemente el periodo de retorno más desfavorable sucederá a los 100 años; y existen tres zonas críticas evidentemente potenciales y además estas son el objetivo de nuestro estudio basándonos en los antecedentes ya mencionados de entrevistas a moradores sobre los puntos más catastróficos en los últimos tiempos.

La zona crítica ubicada en el puente San José abarca una longitud aproximada de 250 m y un ancho de la sección transversal máximo de 68.69 m; la zona crítica ubicada en el antiguo mercado Sucre tiene una longitud de 130 m aproximadamente con una sección transversal de 27.78 m y finalmente la zona crítica ubicada en el parque del Migrante tiene una longitud aproximada de 480 m y un ancho en su sección transversal máxima de 37.85 m.

CAPITULO IV

4 MEDIDAS DE MITIGACIÓN DE INUNDACIONES. -

4.1 Dimensionamiento de los enrocados mediante fórmulas empíricas. –

Para el análisis hidráulico del enrocado primero se determinará que la inundación medianamente catastrófica la cual será para el período de retorno de 100 años con los resultados más desfavorables y evidentes desbordes en las tres zonas críticas de inundación.

Se detalla a continuación los datos recopilados necesarios para el cálculo y las formulaciones recomendadas de Maynard y de Isbash para diámetro o espesor de la roca en enrocados longitudinales en curva para ríos de montaña (Zaña, 2021).

4.2 Dimensionamiento para la zona de inundación en el puente San José. –

Formula de Maynard. –

$$D_{50} = C_1 \cdot y \cdot F^3$$

Ecuación 8.

De donde:

D_{50} = *Diámetro medio de las rocas.*

F = *Número de Froude.*

y = *tirante del flujo en m.*

C_1 = *Coefficiente de fondo plano.*

Estos datos son los que se obtuvieron como resultados en la simulación de inundación mediante Hec – Ras; únicamente se determinará el coeficiente de fondo plano el cual depende de la inclinación del talud; la cual será de 2H : 1V, recomendada para ríos de montaña con un coeficiente de 0.32 (Zaña, 2021).

Datos para el dimensionamiento de enrocado en curva			
Caudal de diseño	Q	103.3	m^3/s
Período de retorno	TR	100	años
Numero de Froude	F	1.14	
Tirante	y	1.18	m
Coefficiente de fondo plano	2H, 1V	0.32	

Finalmente aplicando la ecuación (8) se tiene como resultado el diámetro medio de enrocado.

$$D_{50} = 0.559 \text{ m}$$

Formula de Isbash

$$D_{50} = 0.58823 \cdot \frac{V^2}{w * g}$$

Ecuación 9

De donde:

D_{50} = Diámetro medio de las rocas.

V = Velocidad del flujo en m/s

w = Peso específico de las rocas en ton/m^3 .

g = Aceleración de la gravedad en m/s^2

Datos para el dimensionamiento de enrocado en curva			
Caudal de diseño	Q	103.3	
Período de retorno	TR	100	años
Velocidad	V	3.53	m/s
Peso específico de las rocas	w	1.2	ton/m^3
Gravedad	g	9.81	m/s^2

$$D_{50} = 0.622 \text{ m}$$

Como resultado final se obtiene un promedio del diámetro medio del enrocado y se establece a este como el que se implementará en la obra de encausamiento necesaria en la zona de inundación del puente San José.

$$D_{50} = 0.591 \text{ m}$$

4.2 Dimensionamiento para la zona de inundación en el antiguo Mercado Sucre. –

Formula de Maynard. –

$$D_{50} = C_1 \cdot y \cdot F^3$$

Ecuación 10.

Datos para el dimensionamiento de enrocado en curva			
Caudal de diseño	Q	103.3	m^3/s
Período de retorno	TR	100	años
Numero de Froude	F	1.54	
Tirante	y	1.74	m
Coefficiente de fondo plano	2H, 1V	0.32	

Aplicando la ecuación (8) se tiene como resultado el diámetro medio de enrocado.

$$D_{50} = 2.033 \text{ m}$$

Formula de Isbash

$$D_{50} = 0.58823 \cdot \frac{V^2}{w * g}$$

Ecuación 11

Datos para el dimensionamiento de enrocado en curva			
Caudal de diseño	Q	103.3	
Período de retorno	TR	100	años
Velocidad	V	6.03	m/s
Peso específico de las rocas	w	1.2	ton/m^3
Gravedad	g	9.81	m/s^2

$$D_{50} = 1.816 \text{ m}$$

Como resultado final se obtiene un promedio de los dos diámetros medios del enrocado y se establece a este como el que se implementará en la obra de encausamiento necesaria en la zona de inundación del antiguo Mercado Sucre.

$$D_{50} = 1.925 \text{ m}$$

4.2 Dimensionamiento para la zona de inundación en el parque del Migrante. –

Formula de Maynard. –

$$D_{50} = C_1 \cdot y \cdot F^3$$

Ecuación 12.

Datos para el dimensionamiento de enrocado en curva			
Caudal de diseño	Q	103.3	m^3/s
Período de retorno	TR	100	años
Numero de Froude	F	1.67	
Tirante	y	1.67	m
Coefficiente de fondo plano	2H, 1V	0.32	

Aplicando la ecuación (8) se tiene como resultado el diámetro medio de enrocado.

$$D_{50} = 2.488 \text{ m}$$

Formula de Isbash

$$D_{50} = 0.58823 \cdot \frac{V^2}{w * g}$$

Ecuación 13

Datos para el dimensionamiento de enrocado en curva			
Caudal de diseño	Q	103.3	
Período de retorno	TR	100	años
Velocidad	V	5.02	m/s
Peso específico de las rocas	w	1.2	ton/m^3
Gravedad	g	9.81	m/s^2

$$D_{50} = 1.259 \text{ m}$$

Como resultado final se obtiene un promedio de los dos diámetros medios del enrocado y se establece a este como el que se implementará en la obra de encausamiento necesaria en la zona de inundación del parque del Migrante.

$$D_{50} = 1.874 \text{ m}$$

A continuación se exhibe la ubicación óptima del enrocado en los tramos de desborde del área o zona crítica para el periodo de retorno más desfavorable que es a los 100 años. Estas obras se colocan de tal manera que al alterar la sección transversal con barreras o límites de enrocado se obtenga como resultado el encauzamiento o medidas de mitigación de inundaciones a lo largo del tramo.

Para la zona de inundación en el puente San José:



Ilustración 38. Obras de encausamiento, parque San José. Fuente: Elaboración propia.

Para la zona de inundación en el antiguo mercado Sucre:

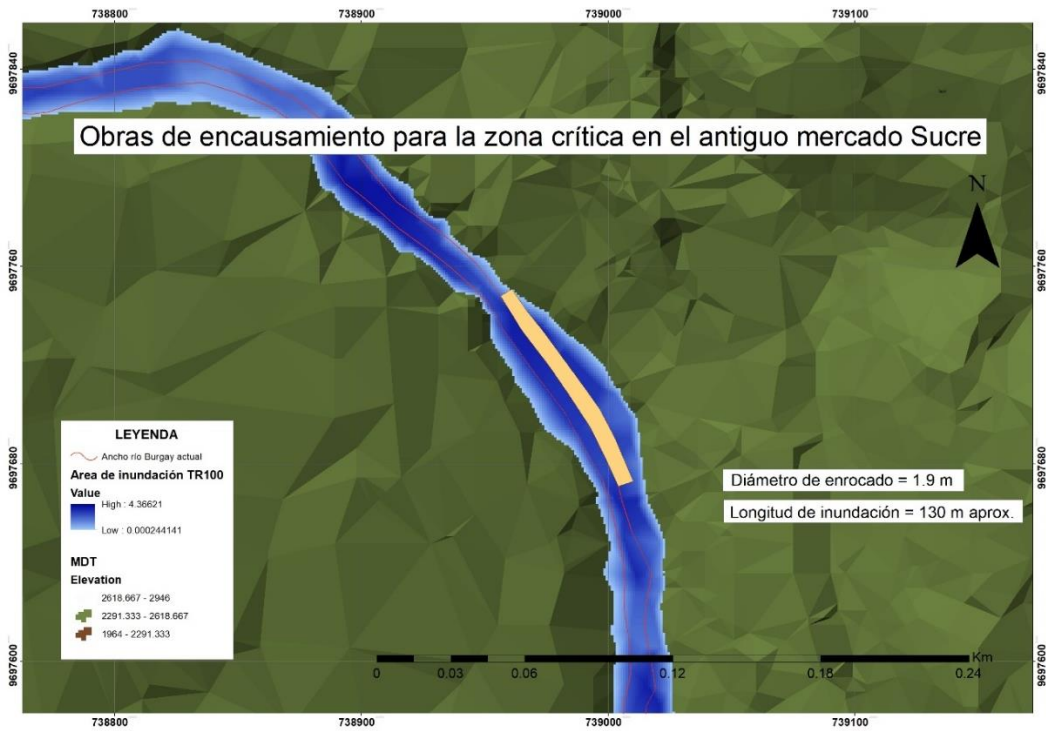


Ilustración 39. Obras de encauzamiento, antiguo mercado Sucre. Fuente: Elaboración propia.

Para la zona de inundación en el parque del Migrante:



Ilustración 40. Obras de encauzamiento, parque Migrante. Fuente: Elaboración propia.

CAPITULO V

5 RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES. -

5.1 RESULTADOS

Las crecientes que ocurren a nivel nacional son cada vez más preocupantes debido al cambio climático que se está viviendo, lo cual se suma a la tala indiscriminada de los pocos bosques que quedan y al avance de la frontera agrícola. Esto hace que las crecientes sean más destructivas y dañan todo a su paso.

Se suma a lo anterior la invasión de las áreas de inundación en playas donde supuestamente no llega el nivel del agua lo cual se evidencia en verano, pero en invierno el río reclama su espacio y provoca desastres tanto humanos como materiales.

A través de la realización del estudio de obras de encauzamiento para el tramo del río Burgay se pudo evidenciar como el diámetro de enrocado obtenido depende directamente de las condiciones hidráulicas del cauce; que a su vez depende directamente de las características hidrológicas de la subcuenca hidrográfica del Burgay alto.

Se llegó a determinar tres zonas críticas de inundación a lo largo del tramo estudiado las cuales son: en el puente de San José, en el antiguo Mercado Sucre y en el parque del Migrante, para las cuales se determinó el diámetro necesario en el enrocado de la obra de encauzamiento longitudinal que debería aplicarse para contener estas zonas críticas de inundación.

Se observó en los resultados obtenidos de la simulación que la zona crítica más desfavorable es la del puente San José debido a su longitud de afección a lo largo del tramo y a la amplitud significativa de hasta 68.69 m de tirante.

De las investigaciones realizadas a lo largo del recorrido en estudio se construyeron uros de gaviones como obras de defensa las que no tuvieron éxito debido a la virulencia de las crecientes y el fondo del río es muy erosionable por las altas velocidades y estrechamiento de secciones.

Para ciertos casos resulta rocas de hasta dos metros de diámetro, lo cual tiene influencia por la modelación hidráulica ya que el calado disminuye por la topografía del perfil longitudinal, incrementando la velocidad, Froude y por ende el número de Froude.

5.2 CONCLUSIONES

Como se planteó en el objetivo general de la tesis; se evidenció a través de la realización del proceso para un estudio de obras de encauzamiento en el tramo del río Burgay; como el diámetro de enrocado obtenido depende directamente de las condiciones hidráulicas del cauce; que a su vez depende directamente de las características hidrológicas de la subcuenca hidrográfica del Burgay alto.

En este proceso se cubrieron además todos los objetivos específicos y se llegó también a la conclusión de que el caudal del río proveniente de las precipitaciones en la subcuenca avanzara progresivamente en tres diferentes períodos de retorno (de 25, 50 y 100 años) pero que no de manera significativa; lo que quiere decir que el ancho del río no es estable, ya que al ser modificado por actividades humanas antes mencionadas este no abarca el caudal recolectado en la subcuenca.

Se concluye también con las tres zonas críticas de inundación a lo largo del tramo estudiado en el programa Hec – Ras, las cuales son: en el puente de San José, en el antiguo Mercado Sucre y en el parque del Migrante.

Y finalmente se concluyó con la determinación del diámetro necesario en el enrocado de la obra de encauzamiento longitudinal que debería aplicarse para contener estas zonas críticas de inundación mediante tres métodos definidos para el dimensionamiento en ríos de montaña; teniendo un promedio de enrocado necesario de 1,50 metros.

5.3 RECOMENDACIONES

Primero, recuperar o mantener las áreas de inundación naturales en todo el recorrido del río Burgay, hecho que debe ser monitoreado y de estricto seguimiento del Gad Municipal.

Reforestación de toda la cuenca hidrográfica, para que ocurra un porcentaje de pérdida de la precipitación efectiva.

De los recorridos realizados, luego de la creciente del año 2022 se observa que, en ciertos sectores donde hay enrocados el río no se ha desbordado, por lo que es evidente que los enrocados longitudinales pueden dar buenos resultados, y se podría recomendar este tipo de obra civil, con una correcta ubicación de taludes, diámetros correctos y densidad apropiada.

Se podría pensar en modelar ríos de montaña con obras de defensa para determinar las ecuaciones adecuadas para dimensionamiento de las rocas para enrocados en ríos de montaña, los cuales tienen mucha energía.

5.4 BIBLIOGRAFÍA

- Aguirre. (2008). *Obras longitudinales de correccion de causas torrenciales*. España.
- Allpocc, J. H. (2023). *Evaluacion de rugosidad de Manning en cauces de rios de alta pendiente, Caso ío Mantaro, Tramo: Puente Mtachico - Puente La Breña*. Perú.
- Alonso, R. L. (2005). *Resistencia al flujo de rios de montaña, desarrollo de ecuaciones de prediccion*. Colombia.
- Alvarez, M. (2018). *HIDRAULICA APLICADA PARA INGENIERO CIVILES*. Manabí.
- Banda, L. (2022). *Diseño hidraulico de enrocado para proteccion de ribera de margen izquierdo del rio Zaña, tramo Chical Bajo, distrito Oyotun, departamento Lambayeque*. Lima.
- Bazan, G. (2020). *Efecto del comportamiento de caudales maximos con fines de encauzamiento de avenidas en el sector puente careaga, Rio Chicama . Trujillo - Perú*.
- Béjar, M. V. (2004). *Hidrología*. Costa Rica: Intituto Tecnológico de Costa Rica.
- Bravo, A. (2019). *Propuesta de manejo integral para la mirocuenca hidrografica del Rio Burgay bajo, provincia del Cañar*. Cuenca.
- Castroviejo, R. M. (1990). *Coladas de piedras (Debris flows) y dinamica fluvial en rios torrenciales de pirineo central: el caso del Rio Ijuez*. Logroño.
- Chow, V. T. (2000). *Hidrología aplicada* . Bogotá.
- Días, A. (2020). *Modelo de estimación del coeficiente de rugosidad de Manning en funcion de la granulometria en el Río Santa, sector Recuay - Carhuaz, Áncash, Perú*. Peú.
- Escandon, C. G. (2022). *Analisis de la calida del agua mediante parametros fisicos quimicos y madroinvertibrados bentonicos, presentes en la microcuenca del rio San Francisco - Gualaceo*. Cuenca .
- Fernandez, A. (2018). *Inestabilidad de la margen derecha del Rio Rimac e implementacion de taludes con enrocado, urbanizacion Peru - San Martin de Porres*. LIma.

- Fernandez, C. (2018). *Influencia del método de estimación en el coeficiente de Manning para causas naturales*. Cuenca - Ecuador.
- Gamez, W. (2015). *Texto básico de hidrología*. Managua.
- García, C. (2021). *Evaluación de distintas fórmulas empíricas para el cálculo de tiempo de concentración en la cuenca urbana del río Belico y Cubanicay, ciudad de Santa Clara*. Santa Clara, Cuba.
- González, I. J. (1992). *Ingeniería Agrícola, Antecedentes y su proyección en el sector productivo colombiano*. Bogotá.
- Gonzalez, J. (1990). *Las divisorias de aguas como elementos del paisaje*. Zaragoza.
- Hernandez, A. (2020). *HIDRAULICA DE RIOS*. Mexico.
- INAMHI 2019. (s.f.).
- Iroume, A. (2003). *Transporte de sedimentos en una cuenca de montaña en la cordillera de los Andes de la Novena Región de Chile*. Chile.
- Lavao, S. (2014). *Diplomado SIG y sensores remotos aplicados a recursos hídricos*. Bogotá.
- Leopoldo, L. (2015). *Sistema de aguas San Francisco de Gualaceo*. Vuenca.
- Lopez, J. (2005). *Estrategias de mitigación y control de inundaciones y aludes torrenciales en el estado de Vargas y en el Valle de Caracas: Situación actual y perspectivas futuras*. Venezuela.
- López, R. (2005). *Resistencia al flujo de ríos de montaña, Desarrollo de ecuaciones de predicción*. España.
- Macro. (2011). *Manual de hidrología, hidráulica y drenaje*. Lima.
- Matamoros, F. (2020). *Diseño hidráulico y estructural de espigones frente a la socavación de los estribos del puente Matapuquio - Pariahuanca - Junín*. Huancayo .
- Pérez, B. (18 de Agosto de 2023). Obras pendientes en márgenes del Burgay: Azogues. *EL MERCURIO*.

- Rascón, L. E. (2005). *Principios de Hidrogeografía. Estudio del ciclo hidrológico*. Mexico: UNAM.
- Reque, D. (2018). *Estudio de encausamiento y diseño de defensas ribereñas en el Río Reque, sector ciudad Eten* . Perú.
- Rivera, F. (2020). *Proteccion marginal con espigones, simulacion numerica 1D*. Tabasco.
- Sarmiento, R. (21 de Abril de 2022). La creciente del Río Burgay provoca daños en vias y viviendas en Azogues Cañar. (J. Guambaya, Entrevistador)
- Tibanta, J. (2012). *Diseño de diques de gaviones para el control de la erosión en rios de montaña*. Quito.
- Timbe, L. (2012). *Mapeo del peligro de inundación en ríos de montaña, caso de estudio del río Burgay*. Cuenca.
- Vanegas, G. P. (2009). *Peligros naturales en el estado de Campeche, cuantificación y protección civil*. Campeche.
- Yépez, O. (2000). *Cálculo del coeficiente de rugosidad "n" de Manning en los grandes ríos de Venezuela*. Venezuela.
- Zaña, A. (2021). *Diseño de una defensa riverseña mediante enrocado en los rios Corral del medio y La Gallega, longitud 4.0 km. Distrito y provincia de Morropón, región Piura*. Lambayeque.

5.5 ANEXOS

Tabla necesaria para la obtención del número de curva CN método SCS:

En la siguiente Tabla 3.4, se estima el valor del número de curva (CN) de acuerdo con la clasificación hidrológica de los suelos.

USO DE LA TIERRA	COBERTURA TRATAMIENTO O PRACTICA	CONDICION HIDROLOGICA	GRUPO DE SUELOS			
			A	B	C	D
1.Rastrojo	Hileras Rectas	-----	77	86	91	94
	Hileras Rectas	Mala	71	81	88	91
2.Cultivos en Hileras	Hileras Rectas	Buena	67	78	85	89
	Curvas de Nivel	Mala	70	79	84	88
	Curvas de Nivel	Buena	65	75	82	86
	CurNiv y Terrazas	Mala	68	74	80	82
	CurNiv y Terrazas	Buena	62	71	78	81
	Hileras Rectas	Mala	65	76	84	86
3.Cultivos en Hileras Estrechadas	Hileras Rectas	Buena	63	75	83	87
	Curvas de Nivel	Mala	63	74	82	85
	Curvas de Nivel	Buena	61	73	81	84
	CurNiv y Terrazas	Mala	61	72	79	82
	CurNiv y Terrazas	Buena	59	70	78	81
	Hileras Rectas	Mala	66	77	85	89
4.Leguminosas en Hileras Estrechadas o Forraje en Rotación	Hileras Rectas	Buena	58	72	81	85
	Curvas de Nivel	Mala	64	75	83	85
	1/ Curvas de Nivel	Buena	55	69	78	83
	CurNiv y Terrazas	Mala	63	73	80	83
	CurNiv y Terrazas	Buena	51	67	76	80
	Curvas de Nivel	Mala	68	79	86	89
5.Pastos de Pastoreo	Regular	Buena	49	69	79	84
	Curvas de Nivel	Mala	39	61	74	80
	Curvas de Nivel	Buena	47	67	81	88
	Curvas de Nivel	Regular	25	59	75	83
	Curvas de Nivel	Buena	6	35	70	79
	Curvas de Nivel	Buena	30	58	71	78
6.Pastos de Corte	Regular	Mala	45	66	77	83
	Buena	36	60	73	79	
7.Bosque	Regular	Buena	25	55	70	77
	Buena	59	74	82	86	
8.Patios	-----	-----	72	82	87	89
9.Caminos de Tierra 2/	-----	-----	72	82	87	89
10.Pavimentos	-----	-----	74	84	90	92

1/ Siembre Tupida o al Voleo
2/ Incluyendo Derecho de Via

Ilustración 41. Parámetros para determinar el número de curva CN.

A continuación se adjuntó a la sección de anexos evidencia fotográfica de visitas al área de estudio, con el fin de conocer la geometría real del río y conocer las afecciones de las inundaciones mencionadas en el apartado de antecedentes. Así como el reconocimiento de la distancia de la estación meteorológica del INNAMHI de la ciudad de Biblián a la subcuenca hidrográfica estudiada; la cual se utilizó para obtener los datos de precipitación en este estudio.



Ilustración 42. Estación meteorológica de la ciudad de Biblián. Fuente fotográfica: Propia.



Ilustración 43. Reconocimiento de la sección transversal del río. Fuente fotográfica: propia.



Ilustración 44. Reconocimiento del puente San José. Fuente fotográfica: propia.



Ilustración 45. Daños en los límites del río por fuertes crecidas. Fuente fotográfica: Propia.



Ilustración 46. Reconocimiento del aporte del río Tabacay, mercado Sucre. Fuente fotográfica: propia.



Ilustración 47. Reconocimiento del parque del Migrante. Fuente fotográfica: Propia.

DECLARATORIA DE AUTORÍA Y RESPONSABILIDAD

Rita Priscila González Salazar portadora de la cédula de ciudadanía N° 0105184196. Declaro ser el autor de la obra: "Estudio de obras de encauzamiento; caso de estudio: Río Burgay, tramo Biblián (desde el camal) hasta el Puente 16 de abril en la Ciudad de Azogues", sobre la cual me hago responsable sobre las opiniones, versiones e ideas expresadas. Declaro que la misma ha sido elaborada respetando los derechos de propiedad intelectual de terceros y eximo a la Universidad Católica de Cuenca sobre cualquier reclamación que pudiera existir al respecto. Declaro finalmente que mi obra ha sido realizada cumpliendo con todos los requisitos legales, éticos y bioéticos de investigación, que la misma no incumple con la normativa nacional e internacional en el área específica de investigación, sobre la que también me responsabilizo y eximo a la Universidad Católica de Cuenca de toda reclamación al respecto.

Cuenca, 2 de abril de 2024

F: 
Rita Priscila González Salazar
C.I: 0105184196