



UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

TEMA:

“ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD DE SISTEMA DE DRENAJE
PLUVIAL EN LA COMUNA BARCELONA, PROVINCIA DE
SANTA ELENA”

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

AUTOR(ES):

RUTH BETSABETH NEIRA ORRALA
XIOMARA LISSETTE MORALES VERA

TUTOR:

ING. GUIDO MOISÉS ORTIZ SAFADI, MSc.

LA LIBERTAD, ECUADOR

2024

UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

TEMA:

**“ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD DE SISTEMA DE DRENAJE
PLUVIAL EN LA COMUNA BARCELONA, PROVINCIA DE
SANTA ELENA”**

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

AUTORES:

**RUTH BETSABETH NEIRA ORRALA
XIOMARA LISSETTE MORALES VERA**

TUTOR:

ING. GUIDO MOISÉS ORTIZ SAFADI, MSc.

LA LIBERTAD – ECUADOR

2024

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN



Ing. Lucrecia Moreno, PhD.

DIRECTOR DE CARRERA



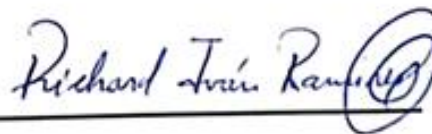
Ing. Guido Ortiz Safadi, MSc.

DOCENTE TUTOR



Ing. Richard Ramírez, MSc.

DIRECTOR ESPECIALISTA



Ing. Richard Ramírez, MSc.

SECRETARIO DEL TRIBUNAL

DEDICATORIA

A Dios, que ha sido mi principal guía y sustento demostrándome una vez más que soy capaz de lograr grandes triunfos. Mírate como él te ve porque él tiene grandes cosas para ti, frase que ha sido de motivación en este camino universitario

A mis padres Manuel Morales y Alexandra Vera quienes, con su paciencia, dedicación, amor y sobre todo esfuerzo me encaminaron en el camino correcto enseñándome a luchar por mis sueños, jamás podre retribuir todo lo que han hecho por mí.

A mi hermana Analy Morales Vera por alentarme cada día con sus palabras de positivismo, abro el camino profesional en mi familia para que así ella pueda seguir mis pasos siendo mejor que yo.

A mis abuelos paternos Ángel Morales y Benita Gonzabay y abuelos maternos Julián Vera y Fanny Reyes por siempre elevar oraciones y ser de inspiración para mi vida.

A mi compañera de Tesis Ruth Neira por extender su mano desde el primer día y ser de apoyo incondicional en este proceso de titulación.

Y por último y no menos importante a la Abg. Carol Tómalá, Eco. Carlos Moreira, Arq. Cesia Alomoto, Arq. Marlon Zambrano e Ing. Jorge Santiana amistades que me han alentado desde el primer día y otros que se han ido sumando, siendo parte de este desafío, gracias por ser de gran ayuda y ser hermanos en tiempo de angustias, así dándome un equilibrio que me ha permitido dar lo mejor de mí.

Bendigo sus vidas y estoy segura que todo lo que en algún momento han sembrado en mí y humanamente no lo pueda retribuir, Dios se lo retribuirá en su tiempo multiplicado.

XIOMARA MORALES VERA

DEDICATORIA

A Dios, por ser mi fortaleza y enseñarme a ser mejor cada día. Gracias por tu amor por guiarme en todo momento, incluso cuando el camino no ha sido fácil.

A ti, mamá, Catina Neira quiero agradecerte profundamente por todo tu esfuerzo dedicación. Te amo con todo mi ser y esta tesis es una pequeña muestra de mi gratitud por todo lo que has hecho por mí.

A mi familia abuelito (PAPÁ) Klever Neira, Paul, Shirley, René, Lorena, Kleber a mi hermana Génesis, quiero dedicarles estas palabras con todo mi amor. Cada uno de ustedes tiene un lugar único en mi corazón gracias por siempre estar ahí, ofreciéndome un espacio lleno de amor y comprensión.

A mis amigos Bryan Laínez y Anthony Vélez gracias por su amistad verdadera, brindándome su respaldo en cada momento. Gracias por ser una parte esencial de mi vida.

Con todo mi cariño, esta dedicatoria es para ustedes.

RUTH NEIRA ORRALA

CERTIFICADO DE ANTIPLAGIO

En calidad de tutor del trabajo de investigación para titulación del tema “ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD DE SISTEMA DE DRENAJE PLUVIAL EN LA COMUNA BARCELONA, PROVINCIA DE SANTA ELENA”, elaborado por las estudiantes NEIRA ORRALA RUTH BETSABETH Y MORALES VERA NIOMARA LISSETTE, egresadas de la carrera de Ingeniería Civil, de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería, me permito declarar que una vez analizado en el sistema anti plagio COMPILATIO, luego de haber cumplido con los requerimientos exigidos de valoración, la presente tesis, se encuentra con un 4% de la valoración permitida.

FIRMA DEL TUTOR



Ing. GUIDO MOISES ORTIZ SAFADI, MSc.

C.I. 0999948055

REPORTE DE SIMILITUD



CERTIFICADO DE ANÁLISIS
magister

FINAL COMPILATO TESIS

4%
Textos sospechosos

0% Similitudes
0% similitudes entre comillas
0% entre las fuentes mencionadas

0% Idiomas no reconocidos

4% Textos potencialmente generados por la IA

Nombre del documento: FINAL COMPILATO TESIS.pdf	Depositante: GUIDO MOISES ORTÍZ SAFADI	Número de palabras: 3950
ID del documento: f04feb1ac4d1739d09be5d3e328a3b5443ec16a8	Fecha de depósito: 25/11/2024	Número de caracteres: 26.978
Tamaño del documento original: 1,32 MB	Tipo de carga: interface	
Autores: []	fecha de fin de análisis: 25/11/2024	

Ubicación de las similitudes en el documento:

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Nosotros, NEIRA ORRALA RUTH BETSABETH Y MORALES VERA XIOMARA LISSETTE, declaro bajo juramento que el presente trabajo de titulación denominado “ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD DE SISTEMA DE DRENAJE PLUVIAL EN LA COMUNA BARCELONA, PROVINCIA DE SANTA ELENA”, no tiene antecedentes de haber sido elaborado en la Facultad de Ciencias de la Ingeniería, Carrera de Ingeniería CIVIL, lo cual es un trabajo exclusivamente inhérito y perteneciente de mi autoría.

Por medio de la presente declaración cedo los derechos de autoría y propiedad intelectual, correspondientes a este trabajo, a la Universidad Estatal Península de Santa Elena, según lo establecido por la ley de propiedad intelectual, por su reglamento y por la normativa institucional vigente.

Atentamente,



RUTH BETSABETH NEIRA ORRALA

Autor de Tesis

C.I. 2400302077



XIOMARA LISSETTE MORALES VERA

Autor de Tesis

C.I. 2450600206

CERTIFICACIÓN DEL TUTOR

Ing. GUIDO MOISES ORTIZ SAFADI, MSc.

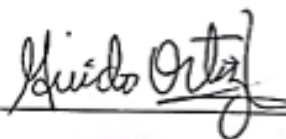
TUTOR DE PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

Universidad Estatal Península de Santa Elena

En mi calidad de Tutor del presente trabajo **“ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD DE SISTEMA DE DRENAJE PLUVIAL EN LA COMUNA BARCELONA, PROVINCIA DE SANTA ELENA”** previo a la obtención del Título de Ingeniero Civil elaborado por el Sr/a. , **NEIRA ORRALA**

RUTH BETSABETH Y MORALES VERA XIOMARA LISSETTE,-, egresado de la carrera de Ingeniería Civil, Facultad Ciencias de la Ingeniería de la Universidad Estatal Península de Santa Elena, me permito declarar que luego de haber orientado, estudiado y revisado, la apruebo en todas sus partes.

FIRMA DEL TUTOR



A handwritten signature in black ink, reading "Guido Ortiz", is written over a horizontal line.

Ing. GUIDO MOISES ORTIZ SAFADI, MSc.

C.I. 09999480555

CERTIFICADO DE GRAMATOLOGÍA

CERTIFICO

Que, he revisado el trabajo de Integración Curricular de título: **“ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD DE SISTEMA DE DRENAJE PLUVIAL EN LA COMUNA BARCELONA, PROVINCIA DE SANTA ELENA”**, elaborado por el estudiante de la Carrera de Ingeniería Civil de la Universidad Estatal Península de Santa Elena: **NEIRA ORRALA RUTH BETSABETH & MORALES VERA XIOMARA LISSETTE** previo a la obtención del título de Ingeniero Civil.

Que, he realizado las observaciones pertinentes en los ámbitos de la gramática, ortografía y puntuación del documento, mismas que han sido acogidas proactivamente por las egresadas, corroborando así, que han sido introducidos los ajustes correspondientes en el trabajo en mención.

Por lo expuesto, autorizo a los peticionarios, hacer uso de este certificado como a bien convenga.

Atentamente,



Alexi Javier
HERRERA REYES

Lic. Alexi Javier Herrera Reyes
Magíster en Diseño y Evaluación de Modelos Educativos
CC. 0924489255
Registro SENESCYT: 1050-14-86052904
Teléfono: 0962989420

La Libertad, a los 19 días del mes de noviembre de 2024.

AGRADECIMIENTOS

Con Profundo Reconocimiento, Quiero Agradecer En Primer Lugar A Dios Por Permitirme Terminar Mis Estudios Superiores Con Éxitos El Camino No Ha Sido Fácil, Pero Su Fidelidad Y Amor No Se Ha Acortado Conmigo.

A Mi Prestigiosa Universidad Estatal Península De Santa Elena, A Todos Los Docentes De La Carrera De Ingeniería Civil, Quienes Día A Día Nos Enseñaron Con Esmero Y Dedicación Para Ser Unos Excelentes Profesionales.

A Mis Tutores Ing. Guido Ortiz Safadi E Ing. Richard Ramírez Que Con su apoyo Hicieron Posible Este Trabajo De Titulación.

XIOMARA MORALES VERA

A Dios por otorgarme sabiduría y fuerza necesaria para finalizar esta etapa.

Agradezco a mí familia por su apoyo incondicional demostrado a lo largo de la carrera, sobre todo, a mi mamá Catina Neira por su amor, sacrificio y esfuerzo.

A mí compañera de Tesis Xiomara M. Por su esfuerzo y sacrificio mostrado.

A nuestro tutor de tesis Ing. Guido Ortiz Ing. Richard Ramírez brindarnos sus conocimientos y guiarnos durante este proceso.

RUTH NEIRA ORRALA

TABLA DE CONTENIDO

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN	<i>i</i>
DEDICATORIA	<i>ii</i>
CERTIFICADO DE ANTIPLAGIO	<i>iv</i>
DECLARACIÓN DE AUTORÍA	<i>vi</i>
CERTIFICACIÓN DEL TUTOR	<i>vii</i>
CERTIFICADO DE GRAMATOLOGÍA	<i>viii</i>
AGRADECIMIENTOS	<i>ix</i>
TABLA DE CONTENIDO	<i>x</i>
LISTA DE FIGURAS	<i>xv</i>
LISTA DE TABLAS	<i>xviii</i>
RESUMEN	<i>xx</i>
ABSTRACT	<i>xxi</i>
CAPITULO I. INTRODUCCIÓN	<i>1</i>
1.1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	<i>3</i>
1.2. ANTEDECENTES	<i>4</i>
1.3. HIPÓTESIS	<i>10</i>
1.3.1. Hipótesis General.....	<i>10</i>
1.3.2. Hipótesis Especificas.	<i>10</i>
1.4. OBJETIVOS	<i>11</i>
1.4.1. Objetivo General.....	<i>11</i>
1.4.2. Objetivos Específicos.....	<i>11</i>
1.5. ALCANCE	<i>11</i>
1.6. VARIABLES	<i>12</i>
1.6.1. Variables Dependientes.	<i>12</i>
1.6.2. Variables Independientes.....	<i>12</i>
CAPITULO II: MARCO TEÓRICO	<i>13</i>

2.1. SISTEMA DE DRENAJE PLUVIAL.....	13
2.2. NIVELES DE DRENAJE PLUVIAL CON INEN.....	13
2.2.1. Nivel 1.	13
2.2.2. Nivel 2.	13
2.2.3. Nivel 3.	14
2.3. DISEÑO DE SISTEMAS DE DRENAJE PLUVIAL	14
2.3.1. Análisis hidrológico.....	14
2.3.2. Análisis hidrográfico.	15
2.3.3. Análisis hidráulico.....	15
2.4. OBTENCIÓN DE DATOS PLUVIOMETRICOS	15
2.5. PERIODO DE RETORNO DE DISEÑO	16
2.5.1. Asignación del periodo de retorno de diseño.	16
2.5.2. Periodo de retorno para infraestructura comunitaria esencial.....	20
2.6. CRITERIOS DE DISEÑO INEN	21
2.7 CAUDAL DE DISEÑO	21
2.7.1. Método Racional.	22
2.7.2. Método de Hidrograma Unitario.....	22
2.7.3. Métodos Estadísticos.....	22
2.8. COEFICIENTE DE ESCORRENTÍA.....	23
2.8.1. Intensidad y Frecuencia de precipitación	24
2.8.2. Tiempo de concentración.	25
2.8.3. Periodo de diseño.....	25
2.9. SOCAVACIÓN DE LOS RIOS.....	26
2.10. DEFENSAS RIBEREÑA.....	28
2.11. MUROS DE CONTENCIÓN	29
2.11.1. Estructuras de contención a gravedad.	29
2.11.2. Estructuras de contenciones a gaviones.	29
2.11.3. Características Técnicas de las Estructuras en Gaviones.....	30
2.11.3.1. Composición y Materiales.	30
2.11.3.2. Durabilidad y Protección Anticorrosiva.	31
2.11.3.3. Flexibilidad y Adaptabilidad.....	31
2.11.3.4. Permeabilidad y Drenaje.	32
2.11.3.4. Impacto Ambiental y Estética.....	32
2.11.3.5. Beneficios Económicos y Operativos.	33

CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO.....	34
3.1. TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN	34
3.1.1. Tipo de investigación.	34
3.1.2. Nivel de Investigación.	34
3.2. MÉTODO, ENFOQUE Y DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN	35
3.2.1. Método.....	35
3.2.2. Enfoque.	35
3.2.3. Diseño de la investigación.....	35
3.3. POBLACIÓN, MUESTRA Y MUESTREO	36
3.3.1. Población.....	36
3.3.2. Muestra.....	36
3.3.3. Muestreo.....	36
3.4. UBICACIÓN Y SECTOR DE ESTUDIO.....	36
3.5. METODOLOGÍA DEL O.E.1: REALIZAR UN ESTUDIO TOPOGRÁFICO DE LA COMUNA BARCELONA CON GNSS – RTK PARA EVALUAR LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL TERRENO	37
3.6. METODOLOGÍA DEL O.E.2: EVALUAR EL RIESGO DE INUNDACIÓN DE LA COMUNA BARCELONA EMPLEANDO EL SOFTWARE DE DISEÑO HEC – RAS PARA MODELAR EL COMPORTAMIENTO DEL FLUJO DE AGUA Y DETERMINAR LAS ZONAS VULNERABLES A INUNDACIONES	39
3.7. METODOLOGÍA DEL O.E.3: EVALUAR LA FACTIBILIDAD DE UN SISTEMA DE DEFENSA RIBEREÑA CON MURO DE GAVIONES EN LAS ZONAS CRITICAS DE INUNDACIÓN	40
CAPÍTULO IV: RESULTADOS	41
4.1. RESULTADOS DEL OE1: LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO DEL RIO VALDIVIA Y LA COMUNA BARCELONA CON GNSS PARA EVALUAR LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL TERRENO	41
4.2. RESULTADOS DEL O.E.2.: EVALUAR EL RIESGO DE INUNDACIÓN DE LA COMUNA BARCELONA EMPLEANDO EL SOFTWARE DE DISEÑO HEC-RAS PARA MODELAR EL COMPORTAMIENTO DEL FLUJO DE AGUA Y DETERMINAR LAS ZONAS VULNERABLES A INUNDACIONES BAJO DIFERENTES ESCENARIOS HIDROLÓGICOS	43
4.2.1. Modelación Hidrodinámica.....	43

4.2.2. Simulación.....	44
4.2.2.1. Simulación Escenario 1 (Periodo de retorno a los 5 años).....	44
4.2.2.2. Simulación Escenario 2 (Periodo de retorno a los 10 años).....	47
4.2.2.3. Simulación Escenario 3 (Periodo de retorno a los 100 años).....	50
4.2.3. Análisis de los caudales máximos de inundación del río Valdivia a un periodo de retorno de 5, 10 y 100 años.....	53

**4.3. RESULTADOS DEL O.E3.: EVALUAR LA FACTIBILIDAD DE UN SISTEMA DE DEFENSA
RIBEREÑA CON MURO DE GAVIONES EN LAS ZONAS CRÍTICAS DE INUNDACIÓN
CONSIDERANDO LOS MÁXIMOS CAUDALES54**

4.3.1. Diseño de Muro de Gaviones.....	54
4.3.2. Análisis de muro: 1,50 m.....	56
4.3.2.1. Materiales del muro.....	57
4.3.3. Datos Generales del muro de Gaviones.....	58
4.3.4. Datos del suelo.....	58
4.3.4.1. Relleno.....	58
4.3.4.2. Arena de trazos de finos (S-F), denso.....	58
4.3.4.3. Arcilla arenosa (CS), consistencia firme.....	58
4.3.5. Análisis de configuración del muro de gaviones.....	59
4.3.6. Verificación de estabilidad del muro.....	59
4.3.7. Verificación de la estabilidad de vuelco.....	60
4.3.8. Verificación del deslizamiento.....	60
4.3.9. Análisis de muro: 2,00 m.....	61
4.3.9.1. Materiales del muro.....	62
4.3.10. Datos Generales del muro de Gaviones.....	62
4.3.11. Datos del suelo.....	63
4.3.11.1. Relleno.....	63
4.3.11.2. Arena de trazos de finos (S-F), denso.....	64
4.3.11.3. Arcilla arenosa (CS), consistencia firme.....	64
4.3.12. Análisis de configuración del muro de gaviones.....	64
4.3.13. Verificación de estabilidad del muro.....	65
4.3.14. Verificación de la estabilidad de vuelco.....	65
4.3.15. Verificación del deslizamiento.....	66
4.3.16. Presupuesto.....	67

CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES..... 68

5.1. CONCLUSIONES.....	68
-------------------------------	-----------

5.2. RECOMENDACIONES.....	68
<i>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</i>	70
<i>ANEXOS</i>	73

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1 Cuadro de intensidad-duración-frecuencia de la precipitación de la estación Julcuy.	25
Figura 2 Socavación de ríos frente a pilares.	26
Figura 3 Socavación de río.....	28
Figura 4 Muros de gaviones.....	30
Figura 5 Gavión tipo caja.....	30
Figura 6 Protección de la malla con tensores.....	31
Figura 7 Flexibilidad y Adaptabilidad del muro de gaviones.....	31
Figura 8 Permeabilidad y Drenaje.	32
Figura 9 Armado de muro de gaviones.....	32
Figura 10 <i>Esquema del proceso para el diseño de muro de gaviones.</i>	40
Figura 11 Topografía de la comuna Barcelona.....	42
Figura 12 Delimitación del río de estudio.....	43
Figura 13 Secciones Transversales para la modelación hidrodinámica del río Valdivia.....	44
Figura 14 Simulación de Inundación del río Valdivia a los 5 años.	44
Figura 15 Plano de inundación del río Valdivia a los 5 años.....	45
Figura 16 Inundación a los 5 años de río Valdivia en la sección 0+317.....	45
Figura 17 Inundación a los 10 años de río Valdivia en la sección 0+896.....	45
Figura 18 Inundación a los 5 años de río Valdivia en la sección 0+949.....	46

Figura 19 Perfil Longitudinal a los 5 años de río Valdivia.....	46
Figura 20 Simulación de Inundación del río Valdivia a un periodo de retorno de 10 años.	47
Figura 21 Planta de inundación del río Valdivia a un periodo de retorno de 10 años.	47
Figura 22 Inundación a los 10 años de río Valdivia en la sección 0+317.....	48
Figura 23 Inundación a los 10 años de río Valdivia en la sección 0+896.....	48
Figura 24 Inundación a los 10 años de río Valdivia en la sección 0+949.....	49
Figura 25 Perfil Longitudinal a los 10 años de río Valdivia.....	49
Figura 26 Simulación de Inundación del río Valdivia a un periodo de retorno de 100 años.	50
Figura 27 Plano de inundación del río Valdivia a un periodo de retorno de 100 años 50	50
Figura 28]Inundación a los 100 años de río Valdivia en la sección 0+317.	51
Figura 29 Inundación a los 100 años de río Valdivia en la sección 0+896.....	51
Figura 30 Inundación a los 100 años de río Valdivia en la sección 0+949.....	52
Figura 31 Perfil Longitudinal a los 100 años de río Valdivia.....	52
Figura 32 Secciones Transversales del río Valdivia.	54
Figura 33 Simulación de inundación del río Valdivia en la estación 0+317.	54
Figura 34 Simulación de inundación del río Valdivia en la estación 0+896.	55
Figura 35 Simulación de inundación del río Valdivia en la estación 0+949.	55
Figura 36 Asignación y Superficie.....	60
Figura 37 Análisis de estabilidad del muro.....	61

Figura 38 Geometría del muro de gaviones.....	63
Figura 39 Verificación de Equilibrio.	66
Figura 40 Asignación y Superficie.....	66
Figura 41 Análisis de estabilidad del muro.....	67

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 Periodos de retorno para diseño de redes de drenaje pluvial en zonas urbanas.	17
Tabla 2 Periodos de retorno para diseño de redes de drenaje pluvial por tipo de actividad económica.....	18
Tabla 3 Periodos de retorno para diseño de redes de drenaje pluvial por tipo de infraestructura. Conagua 1996.	20
Tabla 4 Periodos de retorno para protección de infraestructura comunitaria esencial.....	21
Tabla 5 Valores de Coeficiente de Escurrimiento.....	23
Tabla 6 Valores de C para diversos tipos de superficies.....	23
Tabla 7 Intensidad – duración - frecuencia de la estación Julcuy.....	24
Tabla 8 Delimitación del sector de estudio.	37
Tabla 9 Resultados obtenidos de la simulación de inundación en el software de modelación hidráulica HEC-RAS.....	53
Tabla 10 Metodología de Verificación de estabilidad del muro.	56
Tabla 11 Coeficientes de reducción.	56
Tabla 12 Factores de Seguridad.	57
Tabla 13 Material de bloques- relleno.....	57
Tabla 14 Material de bloques- malla.....	57
Tabla 15 Datos básicos del suelo.	57
Tabla 16 Fuerzas que actúan sobre la construcción.	59

Tabla 17 Capacidad Portante y Carga de Diseño en el Centro del fondo de la Zapata.	60
Tabla 18 Metodología de Verificación de estabilidad del muro.	61
Tabla 19 Factores de Seguridad.	61
Tabla 20 Coeficientes de reducción.	62
Tabla 21 Material de bloques- relleno.....	62
Tabla 22 Material de bloques- malla.....	62
Tabla 23 Geometría de la estructura.	62
Tabla 24 Datos básicos del suelo.	63
Tabla 25 Fuerzas que actúan sobre la construcción.	65
Tabla 26 Análisis presupuestario del muro de gaviones propuesto.	67

“ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD DE SISTEMA DE DRENAJE PLUVIAL EN LA COMUNA BARCELONA, PROVINCIA DE SANTA ELENA”

Autores: Neira Orrala Ruth Betsabeth

Morales Vera Xiomara Lissette

Tutor: Ing. Guido Moisés Ortiz Safadi, MSc.

RESUMEN

La gestión adecuada de los sistemas de drenaje pluvial ha adquirido una creciente relevancia en la planificación urbana y rural, particularmente en contextos vulnerables a inundaciones como Ecuador. El presente trabajo de investigación tiene como objetivo realizar un estudio de prefactibilidad de sistema de drenaje pluvial en la comuna Barcelona, provincia de Santa Elena. Para ello, se realizó un levantamiento topográfico del sector y se evaluaron las zonas más críticas de la comuna Barcelona. También, se evaluó el potencial de inundación del río Valdivia a un periodo de retorno de 5, 10 y 100 años. Los resultados demuestran que los caudales máximos de inundación oscilan entre 123m³/s, 195 m³/s, y 249 m³/s para cada escenario de estudio. Se propone como solución dos muros de defensa ribereña de 1,50m y 2m, respectivamente en las zonas más críticas de inundación del río Valdivia y mitigar los impactos en la comuna Barcelona.

Palabras clave: Caudal máximo, inundación, muro de gaviones, topografía

“PRE-FEASIBILITY STUDY OF A RAINWATER DRAINAGE SYSTEM IN THE BARCELONA COMMUNITY, SANTA ELENA PROVINCE”

Authors: Neira Orrala Ruth Betsabeth
Morales Vera Xiomara Lissette

Tutor: Ing. Guido Moisés Ortiz Safadi, MSc.

ABSTRACT

The proper management of stormwater drainage systems has become increasingly relevant in urban and rural planning, particularly in flood-prone areas like Ecuador. This research aims to conduct a prefeasibility study for a stormwater drainage system in the Barcelona commune, located in the Santa Elena province. To achieve this, a topographic survey of the area was carried out, and the most critical zones of the Barcelona commune were evaluated. Additionally, the flood potential of the Valdivia River was assessed for return periods of 5, 10, and 100 years. The results show that the maximum flood flows range between 123 m³/s, 195 m³/s, and 249m³/s for each study scenario. A river defense system consisting of a 3-meter-high gabion wall is proposed.

Keywords: Maximum flow, flooding, gabion wall, topography.

CAPITULO I. INTRODUCCIÓN

La gestión adecuada de los sistemas de drenaje pluvial ha adquirido una creciente relevancia en la planificación urbana y rural, particularmente en contextos vulnerables a inundaciones como Ecuador.

La urbanización acelerada hacinada en superficies impermeables intensifica el volumen de escorrentía, lo que ha incrementado la concentración de contaminantes en las redes de drenaje (Díaz, 2016; Espinoza & Martínez, 2018). Este fenómeno exige una reevaluación de las infraestructuras existentes y la adopción de soluciones innovadoras que minimicen el impacto ambiental y fortalezcan la resiliencia de las comunidades ante fenómenos climáticos adversos (López, 2016; Morales, 2019).

Estudios recientes sobre la red de alcantarillado pluvial han revelado que muchas de las infraestructuras fueron diseñadas sin un análisis adecuado de las condiciones locales y las demandas futuras (Calderón, 2015; Gómez & Herrera, 2016). Como consecuencia, estos sistemas no solo resultan ineficientes, sino que también representan un riesgo tanto para la salud pública como para el medio ambiente. En este sentido, la adopción de prácticas de desarrollo urbano sostenible se vuelve imperativa, no solo para mitigar los efectos adversos de la urbanización, sino también para restaurar y preservar las zonas de infiltración y amortiguamiento esenciales para el equilibrio ecológico (Cabrera & Torres, 2016; Camacho, 2018).

En el caso de Ecuador, investigaciones como las de Castillo y López (2017) subrayan la relación directa entre el diseño de los sistemas de drenaje pluvial y la prevención de inundaciones devastadoras, especialmente en áreas rurales. Las estadísticas de inundaciones en el país son alarmantes y reflejan un patrón recurrente de daños materiales y pérdidas humanas que podrían haberse evitado mediante un diseño adecuado de drenaje (Fernández, 2017; Mendoza, 2017). Este estudio resalta la necesidad de dirigir las aguas pluviales hacia zonas diseñadas para su manejo, evitando así la acumulación de agua estancada, que puede derivar en problemas de salud pública (Arroyo, 2017; Hernández, 2020). La falta de un diseño

adecuado no solo incrementa el riesgo de inundaciones, sino que compromete la salud pública y el bienestar de las comunidades. La optimización de las redes de drenaje, en conjunto con la mejora en la conexión entre los SIG y los modelos de saneamiento, resulta esencial para maximizar la eficiencia de los sistemas de drenaje pluvial (Benítez, 2020; Martínez & Sánchez, 2018).

En la comuna Barcelona, ubicada en el cantón Santa Elena, Ecuador, los desafíos relacionados con la gestión pluvial están vinculados a la falta de infraestructura adecuada y al aumento de la presión sobre el sistema existente a causa del crecimiento urbano y las variaciones en los patrones de precipitación (Gobierno Autónomo Descentralizado Provincial de Santa Elena, 2023; González, 2018). Esta situación demanda un diseño integral de un sistema de drenaje pluvial que mitigue el riesgo de inundaciones y mejore la gestión del agua en la zona (Carpio, 2019; Ortega, 2018).

La recopilación y el análisis de datos hidrológicos y topográficos son fundamentales para comprender el comportamiento del flujo pluvial en la zona de estudio y determinar las características que influyen en dicho flujo (Paredes, 2017; Quintero & Ramírez, 2019). Con esta información, se podrá diseñar un sistema de drenaje adecuado, empleando herramientas de ingeniería hidráulica y atendiendo factores como la capacidad de escurrimiento, el dimensionamiento de las estructuras y los criterios de sostenibilidad (Chávez, 2020; Morales, 2019). Asimismo, la viabilidad técnica, económica y ambiental del sistema propuesto es analizada, y se diseñarán estrategias para su implementación y mantenimiento a largo plazo. La incorporación de tecnologías apropiadas para el contexto socioeconómico y geográfico de la comuna Barcelona garantizará que el sistema de drenaje pluvial no solo sea eficiente, sino también sostenible, contribuyendo al bienestar y la seguridad de los habitantes de la zona (Almeida & Gómez, 2019; Navarro & Pérez, 2016).

El trabajo de investigación se desarrollará en cinco capítulos, en los que se abordarán las etapas de estudio realizadas para la consecución de esta investigación. El capítulo I comprende la problemática, antecedentes, hipótesis, objetivos, alcance y variables de la investigación, por otra parte, en el Capítulo II se detallan las bases teóricas que dan soporte al estudio. En el Capítulo III se detalla la metodología

empleada para llevar a cabo esta investigación, en el Capítulo IV se presentan los resultados y la discusión de lo hallado, y finalmente, el Capítulo V está referido a las conclusiones y recomendaciones del estudio en general.

1.1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

Los sistemas de drenaje pluvial desempeñan un papel crucial en la mitigación de riesgos asociados con eventos climáticos extremos que pueden tener impactos devastadores, sobre todo, en áreas rurales donde la infraestructura de drenaje a menudo es limitada o inexistente (Ando et al., 1984). Estos sistemas permiten aprovechar el agua para usos agrícolas y domésticos, promoviendo así el desarrollo sostenible y la resiliencia frente a los impactos del cambio climático.

La comuna Barcelona, ubicada en la provincia de Santa Elena, Ecuador con una población aproximada de 3987 habitantes, enfrentan desafíos significativos relacionados con la gestión pluvial y la mitigación del riesgo de inundaciones. A lo largo de los años, el crecimiento urbano y la falta de planificación adecuada han contribuido a la aparición de problemas relacionados con el drenaje pluvial, lo que ha llevado a inundaciones recurrentes y daños a la infraestructura y propiedades locales (Alejandro Sánchez, 2009). El sistema de drenaje pluvial actual muestra deficiencias en términos de capacidad de manejo de caudales, mantenimiento del sistema y prevención de eventos extremos. (Gobierno Autónomo Descentralizado Provincial de Santa Elena, 2023).

Este trabajo de investigación pretende abordar la infraestructura de drenaje deficiente de la comuna Barcelona mediante un estudio hidrológico y el diseño de un sistema de drenaje pluvial que contemple los eventos extremos de inundaciones para mitigar las pérdidas de infraestructura y los problemas de salud pública. En este estudio se aborda la siguiente pregunta de investigación general ¿Realizar un estudio de prefactibilidad de sistema de drenaje pluvial en la comuna Barcelona, provincia de Santa Elena mitigará el riesgo de inundaciones y mejorará la gestión pluvial en la zona? Y las siguientes preguntas específicas; ¿Evaluar las características del terreno de la comuna Barcelona mediante un levantamiento topográfico para identificar zonas críticas de inundación?;¿Recopilar datos hidrológicos de la comuna Barcelona mediante revisión bibliográfica permitirá analizar el comportamiento hidráulico de la zona de estudio?;¿ Diseñar un sistema

de drenaje pluvial para la comuna Barcelona utilizando herramientas de ingeniería hidrológica e hidráulica permitirá mejorar la gestión pluvial del sector?

1.2. ANTEDECENTES

A nivel global se han seleccionado las siguientes investigaciones;

El estudio de Dianderas y Villalta (2024), titulado “DISEÑO DEL SISTEMA DE DRENAJE PLUVIAL EN EL DISTRITO DE CHARACATO, AREQUIPA”, tuvo como objetivo diseñar un sistema de drenaje pluvial independiente para mitigar los problemas de empozamiento en la zona urbana durante las épocas de lluvia intensa y prevenir el deterioro de las superficies pavimentadas causado por la acumulación de agua. La investigación se dividió en dos tomos. En el primero, se abordó la teoría relacionada con la hidrología urbana, utilizando datos meteorológicos proporcionados por la estación de LA PAMPILLA del SENAMHI.

Se realizó un análisis probabilístico de los datos para calcular las curvas Intensidad-Duración- Frecuencia (IDF), que permitieron determinar la lluvia de diseño. A partir de estos datos, se llevó a cabo un análisis hidráulico para calcular los caudales y diámetros de las tuberías, complementado con estudios de mecánica de suelos, topografía, hidrografía y un análisis ambiental. En el segundo tomo, se presentaron los cálculos detallados necesarios para el desarrollo del sistema de drenaje. Esto incluyó el análisis estadístico de los datos meteorológicos, la obtención de las curvas IDF y el Histograma de diseño, así como los cálculos hidráulicos, el metrado y la estimación de costos basados en los planos elaborados.

Los resultados obtenidos permitieron determinar los caudales y diámetros necesarios para el diseño del sistema, considerando los estudios complementarios. Finalmente, se concluyó que el sistema de drenaje propuesto era una solución viable para resolver los problemas de empozamiento en Characato, ya que los estudios hidrológicos, hidráulicos y ambientales realizados respaldaron la capacidad del diseño para mitigar los efectos de las lluvias intensas, protegiendo la infraestructura urbana y reduciendo los costos de mantenimiento a largo plazo.

El estudio de García Chumacero (2018) titulado “DISEÑO DEL DRENAJE PLUVIAL PARA MEJORAR LA TRANSITABILIDAD EN EL ASENTAMIENTO HUMANO LA FLORIDA, BANDA DE SHILCAYO, SAN

MARTÍN” tuvo como objetivo resolver un problema social mediante la implementación de infraestructura básica sanitaria que permitiera evacuar las aguas superficiales que, al estancarse, generaban problemas de transitabilidad y afectaban la salud de la población en el asentamiento humano La Florida, en el distrito de La Banda de Shilcayo. Las dificultades para transitar por las vías, el aumento de enfermedades respiratorias y otros problemas derivados de las aguas estancadas, junto con la falta de un sistema adecuado de evacuación, llevaron al planteamiento del diseño de un sistema de drenaje pluvial, basado en la Norma OS.060 del reglamento nacional de edificaciones.

Para determinar las características del agua superficial, se utilizó información de la estación pluviométrica local. Con los datos obtenidos sobre la intensidad de lluvia y los caudales, se procedió al diseño del sistema de drenaje pluvial, incluyendo una estimación detallada de los costos asociados. El diseño final permitió proponer una solución que mejora la transitabilidad y la calidad de vida de los habitantes, ya que se espera que el sistema funcione de manera eficiente, resolviendo así los problemas detectados en la zona de estudio

El estudio de Rioja Díaz (2018) titulado "DISEÑO HIDRÁULICO Y ESTRUCTURAL DEL SISTEMA DE DRENAJE PLUVIAL URBANO DEL DISTRITO DE CACATACHI, PROVINCIA DE SAN MARTÍN, REGIÓN SAN MARTÍN" tuvo como objetivo solucionar los graves problemas de deterioro progresivo de las vías públicas y plataformas de las obras de arte existentes en Cacatachi, ocasionados por las precipitaciones pluviales ordinarias y extraordinarias. Este proyecto surgió debido al rápido crecimiento poblacional y la consecuente demanda de servicios públicos adecuados, entre ellos el drenaje pluvial urbano.

La metodología empleada incluyó levantamientos topográficos en la zona urbana de 43.31 hectáreas, lo que permitió la elaboración de los planos del proyecto. Para determinar el caudal de diseño, se utilizaron los métodos Racional y Mac Math, basados en el coeficiente de escorrentía, áreas colectoras, la pendiente del terreno y la intensidad de diseño correspondiente a un período de retorno de 25 años.

Los resultados obtenidos definieron el caudal necesario para el sistema de drenaje pluvial, considerando las características físicas y topográficas de la zona de estudio.

Este trabajo servirá como base para la futura ejecución de las obras de drenaje, cuya construcción se planteó a corto y mediano plazo, teniendo en cuenta los costos asociados. El proyecto representó una solución integral a los problemas de infraestructura vial en Cacatachi, y su implementación contribuirá a mejorar la transitabilidad y la durabilidad de las vías públicas en el distrito.

La investigación de Pinchi Vásquez (2018) titulada "DISEÑO DEL SISTEMA DE DRENAJE PLUVIAL PARA MEJORAR LA ACCESIBILIDAD DEL ASENTAMIENTO HUMANO MACAMBO" tuvo como objetivo principal diseñar un sistema de drenaje pluvial que permitiera evacuar las aguas superficiales, mejorando así la accesibilidad y la calidad de vida de los habitantes del asentamiento humano Macambo, en el distrito de la Banda de Shilcayo. Se buscó dirigir el agua hacia un lugar donde no afectara a la comunidad, con el fin de reducir el riesgo de inundaciones y otros problemas relacionados con la acumulación de agua.

La metodología incluyó el levantamiento topográfico del área a lo largo de 314 metros en tres avenidas. Además, se realizaron tres calicatas a cielo abierto, con una profundidad de 1.50 metros y distanciadas entre sí por al menos 100 metros. El cálculo del caudal de cada avenida se efectuó utilizando el programa Hcanales para el diseño del sistema de drenaje.

Los resultados indicaron que el diseño propuesto del sistema de drenaje pluvial es eficaz para reducir el riesgo de inundaciones en el asentamiento humano Macambo y mejora significativamente la accesibilidad a la comunidad. En conclusión, los estudios realizados demostraron que la implementación del sistema de drenaje pluvial mejoraría la transitabilidad y reduciría los problemas derivados del estancamiento de agua, contribuyendo a un entorno más seguro y accesible para los residentes.

La tesis de Salgado Ramírez (2019) titulada "DISEÑO DE ESTRUCTURAS DE DRENAJE MEDIANTE EL MÉTODO RACIONAL CON FINES DE MEJORAR EL DRENAJE PLUVIAL EN LA CIUDAD DE CERRO DE PASCO" tuvo como objetivo definir los parámetros hidrológicos de las microcuencas influyentes y aplicar el método racional para diseñar cunetas que permitan proteger adecuadamente los pavimentos durante las épocas de precipitación. Este estudio fue

impulsado por la deficiencia en el sistema de drenaje pluvial del distrito de Simón Bolívar, en Cerro de Pasco, donde el mal manejo del agua pluvial ha ocasionado daños y deterioros en el pavimento.

La metodología incluyó la identificación de las microcuencas de la zona, el análisis hidrológico para determinar los caudales de diseño y la aplicación del método racional para el dimensionamiento adecuado de las cunetas. Esto buscó garantizar una evacuación eficiente de las aguas pluviales y minimizar el impacto en las vías públicas. Los resultados indicaron que el diseño propuesto de las cunetas, basado en parámetros hidrológicos precisos, sería efectivo para mejorar el sistema de drenaje pluvial y proteger la infraestructura vial de Cerro de Pasco. Se concluyó que la construcción de estas estructuras de drenaje es fundamental para evitar futuros daños en el pavimento y mejorar la durabilidad de las vías urbanas en temporadas de lluvias intensas.

La tesis de Calloquispe y Guerra (2022) titulada "DISEÑO DE DRENAJE PLUVIAL PARA MEJORAR LA EVACUACIÓN DE PRECIPITACIÓN DE AGUAS EN LA LOCALIDAD DE SHIMBILLO, PUCACACA, SAN MARTÍN" tuvo como objetivo proyectar un sistema de drenaje pluvial que resolviera los problemas de inundaciones causadas por las precipitaciones en la localidad de Shimbillo. La investigación aplicó una metodología descriptiva, no experimental y transversal, tomando como población de estudio el sector de Shimbillo y cinco de sus calles como muestra representativa. Se realizó un análisis del terreno, que se caracterizó por ser moderadamente plano, con depresiones regulares y una capa superficial de material granular sobre un subsuelo de arcilla inorgánica de consistencia media.

Los parámetros hidrológicos se determinaron con base en un período de retorno de 25 años, identificando una precipitación máxima de 103,2 mm y caudales entre 0,2 y 0,3 m³/s. Estos datos fueron procesados mediante el software HCANALES, que reveló que los flujos predominantes eran supercríticos y subcríticos. Como resultado de estos estudios, se diseñó un sistema de drenaje de hormigón armado con dimensiones de 0,60 m x 0,70 m, optimizado según la pendiente del terreno y las características de resistencia y abrasión del agua. El sistema operaría por gravedad, dirigiendo el flujo hacia el río Huallaga. En conclusión, el diseño propuesto permitirá una evacuación eficiente de las aguas pluviales, mejorando la

calidad de vida de los habitantes y reduciendo significativamente el riesgo de inundaciones en la zona.

A nivel nacional se toman como antecedentes las siguientes investigaciones.

El estudio de titulada "DISEÑO DEL ALCANTARILLADO SANITARIO Y PLUVIAL Y TRATAMIENTO DE AGUAS SERVIDAS DE 4 LOTIZACIONES UNIDAS (VARIOS PROPIETARIOS), DEL CANTÓN EL CARMEN" tuvo como objetivo contribuir a mejorar las condiciones sanitarias de los pobladores mediante la implementación de un sistema de alcantarillado adecuado. El estudio se estructuró en siete capítulos, abarcando el análisis y diseño del sistema de alcantarillado y su respectivo tratamiento de aguas servidas. La metodología consistió en un análisis progresivo del proyecto, iniciando con los dos primeros capítulos, donde se detallaron el alcance, los beneficios y los datos básicos necesarios para su desarrollo. En los capítulos tres y cuatro, se diseñó la red de alcantarillado, se realizó un chequeo de presiones en la tubería, y se definieron las medidas de mitigación para prevenir impactos ambientales.

El capítulo cinco abordó las especificaciones de construcción y los procedimientos de pago, mientras que el capítulo seis se centró en la elaboración del presupuesto de la obra y la planificación del cronograma de construcción. En cuanto a los resultados, se determinó que el diseño propuesto es factible y sostenible, y que, si se sigue el cronograma y las especificaciones técnicas, se evitarán inconvenientes en todas las etapas del proyecto. En conclusión, el sistema de alcantarillado diseñado proporcionará mejoras significativas en la calidad de vida de los habitantes de Manabí Libre, garantizando una adecuada gestión de las aguas servidas y reduciendo riesgos ambientales. Las recomendaciones finales se enfocaron en la correcta ejecución de la obra para asegurar su efectividad a largo plazo.

La tesis de Quiranza Cahuasquí (2016) titulada " DISEÑO DEL ALCANTARILLADO PLUVIAL DE LA CABECERA DE LA PARROQUIA LA UNION, DEL CANTON ATACAMES, PROVINCIA DE ESMERALDAS" tuvo como objetivo principal diseñar un sistema de alcantarillado pluvial para mejorar la evacuación de aguas superficiales, contribuyendo así a resolver los problemas de servicios básicos en la comunidad. Este proyecto fue solicitado por la Junta

Parroquial de La Unión a la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, como parte de un esfuerzo por atender las necesidades básicas de la población local. La metodología incluyó la delimitación de un área urbana de 12.5 hectáreas, con una población aproximada de 650 habitantes, según datos proporcionados por el presidente de la Junta Parroquial. Se realizaron análisis técnicos y socioeconómicos, evaluando la viabilidad del diseño en función de las características del terreno y la situación económica de los residentes. Asimismo, se llevó a cabo un estudio de impacto ambiental con el fin de minimizar los riesgos inherentes a este tipo de proyectos y asegurar que los beneficios superen las posibles consecuencias ambientales.

Se realizó un presupuesto tentativo del estudio, considerando los precios actuales de materiales de construcción y los salarios estipulados por la Contraloría General del Estado. Además, se elaboró un cronograma valorado de trabajo basado en los rubros establecidos en el presupuesto. Para alcanzar la correcta ejecución de la construcción y el uso de materiales, se tomaron en cuenta las Especificaciones Técnicas vigentes de uso general y libre de la Empresa Municipal de Alcantarillado y Agua Potable de Quito (EMAAP-Q).

Los resultados mostraron que el diseño propuesto para el alcantarillado pluvial es viable y adecuado para las condiciones locales, y se prevé que su implementación mejorará significativamente la calidad de vida de los habitantes al facilitar una evacuación eficiente de las aguas superficiales. En conclusión, el proyecto no solo resuelve una necesidad básica de la comunidad, sino que también contribuye a la sostenibilidad ambiental y el desarrollo social de la parroquia La Unión. Las recomendaciones se enfocaron en la correcta ejecución de las obras y la mitigación de los impactos ambientales detectados.

La tesis de Benavides y Ojeda (2016) titulada “ESTUDIO Y DISEÑO DEL SISTEMA DE AGUA POTABLE, ALCANTARILLADO SANITARIO Y ALCANTARILLADO PLUVIAL Y PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA LA PARROQUIA GUAYQUICHUMA DEL CANTÓN CATAMAYO, PROVINCIA DE LOJA” tuvo como objetivo central evaluar los sistemas existentes y diseñar una red de agua potable, alcantarillados sanitario y pluvial, así como una planta depuradora de aguas residuales para beneficiar a los pobladores de la zona. Este trabajo se planteó como una alternativa técnica a la

problemática existente, la cual incluía desabastecimiento de agua potable, calidad del agua por debajo de los estándares establecidos en la normativa ecuatoriana de saneamiento, disposición inadecuada de excretas y deficiente evacuación de aguas pluviales. La metodología del estudio consistió en realizar un análisis geográfico y demográfico del barrio El Prado, así como una evaluación de los sistemas de agua potable y alcantarillado sanitarios existentes.

Se llevaron a cabo encuestas socioeconómicas para comprender las condiciones de vida de los residentes, un estudio hidrológico para evaluar la disponibilidad de recursos hídricos, y análisis de la calidad del agua proveniente de las fuentes de abastecimiento. Se incluyó un estudio topográfico y un análisis de suelos para determinar las características del terreno, así como una evaluación de la sostenibilidad económica y financiera del proyecto.

Finalmente, se realizó una evaluación de impacto ambiental para asegurar que la implementación del proyecto cumpla con las normativas vigentes y minimice los efectos negativos en la comunidad. Los resultados indicaron que la implementación del diseño propuesto no solo mejoraría el abastecimiento de agua potable y la calidad de los servicios de alcantarillado, sino que también contribuiría a la salud pública y el bienestar de los pobladores del barrio El Prado. En conclusión, el proyecto presentó una solución integral y sostenible a los problemas existentes, recomendando su ejecución en etapas para asegurar una implementación efectiva y una mejora continua de la calidad de vida en la comunidad.

1.3. HIPÓTESIS

1.3.1. Hipótesis General.

El diseño de un sistema de drenaje pluvial en la comuna Barcelona, provincia de Santa Elena, permitirá mitigar el riesgo de inundaciones y mejorar la gestión pluvial en la zona.

1.3.2. Hipótesis Específicas.

H.E.1.: Evaluar las características del terreno de la comuna Barcelona mediante un levantamiento topográfico permitirá identificar zonas críticas de inundación.

H.E.2.: Recopilar datos hidrológicos de la comuna Barcelona mediante revisión bibliográfica permitirá analizar el comportamiento hidráulico de la zona de estudio.

H.E.3.: Diseñar un sistema de drenaje pluvial para la comuna Barcelona empleando los criterios de diseño del Instituto Ecuatoriano de Normalización (CPE-INEN) permitirá mejorar la gestión pluvial del sector.

1.4. OBJETIVOS

1.4.1. Objetivo General.

Realizar un estudio de prefactibilidad de sistema de drenaje pluvial en la comuna Barcelona, provincia de Santa Elena.

1.4.2. Objetivos Específicos.

O.E.1.: Levantamiento topográfico del río Valdivia y la comuna Barcelona con GNSS – RTK para evaluar las características físicas del terreno.

O.E.2.: Evaluar el riesgo de inundación de la comuna Barcelona empleando el software de diseño HEC-RAS para modelar el comportamiento del flujo de agua y determinar las zonas vulnerables a inundaciones bajo diferentes escenarios hidrológicos.

O.E.3.: Evaluar la factibilidad de un sistema de defensa ribereña con muro de gaviones en las zonas críticas de inundación considerando los máximos caudales.

1.5. ALCANCE

El estudio de prefactibilidad del sistema de drenaje pluvial en la comuna Barcelona, provincia de Santa Elena, tiene como objetivo desarrollar un diseño eficiente y sostenible para mitigar el riesgo de inundaciones y mejorar la gestión pluvial en la región. Esta investigación se centrará en una evaluación integral del sistema actual, considerando tanto las deficiencias estructurales como las áreas críticas vulnerables a eventos pluviales extremos.

El análisis abarcará la recopilación de datos hidrológicos y topográficos relevantes para comprender el comportamiento hidráulico en la zona de estudio. Estos datos permitirán identificar las características del terreno que influyen en el flujo de agua y establecer una base para el dimensionamiento de las estructuras necesarias.

El diseño del sistema de drenaje se desarrollará empleando herramientas avanzadas de ingeniería hidrológica e hidráulica, tomando en cuenta la capacidad de escurrimiento y los factores topográficos dominantes que impactan en la dispersión del caudal. Esto incluirá la propuesta de estrategias técnicas, económicas y ambientales que aseguren la implementación exitosa del sistema y su mantenimiento continuo.

La investigación se enfocará en garantizar que el sistema propuesto no solo mitigue los riesgos asociados a las inundaciones, sino que también contribuya a la resiliencia de la comunidad, protegiendo la infraestructura y promoviendo un desarrollo sostenible que contemple las variaciones climáticas futuras.

1.6. VARIABLES

1.6.1. Variables Dependientes.

- ✓ Diseño de drenaje pluvial óptimo.

1.6.2. Variables Independientes.

- ✓ Características hidrológicas, características topográficas, infraestructura actual.

CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. SISTEMA DE DRENAJE PLUVIAL

El sistema de drenaje se define como un conjunto integral de obras diseñadas para interceptar y conducir las aguas pluviales hacia un lugar de disposición previamente seleccionado, evitando así problemas de inundación que puedan afectar la infraestructura y la calidad de vida de sus habitantes. Estos sistemas comprenden componentes como sumideros, colectores y canales, cuya adecuada planificación es esencial para el funcionamiento eficiente de la urbanización. La importancia del drenaje radica en su influencia directa sobre la infraestructura vial y la topografía modificada, elementos que determinan no solo la funcionalidad, sino también la sostenibilidad de los espacios urbanos.

Por ello, el ingeniero hidráulico debe realizar un diseño exhaustivo, fundamentado en información básica precisa y actualizada, para asegurar que se satisfagan las necesidades de drenaje sin comprometer la seguridad y el bienestar de la población.

2.2. NIVELES DE DRENAJE PLUVIAL CON INEN

2.2.1. Nivel 1.

En el nivel 1 se diseñan las calles con cunetas de suficiente capacidad para acarrear la escorrentía superficial. No se diseñará ningún sistema de tuberías especiales. La escorrentía superficial drenará directamente al curso receptor. Para evitar el acarreo excesivo de sólidos en suspensión hacia el curso receptor se recubrirán las calles seleccionando algún tipo de pavimento económico, como adoquines, empedrado, etc. La idea básica es invertir el dinero que se destinaría para el alcantarillado pluvial, en la pavimentación de las calles del área servida.

2.2.2. Nivel 2.

En este nivel, se utilizan canales laterales, en uno o ambos lados de la calzada, cubiertos con rejillas metálicas que impidan el paso de sólidos grandes

interior de la cuneta y que, al mismo tiempo, resistan el peso de vehículos. El espaciamiento libre que normalmente se puede utilizar es de 0,03 m a 0,07 m entre barrotes y una dimensión típica de estos podría ser 0,005 m x 0,05 m. Las calles deberán ser adoquinadas o empedradas para mejorar la calidad de la escorrentía pluvial. Su sección transversal tendrá pendientes hacia las cunetas laterales de modo que se facilite el flujo rápido de la escorrentía hacia ellas.

Los canales se construirán en ambos lados de cada calle. Si sus dimensiones así lo justificaren, especialmente para colectores, se utilizarán tuberías de hormigón simple convencionales. En todo caso, para evitar el aumento en la longitud del canal, se utilizará la ruta más corta hacia el curso receptor. La pendiente mínima que deberán tener estos canales será la necesaria para obtener su auto limpieza (0,9 m/s a sección llena).

2.2.3. Nivel 3.

En este nivel se utiliza una red de tuberías y colectores, este sistema podrá cambiarse con el nivel 2 si así se considera necesario en el diseño. (INEN)

2.3. DISEÑO DE SISTEMAS DE DRENAJE PLUVIAL

De acuerdo con CONAGUA el diseño de un sistema de drenaje pluvial se realiza en varias etapas e involucra distintas áreas de la ingeniería, a continuación, se presenta una breve descripción de estas etapas.

2.3.1. Análisis hidrológico.

En la fase de análisis hidrológico, se lleva a cabo la recopilación de datos históricos de precipitación provenientes de estaciones climatológicas ubicadas en las proximidades del área de estudio. A través de técnicas de análisis hidrológico, así como métodos estadísticos y probabilísticos, estos datos se procesan para generar histogramas.

Estos gráficos ilustran, para cada período de retorno determinado, la intensidad de la precipitación, su duración y las variaciones a lo largo del tiempo.

2.3.2. Análisis hidrográfico.

Este análisis se lleva a cabo a través de estudios hidrográficos y geomorfológicos, donde las precipitaciones recopiladas en la etapa anterior se convierten en escurrimiento superficial. A través de esta metodología, se examina el trayecto que sigue el agua a lo largo de la cuenca, así como sus subcuencas y microcuencas.

Este proceso es esencial para comprender la dinámica del flujo hídrico en la región y para el diseño efectivo de sistemas de drenaje que mitiguen el riesgo de inundaciones.

2.3.3. Análisis hidráulico.

En esta fase se evalúan los impactos del escurrimiento en la comunidad, así como a proponer alternativas de solución o mitigación de los riesgos asociados. Este proceso se realiza mediante análisis hidráulicos y modelos de simulación matemática, que permiten comprender mejor el comportamiento del agua en la zona.

Una vez identificada la opción más idónea, se procede al diseño geométrico e hidráulico de los diversos componentes que integran la red de drenaje pluvial, asegurando así la eficacia y eficiencia del sistema propuesto para la gestión de las aguas superficiales.

2.4. OBTENCIÓN DE DATOS PLUVIOMETRICOS

Para la obtención de datos pluviométricos la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) sugiere que se seleccionen las estaciones climatológicas más cercanas a la zona de estudio, estableciendo un área de influencia de 5 kilómetros alrededor de cada estación.

En regiones donde no se dispone de información histórica pluviográfica, CONAGUA sugiere utilizar datos históricos sobre la ocurrencia y duración de las precipitaciones definiendo intervalos de duración específicos según las características de la región; por ejemplo, se pueden establecer categorías como lluvias de menos de 30 minutos, entre 30 y 60 minutos, entre 60 y 90 minutos, y

aquellas con duraciones superiores a 2 horas. La definición de estos intervalos se realiza analizando la duración máxima registrada en el histórico de lluvias.

Para el primer intervalo se establece un límite de 30 minutos debido a que las precipitaciones menores a 10 minutos no suelen generar problemas de inundación. Si la duración máxima registrada es inferior a dos horas, los intervalos se fijan cada 30 minutos; si excede este tiempo, los intervalos se duplican a partir de las dos horas, resultando en bloques de 30, 60, 90, 120, 240 y 480 minutos, hasta abarcar el tiempo máximo registrado. Una vez definidos los intervalos, se contabiliza el número total de lluvias y se agrupan en los bloques correspondientes.

2.5. PERIODO DE RETORNO DE DISEÑO

La selección del período de retorno para el diseño de un sistema de drenaje pluvial es un factor crítico que afecta tanto el nivel de protección contra inundaciones como la capacidad del sistema, incidiendo directamente en el riesgo de falla de la infraestructura.

En general, a medida que se busca un mayor nivel de protección, los costos de la obra tienden a incrementarse. Sin embargo, existe un límite en el que el aumento en el gasto no se traduce en mejoras significativas en la protección, conocido como el periodo económico de diseño.

Este periodo es complicado de establecer, ya que su determinación depende de varios factores que son difíciles de cuantificar, tales como el costo total de la obra, los posibles daños y perjuicios ocasionados por una falla, los gastos de mantenimiento y, especialmente, el riesgo asociado a la pérdida de vidas humanas. Por ello, es fundamental realizar un análisis equilibrado que considera tanto la inversión inicial como los beneficios en términos de seguridad y mitigación de riesgos a largo plazo.

2.5.1. Asignación del periodo de retorno de diseño.

Cuando se diseñan sistemas de drenaje pluvial con períodos de retorno superiores a 10 años, se generan obras que requieren una inversión significativa y que, a lo largo de la mayor parte de su vida útil, operarán a una capacidad muy

inferior a la que fueron concebidas. Por lo tanto, por razones económicas, se ha recomendado adoptar períodos de retorno de diseño que oscilen entre 1 y 10 años.

Esta estrategia permite asegurar un funcionamiento adecuado del sistema durante las lluvias ordinarias, aunque puede resultar en encharcamientos e inundaciones que ocasionen daños menores y molestias a la población durante eventos extraordinarios.

La elección definitiva del período de retorno de diseño puede verse influenciada por diversos factores, tales como:

- ✓ Costos de construcción y de operación
- ✓ Requisitos de mantenimiento
- ✓ La necesidad de reducir el daño potencial de inundación en base a un proceso
- ✓ de evaluación de riesgos
- ✓ Seguridad
- ✓ Estética
- ✓ Metas regionales de planificación
- ✓ Requisitos legales y estatutarios

Se recomienda que en el diseño de sistemas de drenaje no se utilice un periodo de retorno por debajo de 2 años para las categorías de desarrollo residencial e industrial, o por debajo de 1 año para espacios abiertos, parques, etcétera. Esto asegura que los sistemas tengan una capacidad adecuada para manejar eventos recurrentes.

CONAGUA recomienda usar el periodo de retorno en años que se muestran en las tablas 1 y 2 como referencia para garantizar un diseño eficiente y seguro.

Tabla 1

Periodos de retorno para diseño de redes de drenaje pluvial en zonas urbanas.

Zonas Urbanas	Tr
Poblados pequeños con menos de 100 000 habitantes	2-5
Poblados medianos ente 100 000 y 1 000 000 de habitantes	5-10
Poblados grandes con más de 1 000 000 de habitantes	10-25

Nota. Tomado de CONAGUA (2014)

Tabla 2

Periodos de retorno para diseño de redes de drenaje pluvial por tipo de actividad económica.

Tipo	Descripción	Tr (años)
Centro de negocios	Zonas donde el uso principal es para actividades de venta al por menor o de negocios y donde los edificios son comúnmente construidos hasta los límites de la propiedad., los toldos sobresalen sobre la banqueta y el paisaje es mínimo o inexistente. Estas áreas de negocios a menudo se encuentran en las partes más antiguas de la ciudad o el pueblo	10
Áreas comerciales	Zonas donde los usos primarios incluyen las ventas al por menor, actividades comerciales, hoteles, etc. Pueden incluir centros para exposiciones, restaurantes, clubes deportivos.	10
Zonas Industriales	Las áreas donde las actividades principales llevadas a cabo son la producción, el procesamiento de productos, instalaciones de almacenamiento, etc.	2
Zonas urbanas con alta densidad	Áreas urbanas que tienen más de 20 viviendas por cada 10 000 m2 (hectárea), como edificios de apartamentos, unidades habitacionales y zonas suburbanas altamente pobladas.	10
Zonas urbanas de mediana densidad	Las áreas residenciales que tienen más de 5 y hasta 20 unidades de vivienda por 10 000 m2(hectárea).	2
Zonas rurales	Las áreas residenciales que tienen entre 2 y 5 unidades de vivienda por 10 000 m2(hectárea).	2
Espacios abiertos	Las áreas abiertas utilizadas principalmente para la recreación, como parques, campos de golf, etcétera.	1

Nota. Tomado de CONAGUA (2014)

Para el diseño de emisores y canales de descarga en sistemas de drenaje, se puede optar por un período de retorno (Tr) de 50 años si se tiene certeza sobre la calidad y las condiciones de rugosidad de la superficie del canal, además de contar con un adecuado mantenimiento.

Esta opción es especialmente viable en canales revestidos de concreto ubicados en zonas de fácil acceso y con suelos estables, donde el comportamiento del drenaje puede preverse con mayor certeza.

Sin embargo, en situaciones donde las condiciones reales de flujo son difíciles de predecir, como en canales no revestidos o en aquellos con rugosidades variables, es recomendable establecer un Tr de 100 años. Esta medida busca garantizar una mayor seguridad y eficacia en el manejo de esorrentía.

Al seleccionar el período de retorno para el diseño, es fundamental considerar la proyección del crecimiento poblacional durante la vida útil de la obra. Aunque el drenaje pluvial no depende directamente del número de habitantes, el aumento en la población afecta las características del escurrimiento en la cuenca. Ignorar este factor puede llevar a fallas en el funcionamiento del sistema, lo que podría resultar en inundaciones o acumulación inadecuada de aguas pluviales.

En ciertos casos, es necesario adoptar un período de retorno superior a 25 años, especialmente cuando el funcionamiento de un componente del sistema de drenaje se considera crítico. La falla de este componente podría generar riesgos significativos, como la amenaza a la vida de los habitantes, daños severos a la infraestructura local y la afectación de las vías de acceso o evacuación durante eventos meteorológicos extremos.

Estos riesgos suelen estar relacionados con el desalojo de agua pluvial a través de puentes, sifones invertidos o descargas a altas velocidades, lo que puede generar problemas de erosión, obstrucción de flujos o acumulación de sedimentos. Además, existe una alta probabilidad de fallas estructurales en infraestructuras críticas como carreteras, vías de ferrocarril, terraplenes o presas, especialmente cuando estas están expuestas a flujos hidráulicos excepcionales o prolongados.

En tales situaciones, el diseño y la selección del período de retorno deben fundamentarse en procedimientos analógicos a los utilizados en el análisis de fallas de presas. Este enfoque permite incorporar variables como los máximos caudales esperados, las características del terreno y las condiciones extremas de operación, asegurando de este modo la resiliencia y efectividad del sistema de drenaje frente a escenarios adversos.

Tabla 3

Periodos de retorno para diseño de redes de drenaje pluvial por tipo de infraestructura. Conagua 1996.

Drenaje Pluvial Estructura	Tr (años)
Aeropuertos y estaciones de ferrocarril y autobuses	10
Cunetas y contracunetas en caminos y carreteras	5
Alcantarillas para paso de cauces pequeños en caminos locales que comunican poblados pequeños	10 a 25
Alcantarillas para paso de cauces pequeños en caminos regionales que comunican poblados grandes	25 a 50
Alcantarillas para paso de cauces pequeños en caminos primarios que comunican poblados grandes	50 a 100
Poblados pequeños con menos de 100 000 habitantes	2 a 5

Nota. Tomado de CONAGUA (2014)

2.5.2. Periodo de retorno para infraestructura comunitaria esencial.

El establecimiento de períodos de retorno específicos para el diseño de sistemas de drenaje es crucial en la protección de infraestructuras comunitarias esenciales, tales como hospitales, estaciones de bomberos, instalaciones de protección civil, comisarías de policía y albergues.

Estas instalaciones, al ser vitales durante situaciones de emergencia, requieren un enfoque riguroso en su planificación y diseño para garantizar su operatividad ante la ocurrencia de siniestros. Así, se debe considerar un período de retorno que refleje el nivel de riesgo aceptable y la magnitud de los eventos pluviales que podrían afectar estas infraestructuras.

Esto permitirá que los sistemas de drenaje no solo protejan las instalaciones de inundaciones, sino que también aseguren un funcionamiento continuo de los servicios esenciales que ofrecen a la comunidad en momentos críticos.

Tabla 4*Periodos de retorno para protección de infraestructura comunitaria esencial.*

Tipo de Infraestructura	Tr (años)
Hospitales, servicios de emergencia, centro de mando, protección civil.	500
Albergues, policía, museos, bibliotecas, instalaciones de almacenamiento para los registros de valor históricos o culturales, casas hogar, infraestructura de servicios públicos los servicios críticos.	200
Vías de acceso	50

Nota. Tomado de CONAGUA (2014)

2.6. CRITERIOS DE DISEÑO INEN

En el siguiente apartado se describirán los criterios normativos para el diseño del sistema de drenaje pluvial de acuerdo con la normativa del Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN).

2.7 CAUDAL DE DISEÑO

Para el cálculo de los caudales de diseño la normativa recomienda utilizar tres métodos de cálculo; el método racional; el método del hidrograma unitario sintético y el análisis estadístico.

El método racional se utilizará para la estimación del escurrimiento superficial en cuencas tributarias con una superficie inferior a 100 ha. Para cuencas con extensión superior a las 100 ha se utilizará el método del hidrograma unitario sintético. Para estimar las descargas de cursos de agua importantes, cuya área de contribución sea superior a 25 km², que fluyan a través de las áreas urbanas, se recomienda el análisis estadístico de los datos de escurrimiento superficial observados (Fárez, 2015).

Para la aplicación del método racional y del hidrograma unitario sintético, es necesario disponer de las curvas, intensidad, duración y frecuencia. Estas relaciones serán deducidas de observaciones de los registros de lluvia en el área de estudio, durante un período lo suficientemente grande para poder aceptar las frecuencias como probabilidades. Cuando no exista en el área de estudio registros

pluviográficos o el período de registro existente sea insuficiente, se obtendrán las curvas intensidad, duración, frecuencia a partir de las lluvias máximas de 24 h registradas en el sector y de relaciones entre alturas pluviométricas para diferentes duraciones, para áreas de características pluviográficas similares (INEN, 1997).

2.7.1. Método Racional.

Se aplicará para áreas con una superficie inferior a 5 km². El caudal de escurrimiento se lo calculará mediante la fórmula:

$$Q = 0,00278 * C * I * A$$

Donde:

Q: Caudal de escurrimiento (m³/s)

I: Intensidad de lluvia (mm/hora)

C: Coeficiente de escurrimiento (adimensional)

A: Área de la cuenca (ha)

2.7.2. Método de Hidrograma Unitario.

Este método se recomienda para cuencas con un área superior a 5 km². Los caudales de proyecto serán calculados aplicando hidrogramas unitarios sintéticos. A partir de los hidrogramas unitarios y las tormentas seleccionadas, se obtendrán los hidrogramas del escurrimiento superficial para las cuencas de drenaje.

2.7.3. Métodos Estadísticos.

Para áreas de drenaje extensas, es esencial calcular el escurrimiento a través de un análisis estadístico de los datos registrados, siempre que el período de registro sea lo suficientemente extenso y confiable. Este análisis solo es factible si el proceso de urbanización no ha alterado ni alterará significativamente el régimen de escurrimiento de la cuenca.

Los métodos estadísticos recomendados para este tipo de estudios son el de Gumbel y el Log-Pearson Tipo III, ambos reconocidos por su precisión en la estimación de eventos hidrológicos extremos. Sin embargo, si no es posible aplicar

estos métodos debido a la falta de datos adecuados, se deberá emplear el método del hidrograma unitario sintético, que permite estimar el escurrimiento con base en parámetros representativos de la cuenca y las características de la precipitación (INEN, 2015).

2.8. COEFICIENTE DE ESCORRENTÍA

Para la determinación del coeficiente C deberá considerarse los efectos de infiltración, almacenamiento por retención superficial, evaporación, etc. Para frecuencias entre 2 y 10 años se recomienda los siguientes valores de C.

Tabla 5

Valores de Coeficiente de Esgurrimento.

Tipo de Zona	Valores de C
Zonas centrales densamente construidas, con vías y calzadas pavimentadas	0,7-0,9
Zonas adyacentes al centro de menor densidad poblacional con calles pavimentadas	0,7
Zonas residenciales medianamente pobladas	0,55-0,65
Zonas residenciales con baja densidad	0,35-0,55
Parques, campos de deportes	0,1-0,2

Nota. Tomado de INEN (2012)

Cuando sea necesario calcular un coeficiente de escurrimiento compuesto, basado en porcentajes de diferentes tipos de superficie se podrá utilizar los valores que se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 6

Valores de C para diversos tipos de superficies.

Tipo de Superficie	C
Cubierta metálica o teja vidriada	0,95
Cubierta con teja ordinaria o impermeabilizada	0,9
Pavimentos asfálticos con buenas condiciones	0,85 a 0,9
Pavimentos de hormigón	0,8-0,85
Empedrados (juntas pequeñas)	0,75-0,8
Empedrados (juntas ordinarias)	0,4 a 0,5
Pavimentos de macadam	0,25 a 0,6
Superficies no pavimentadas	0,1 a 0,3
Parques y jardines	0,05 a 0,25

Nota. Tomado de INEN (2012)

Las suposiciones básicas del método racional, con respecto a la relación entre la intensidad de lluvia de diseño, tiempo de concentración y el caudal de escorrentía, no justifican la corrección de C con el tiempo, por lo tanto, en la aplicación del método racional se utilizará un valor constante del coeficiente C (EMAAP, 2009).

2.8.1. Intensidad y Frecuencia de precipitación

Para aplicar el método racional y el hidrograma unitario sintético, es imprescindible contar con curvas de intensidad, duración y frecuencia (IDF). Estas curvas se derivan de los registros de precipitaciones en el área de estudio durante un período suficientemente extenso, lo que permite considerar las frecuencias como probabilidades confiables.

En caso de que no se dispongan de registros pluviográficos o que el período de registro sea insuficiente, las curvas IDF se determinarán a partir de las lluvias máximas registradas en 24 horas en el sector.

Además, se emplearán relaciones entre alturas pluviométricas para distintas duraciones, tomando como referencia áreas con características pluviográficas similares (INAMHI).

Para el estudio del presente proyecto se emplearán los datos correspondientes a la estación M0169 JULCUY debido a las características del ambiente relacionadas con el sector de estudio.

Tabla 7

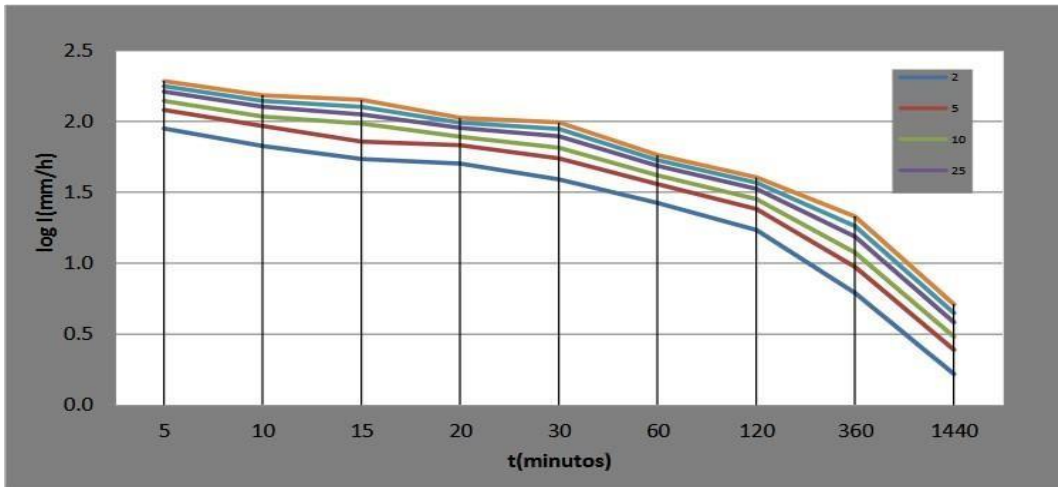
Intensidad – duración - frecuencia de la estación Julcuy.

Estación		Intervalos de tiempo (minutos)	Ecuaciones	R	R ²
Código	Nombre				
M0169	JULCUY	5<30	$i = 161.16041 * T^{0.20877} * t^{-0.4192}$	0,9841	0,9684
		30<120	$i = 302.5648 * T^{0.2098} * t^{-0.6122}$	0,9906	0,9813
		120<1440	$i = 1043.3208 * T^{0.2669} * t^{-0.88922}$	0,994	0,9881

Nota. Tomado de INEN (2012)

Figura 1

Cuadro de intensidad-duración-frecuencia de la precipitación de la estación Julcuy.



Nota. Tomado de INHAMI

2.8.2. Tiempo de concentración.

Para los colectores de drenaje pluvial el tiempo de concentración es igual a la suma del tiempo de llegada más el tiempo de escurrimiento por los colectores hasta el punto en consideración.

El tiempo de escurrimiento se lo obtendrá a partir de las características hidráulicas de los colectores recorridos por el agua. El tiempo de llegada es el tiempo necesario para que el escurrimiento superficial llegue desde el punto más alejado hasta el primer sumidero.

Este tiempo dependerá de la pendiente de la superficie, del almacenamiento en las depresiones, de la cobertura del suelo, de la lluvia antecedente, de la longitud del escurrimiento, etc. Se recomienda valores entre 10 min y 30 min para áreas urbanas. En cualquier caso, el proyectista deberá justificar, a través de algún método, los valores de los tiempos de llegada empleados en el cálculo.

2.8.3. Periodo de diseño.

El tiempo de diseño de un sistema de alcantarillado corresponde al período durante el cual operará bajo las condiciones y parámetros establecidos, sin requerir ampliaciones o mejoras. Para determinarlo, se deben considerar la vida útil de sus componentes, el desarrollo socioeconómico de la población y el comportamiento

hidráulico de los elementos cuando no estén funcionando a plena capacidad. En el caso de una comunidad rural, se ha seleccionado un período de diseño de 20 años, asegurando que todos los elementos del sistema sean dimensionados para dicho horizonte temporal (INAMHI).

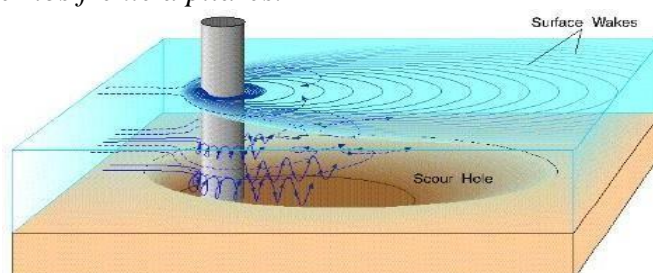
2.9. SOCAVACIÓN DE LOS RÍOS

La socavación de los ríos es un proceso geomorfológico que implica la erosión del lecho o las márgenes de un río debido a la acción constante del flujo del agua. Este fenómeno, aunque natural, tiene implicaciones significativas en diversos ámbitos, como el ecológico, el social y el económico. En términos generales, afecta la estabilidad de las infraestructuras cercanas, como puentes y diques, mientras que también contribuye a la pérdida de terrenos cultivables y hábitats naturales. Su estudio y comprensión son fundamentales para desarrollar estrategias que minimicen sus impactos.

Desde el punto de vista conceptual, la socavación se define como la eliminación progresiva del material que compone el lecho o las orillas de un río, resultado de la interacción del agua con los sedimentos y las formaciones geológicas del cauce. Este proceso puede clasificarse en tres tipos principales: general, local y por constricción. La socavación general ocurre de forma natural a lo largo del curso del río debido a factores como el caudal y la pendiente. Por otro lado, la socavación local se presenta en áreas específicas donde el flujo de agua genera concentraciones de turbulencia, como en las bases de los puentes o estructuras hidráulicas. Finalmente, la socavación por constricción surge cuando el cauce del río se estrecha, ya sea por causas naturales o intervenciones humanas, lo que incrementa la velocidad del flujo y su capacidad erosiva.

Figura 2

Socavación de ríos frente a pilares.



Nota. Tomado de (Díaz, 2016)

Los factores que determinan la intensidad y el alcance de la socavación son diversos y abarcan dimensiones hidrodinámicas, geomorfológicas, climáticas y antrópicas. En primer lugar, la velocidad del flujo, las turbulencias y el régimen hidráulico del río juegan un papel clave en la erosión. Además, las características geomorfológicas, como la pendiente del cauce y la composición del material del lecho, condicionan la susceptibilidad del terreno a este proceso. Los eventos climáticos extremos, como lluvias torrenciales, intensifican la fuerza del agua, exacerbando la socavación.

Por último, las actividades humanas, como la extracción de materiales del río, la construcción de presas y la deforestación, alteran el equilibrio natural del sistema fluvial, acelerando el proceso.

El impacto de la socavación se manifiesta en diversas dimensiones. En el ámbito ecológico, contribuye a la pérdida de hábitats acuáticos y terrestres, alterando la biodiversidad y el equilibrio de los ecosistemas fluviales. En el plano económico, supone costos significativos para reparar o reconstruir infraestructuras afectadas y genera pérdidas de tierras agrícolas fértiles.

Desde una perspectiva social, las comunidades cercanas a los ríos enfrentan riesgos como desplazamientos por la inestabilidad del terreno o inundaciones, lo que genera incertidumbre y precariedad en sus medios de vida.

Frente a estos desafíos, la comprensión científica de la socavación ha permitido desarrollar métodos de estudio y estrategias de prevención. Las herramientas utilizadas combinan disciplinas como la hidrología, la geología y la modelización matemática para analizar y predecir el comportamiento de los ríos. Entre las medidas preventivas más efectivas se encuentra el diseño adecuado de infraestructuras, asegurando que las bases de puentes y otras construcciones estén reforzadas contra la erosión.

Además, la reforestación de las márgenes de los ríos se ha demostrado como una solución eficaz para estabilizar el terreno y reducir el impacto directo del agua. Finalmente, el control de las actividades humanas, como la regulación de la extracción de materiales y las modificaciones del cauce, resulta esencial para preservar el equilibrio natural del sistema fluvial.

Figura 3

Socavación de río.



Nota. Tomado de (Espinoza & Martínez, 2018)

2.10. DEFENSAS RIBEREÑA

Las estructuras de contención son obras civiles diseñadas para garantizar la estabilidad de macizos de tierra o roca, previniendo su rotura o deslizamiento por efecto de cargas externas o del peso propio. Entre los tipos más comunes se encuentran los muros de contención, los tablestacados y las paredes ancladas, los cuales, a pesar de diferir en geometría, materiales y métodos constructivos, comparten el propósito de resistir las presiones laterales del terreno. Estas estructuras han estado presentes desde los primeros desarrollos arquitectónicos de la humanidad, aunque su diseño con fundamentos teóricos comenzó a sistematizarse en el siglo XVIII, destacando el aporte de Coulomb en 1773. Su trabajo sobre el cálculo del empuje lateral del suelo sentó las bases para los métodos actuales de dimensionamiento de estructuras de contención, siendo todavía una referencia fundamental en el campo de la ingeniería geotécnica (Barros, 2015).

El diseño y análisis de estas estructuras requieren la consideración de múltiples factores relacionados con las propiedades del terreno, la geometría y los materiales empleados. Por un lado, es necesario evaluar el peso, resistencia, deformabilidad y condiciones de drenaje del macizo, además de las cargas externas que puedan actuar sobre él. Por otro lado, las características del material constructivo, el sistema adoptado y la secuencia constructiva influyen directamente en la interacción entre el suelo y la estructura. Este análisis debe simplificarse mediante modelos teóricos

que permitan abordar la complejidad del sistema, integrando las condiciones de interacción entre los elementos para garantizar un comportamiento seguro y eficiente de la estructura frente a las cargas impuestas (De Almeida Barros, 2015).

2.11. MUROS DE CONTENCIÓN

2.11.1. Estructuras de contención a gravedad.

Las estructuras de contención a gravedad son sistemas diseñados para garantizar la estabilidad de taludes y laderas mediante su peso propio, lo que les permite resistir el empuje ejercido por el suelo contenido. A diferencia de otras soluciones como los tablestacados o paredes ancladas, estas estructuras no dependen de soportes auxiliares, lo que simplifica su ejecución. Están compuestas por materiales como concreto ciclópeo, piedra emboquillada o gaviones, y pueden incluir combinaciones de estos. Su construcción implica generalmente la excavación del terreno natural para formar un macizo compuesto por una mezcla de suelo original y material de relleno, lo que introduce inevitablemente heterogeneidades y posibles superficies de deslizamiento (De Almeida Barros, 2015).

Estas estructuras pueden clasificarse en rígidas y flexibles según la capacidad de sus materiales para tolerar deformaciones:

- a) Estructuras Rígidas: Las estructuras rígidas, como las construidas con concreto o piedras, son apropiadas para terrenos estables y requieren un sistema de drenaje eficaz para evitar problemas de estabilidad.
- b) Estructuras flexibles: Se adaptan mejor a deformaciones del terreno, siendo ideales en condiciones donde se anticipan movimientos diferenciales. Aunque estas últimas presentan ventajas en términos de flexibilidad y eficiencia, el proceso de selección debe considerar diversos factores físicos, geotécnicos y económicos, garantizando la solución más adecuada a las condiciones del proyecto

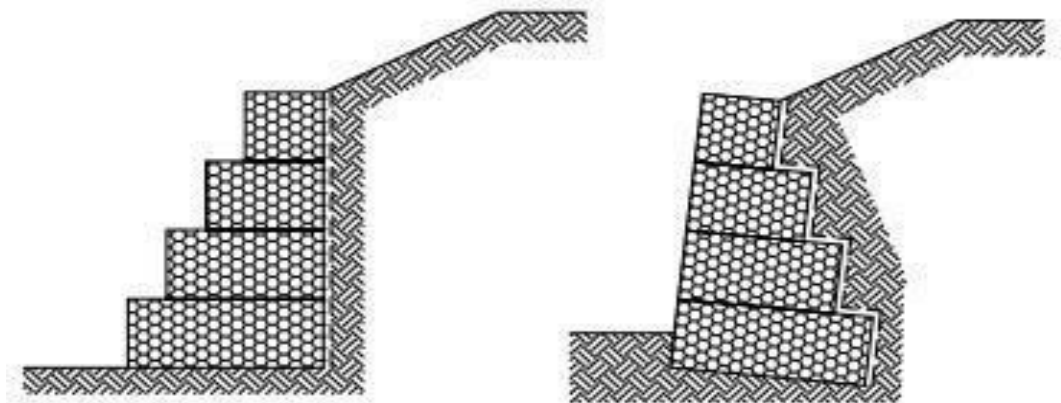
2.11.2. Estructuras de contenciones a gaviones.

Las estructuras de gravedad en gaviones son una solución de ingeniería con una sólida trayectoria histórica y una evolución técnica destacable. Diseñadas con

mallas metálicas rellenas de piedras, combinan resistencia, flexibilidad y adaptabilidad. Originadas en Italia a finales del siglo XIX, comenzaron a popularizarse en América Latina en la década de 1970, consolidándose como una alternativa versátil y eficiente en diversos proyectos de infraestructura debido a su simplicidad constructiva y desempeño técnico (De Almeida Barros, 2015).

Figura 4

Muros de gaviones.



Nota. Tomado de (De Almeida Barros, 2015)

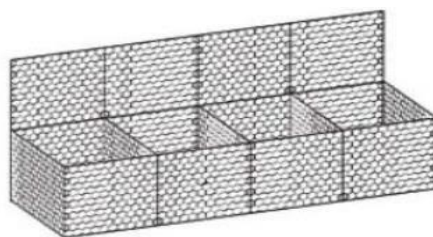
2.11.3. Características Técnicas de las Estructuras en Gaviones.

2.11.3.1. Composición y Materiales.

Los gaviones están fabricados con mallas hexagonales de doble torsión, elaboradas con alambres de alta resistencia revestidos con aleaciones anticorrosivas. Estas mallas, rellenas con piedras seleccionadas, forman estructuras continuas y monolíticas, unidas mediante costuras que aseguran la uniformidad en la distribución de esfuerzos. Este diseño optimiza su resistencia y prolonga su vida útil (De Almeida Barros, 2015).

Figura 5

Gavión tipo caja.



Nota. Tomado de Piñar Venegas, (2008)

2.11.3.2. Durabilidad y Protección Anticorrosiva.

El revestimiento de los alambres con aleaciones modernas, como Galfan, garantiza una alta resistencia a la corrosión, incluso en entornos agresivos. En ambientes químicos o marinos, se añade una capa adicional de material plástico que incrementa la durabilidad, permitiendo una vida útil superior a 50 años. Además, con el tiempo, los sedimentos y raíces vegetales rellenan los espacios entre las piedras, fortaleciendo la estabilidad estructural.

Figura 6

Protección de la malla con tensores.



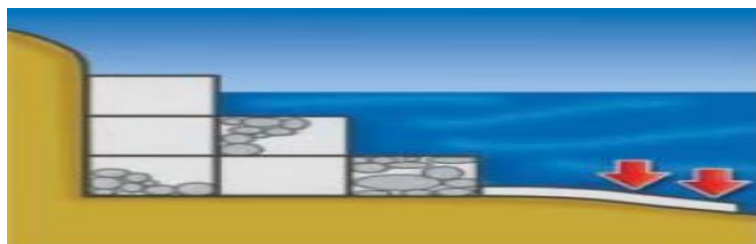
Nota. Tomado de Piñar Venegas, (2008)

2.11.3.3. Flexibilidad y Adaptabilidad.

Una ventaja clave de los gaviones es su capacidad para adaptarse a los movimientos diferenciales del terreno, lo que los hace idóneos para suelos de baja capacidad de soporte. Esta flexibilidad permite detectar deformaciones antes del colapso, posibilitando intervenciones oportunas que reducen riesgos y costos asociados.

Figura 7

Flexibilidad y Adaptabilidad del muro de gaviones.



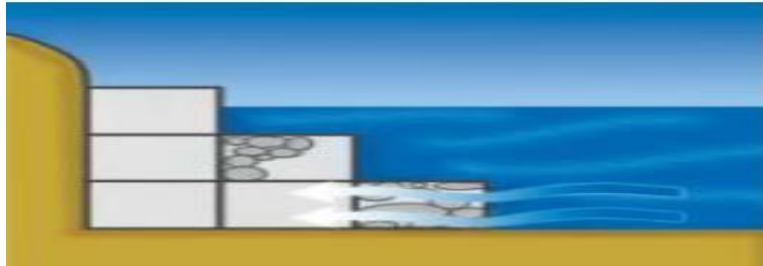
Nota. Tomado de Piñar Venegas, (2008)

2.11.3.4. Permeabilidad y Drenaje.

Los gaviones son intrínsecamente permeables, lo que elimina el empuje hidrostático y reduce significativamente el riesgo de fallos relacionados con problemas de drenaje. Esta característica los convierte en una solución eficiente para áreas con altas tasas de infiltración o fluctuaciones freáticas.

Figura 8

Permeabilidad y Drenaje.



Nota. Tomado de Piñar Venegas, (2008)

2.11.3.4. Impacto Ambiental y Estética.

Las estructuras en gaviones destacan por su bajo impacto ambiental. Durante su construcción y operación, se integran de manera armoniosa al entorno natural, facilitando la regeneración de la flora y fauna local. Su diseño versátil permite adaptarse a paisajes naturales o urbanos, ofreciendo soluciones estéticas que van desde la integración visual con el entorno hasta la creación de elementos paisajísticos distintivos (De Almeida Barros, 2015).

Figura 9

Armado de muro de gaviones.



Nota. Tomado de Piñar Venegas, (2008)

2.11.3.5. Beneficios Económicos y Operativos.

La construcción de gaviones resulta económica gracias al empleo de materiales locales y mano de obra no especializada, lo que los convierte en una opción ideal para áreas de bajos recursos o proyectos comunitarios. Su rápida instalación, la ausencia de tiempos de fraguado y la posibilidad de modificaciones posteriores reducen los costos y aceleran los plazos de ejecución. En comparación con otras alternativas estructurales de características similares, los gaviones representan una solución financiera y operativamente ventajosa (De Almeida Barros, 2015).

CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO

3.1. TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN

3.1.1. Tipo de investigación.

La presente investigación se caracteriza como aplicada, dado que trasciende el marco teórico para centrar su enfoque en la implementación práctica de conceptos abstractos mediante el diseño experimental y la validación de hipótesis. Como plantea Lozada (2019), este tipo de estudio está orientado a la generación de conocimiento con una aplicación concreta y relevante para distintos sectores de la sociedad, destacando especialmente el productivo. En línea con esta visión, Vargas Cordero (2009) señala que la investigación aplicada busca, además de emplear conocimientos previos, contribuir al desarrollo de nuevas teorías a través de la práctica sustentada en fundamentos teóricos, promoviendo un avance significativo en áreas específicas del conocimiento.

En este trabajo de investigación, se busca a través de las bases teóricas de la ingeniería hidráulica proponer soluciones de drenaje para la comuna Barcelona, así también, evaluar soluciones para la defensa ribereña del sector mediante el diseño.

3.1.2. Nivel de Investigación.

El nivel de la investigación es analítica-proyectiva, puesto que, se orienta en el estudio detallado y la evaluación de aspectos específicos necesarios para abordar el problema de las inundaciones en la comuna Barcelona. Mediante un análisis profundo de las características topográficas del terreno y la identificación de áreas vulnerables, se busca establecer una base precisa para diseñar intervenciones efectivas. Esto incluye la evaluación de la viabilidad técnica de un sistema de drenaje pluvial y la implementación de defensas ribereñas con muros de gaviones, ambas soluciones propuestas con base en los máximos caudales y en lineamientos normativos del Instituto Ecuatoriano de Normalización (CPE-INEN). Así, la investigación aplica una metodología analítica que permite examinar cada uno de los factores técnicos y de diseño, fundamentando su pertinencia para mejorar la gestión pluvial y reducir el riesgo de inundaciones en el sector.

3.2. MÉTODO, ENFOQUE Y DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

3.2.1. Método.

El método de investigación utilizado en este estudio es descriptivo, orientado a la recopilación y análisis detallado de datos sobre las características del terreno y las condiciones hidráulicas de la comuna Barcelona. A través de técnicas de observación sistemática y mediciones precisas, se busca caracterizar las áreas vulnerables a inundaciones, identificar las propiedades geotécnicas del suelo y evaluar los aspectos clave relacionados con la gestión pluvial. Este enfoque no implica la manipulación de variables, sino que se enfoca en la recopilación de datos objetivos y relevantes para describir el estado actual del fenómeno bajo estudio. De este modo, el método descriptivo permite proporcionar una base empírica sólida para el diseño y la evaluación de soluciones técnicas, como el sistema de drenaje pluvial y las defensas ribereñas propuestas, asegurando su viabilidad en el contexto específico de la comuna.

3.2.2. Enfoque.

El enfoque de la investigación es de carácter cuantitativo orientado a la recolección y análisis exhaustivo de datos específicos sobre el terreno de la comuna Barcelona y la factibilidad de infraestructuras de mitigación de inundaciones. A través de mediciones topográficas, se pretende identificar zonas críticas de inundación y analizar las condiciones hidráulicas del área de estudio. Este enfoque cuantitativo permite obtener datos objetivos y verificables que fundamentan tanto el diseño como la implementación de sistemas de drenaje y defensas ribereñas, asegurando su viabilidad y efectividad en la gestión pluvial del sector.

3.2.3. Diseño de la investigación.

La investigación adopta un diseño experimental, cuyo propósito es comprobar los efectos de una intervención específica, con un rol activo del investigador en la implementación y supervisión del proceso (Vásquez Isabel, 2016). En este proyecto, el enfoque experimental se centra en el diseño y la evaluación funcional tanto del sistema de drenaje pluvial como del muro de gaviones. A través de experimentación controlada y simulaciones de rendimiento

hidráulico, se examinan los efectos de estas soluciones en la mitigación de inundaciones, validando su viabilidad y eficacia en las condiciones particulares del terreno de la comuna Barcelona.

3.3. POBLACIÓN, MUESTRA Y MUESTREO

3.3.1. Población.

La población objeto de estudio está conformada por el total de áreas y terrenos de la comuna Barcelona, ubicada en el cantón Santa Elena, Ecuador, que presentan un riesgo potencial de inundación. Esta población incluye las distintas zonas que requieren intervención para la mejora de la gestión pluvial, así como los sectores que podrían beneficiarse de la implementación de sistemas de drenaje pluvial y defensas ribereñas.

3.3.2. Muestra.

La muestra seleccionada para el estudio corresponde a un conjunto representativo de las zonas críticas identificadas en la comuna Barcelona, que presentan características geotécnicas y hidráulicas diversas y relevantes para el análisis. Esta muestra incluye áreas con diferentes grados de vulnerabilidad a inundaciones, considerando factores como la topografía, el tipo de suelo y la proximidad a cuerpos de agua.

3.3.3. Muestreo.

El siguiente estudio no utiliza técnicas de muestreo.

3.4. UBICACIÓN Y SECTOR DE ESTUDIO

El sitio de estudio se encuentra en la comuna Barcelona, ubicada en el cantón Santa Elena, en la provincia del mismo nombre, en la costa suroeste de Ecuador.

La comuna Barcelona es un área de gran importancia agrícola y residencial, lo que hace esencial abordar los problemas relacionados con la gestión pluvial para reducir riesgos inundación y mejorar la calidad de vida de sus habitantes.

El área de estudio se ha delimitado para incluir las zonas de mayor vulnerabilidad a inundaciones, las cuales serán evaluadas para el diseño de un sistema de drenaje pluvial y la implementación de defensas ribereñas.

Tabla 8

Delimitación del sector de estudio.

Delimitación Comuna Barcelona	
Norte	Dos Mangas
Sur	Loma Alta
Este	Loma Alta
Oeste	Pajiza

Nota. Elaboración propia.

3.5. METODOLOGÍA DEL O.E.1: REALIZAR UN ESTUDIO TOPOGRÁFICO DE LA COMUNA BARCELONA CON GNSS – RTK PARA EVALUAR LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL TERRENO

Para el cumplimiento del primer objetivo de investigación, se realizó un estudio topográfico para realizar un diseño definitivo con el objetivo de evaluar las características del terreno en la comuna Barcelona, enfocado en identificar las zonas críticas de inundación.

Inicialmente, se efectuaron visitas de campo para llevar a cabo una inspección visual y obtener un entendimiento preliminar de la morfología del terreno, durante esta fase se identificaron áreas con características geográficas relevantes como zonas de baja altitud, pendientes suaves y posibles cauces naturales, factores que influyen directamente en la acumulación de agua y en el riesgo de inundaciones.

Esta observación de campo permitió contextualizar los datos que posteriormente se obtuvieron mediante mediciones precisas.

Esta tecnología permitió obtener puntos de alta precisión en términos de coordenadas horizontales y elevación, lo que permite un análisis detallado de la topografía de la zona. El GNSS – RTK, facilitó la medición directa de distancias y ángulos, y permitió una triangulación exacta del área estudiada, indispensable para la creación del modelo digital del terreno.

Posteriormente, los datos topográficos obtenidos fueron introducidos en el software Civil 3D, especializado en el modelado y análisis de superficies. Este software permitió la creación de un modelo digital de terreno (MDT) tridimensional, a partir del cual, se pudo realizar un análisis de la topografía de manera precisa.

La representación del terreno en formato digital permitió visualizar las variaciones de altitud y las posibles zonas de acumulación de agua, lo que resulta esencial para la identificación de áreas susceptibles a inundaciones. Este modelo facilitó la integración de datos y la simulación de escenarios, permitiendo una evaluación más profunda del comportamiento hidrológico del área.

Finalmente, se generaron las curvas de nivel a partir del MDT en Civil 3D, lo que permitió obtener una representación gráfica de las variaciones altimétricas del terreno.

Las curvas de nivel, que representan las líneas de igual elevación, fueron esenciales para identificar las áreas de menor altitud, las cuales podrían estar más propensas a la inundación, y aquellas con pendientes más pronunciadas que podrían tener un mayor riesgo de escorrentía.

Este análisis topográfico detallado proporcionó las bases necesarias para identificar con precisión las zonas críticas y evaluar el comportamiento hidrológico del área, lo cual fue fundamental para el desarrollo de estrategias de manejo y mitigación de riesgos pluviales en la comuna.

3.6. METODOLOGÍA DEL O.E.2: EVALUAR EL RIESGO DE INUNDACIÓN DE LA COMUNA BARCELONA EMPLEANDO EL SOFTWARE DE DISEÑO HEC – RAS PARA MODELAR EL COMPORTAMIENTO DEL FLUJO DE AGUA Y DETERMINAR LAS ZONAS VULNERABLES A INUNDACIONES

Para el desarrollo metodológico del segundo objetivo de investigación se utilizó el estudio topográfico realizado en el objetivo anterior para identificar las propiedades geomorfológicas del área y las posibles rutas de escorrentía superficial. Los datos de elevación y las pendientes del terreno fueron cruciales para la simulación precisa del comportamiento hidráulico del flujo de agua utilizando el software HEC-RAS.

Posteriormente, se llevó a cabo un análisis exhaustivo de los factores hidrológicos que impactan en el comportamiento del agua pluvial en la comuna. Este análisis abarcó la recopilación y evaluación de datos pluviométricos históricos, así como la estimación de caudales máximos de escorrentía mediante metodologías hidrológicas estandarizadas, como el método de los hidrogramas unitarios o el cálculo mediante curvas IDF (intensidad, duración y frecuencia). Se evaluaron las precipitaciones extremas y su frecuencia para definir tres escenarios hidrológicos representativos. También se evaluaron las condiciones hidrológicas del río Valdivia y se simuló los máximos caudales y los riesgos de inundación a 5, 10 y 100 años en el software de diseño hidráulico HEC-RAS. Además, se consideraron las características geométricas de los cauces y las infraestructuras de drenaje existentes para mejorar la precisión del modelo hidráulico.

En la fase final, se procedió a la evaluación de la inundación bajo los tres escenarios para identificar con precisión las zonas de mayor vulnerabilidad a inundaciones, determinando las áreas de riesgo que requieren medidas de intervención inmediata. Los resultados de las simulaciones fueron procesados para generar mapas de inundación, que proporcionan una representación detallada de las áreas susceptibles a inundación bajo diferentes condiciones de precipitación, siendo fundamentales para la planificación de medidas de mitigación y la gestión del riesgo hidráulico en la comuna.

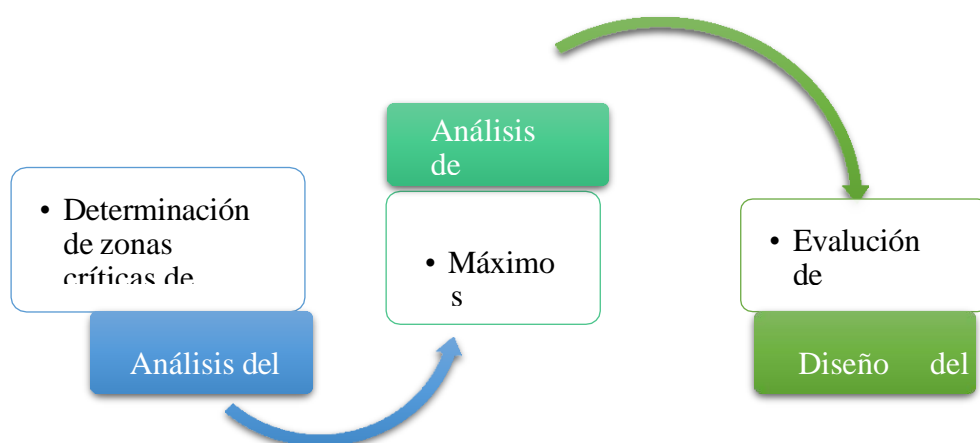
3.7. METODOLOGÍA DEL O.E.3: EVALUAR LA FACTIBILIDAD DE UN SISTEMA DE DEFENSA RIBEREÑA CON MURO DE GAVIONES EN LAS ZONAS CRÍTICAS DE INUNDACIÓN

Para el desarrollo metodológico de este objetivo, se realizó un análisis exhaustivo de las zonas críticas de inundación, utilizando datos históricos de caudales máximos, mapas topográficos y estudios previos de riesgo. Se identificaron las áreas más vulnerables a inundaciones, considerando factores como la cercanía a cuerpos de agua, las características geomorfológicas del terreno y los posibles puntos de desbordamiento.

Una vez identificadas las zonas críticas, se procedió al diseño del muro de gaviones, tomando en cuenta los máximos caudales estimados para la región. Para ello, se realizó un análisis de inundaciones y caudales máximos utilizando el programa HEC-RAS, el cual permitió modelar el comportamiento del flujo de agua y estimar las presiones hidráulicas durante eventos de alta precipitación. El diseño del muro incluyó la selección de materiales adecuados, como las mallas metálicas y el relleno de piedras, con el fin de garantizar la estabilidad y durabilidad de la estructura. Además, se dimensionaron los muros en función de los resultados del análisis hidrológico, asegurando que fueran capaces de contener el flujo de agua sin comprometer la seguridad estructural.

Figura 10

Esquema del proceso para el diseño de muro de gaviones.



Nota. Elaboración propia.

CAPÍTULO IV: RESULTADOS

4.1. RESULTADOS DEL OE1: LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO DEL RÍO VALDIVIA Y LA COMUNA BARCELONA CON GNSS PARA EVALUAR LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL TERRENO

Como resultado del primer objetivo de investigación, se obtuvo un levantamiento topográfico del río y la comuna Barcelona, con curvas de nivel cada 0.50 m, incluyendo calles, aceras, predios y postes, que sirvieron como base para el diseño de los sistemas de drenaje. Este levantamiento permitió identificar zonas críticas con alto riesgo de inundación, considerando las cotas del terreno, las pendientes máximas y los puntos críticos. Estos datos fueron clave para el diseño del drenaje y la identificación de las áreas más vulnerables.

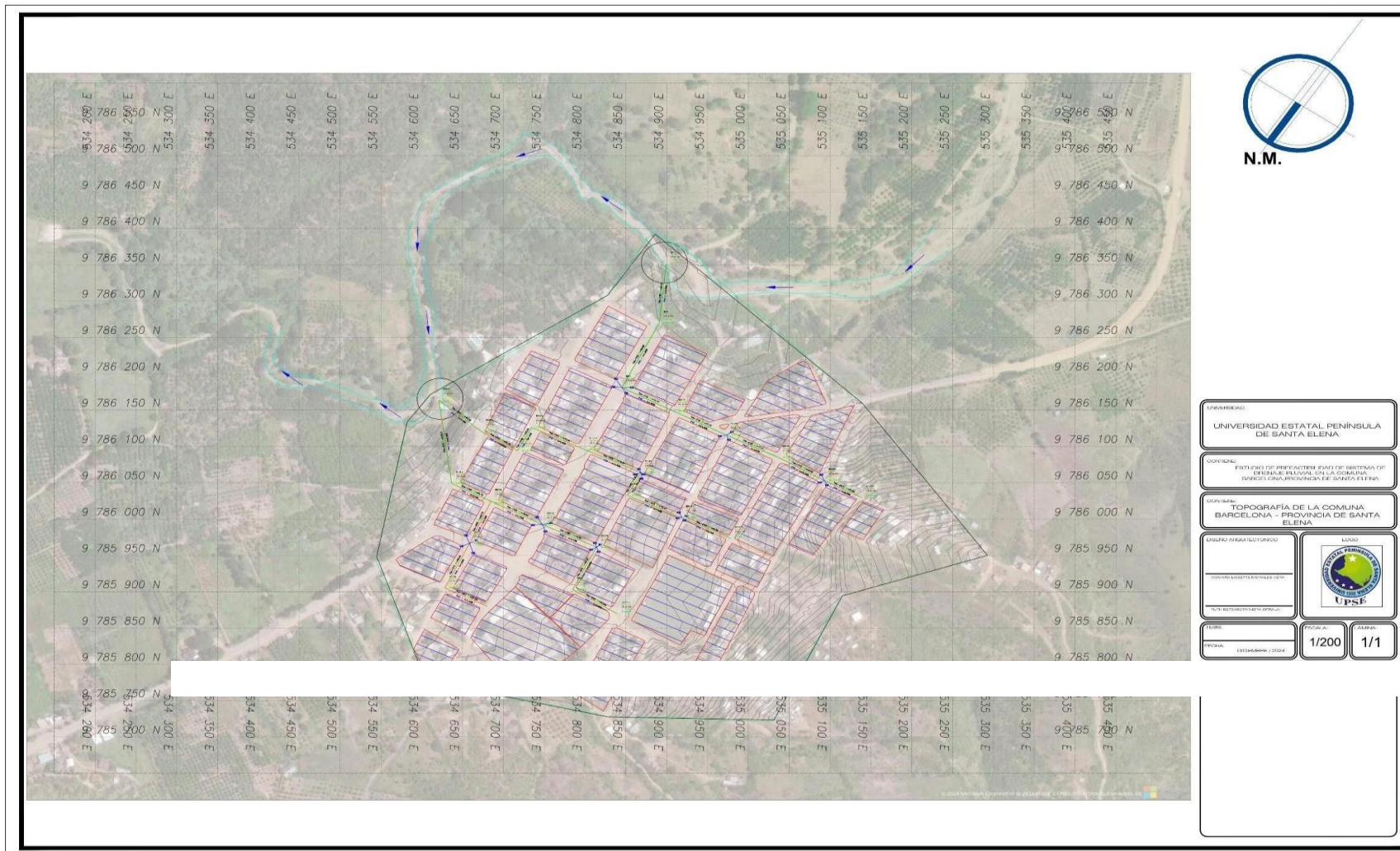
Región Cercana a los Cauces Principales: Esta área, al norte, donde convergen dos cauces naturales, enfrenta alto riesgo por la acumulación de flujos durante lluvias intensas. Las pendientes suaves favorecen la retención de agua, aumentando el desbordamiento de los cauces y la saturación del suelo. La ausencia de barreras o drenaje adecuado puede impactar directamente a los lotes cercanos.

Zona Central (Urbanización): Aunque alejada de los cauces directos, la zona central, con alta densidad de lotes y calles, enfrenta un riesgo significativo por la escorrentía dirigida hacia ella. La urbanización, al aumentar las superficies impermeables, reduce la infiltración, lo que puede provocar acumulación de agua en intersecciones y saturación de los sistemas pluviales.

Región Sur (Pendientes y Drenajes Secundarios): En el sur, las pendientes pronunciadas aceleran la escorrentía hacia las zonas bajas, aumentando el riesgo de deslizamientos, erosión y acumulación de agua en los lotes al pie de las pendientes. Además, los drenajes secundarios pueden sobrecargarse durante eventos extremos, reduciendo la capacidad de evacuación del agua.

Figura 11

Topografía de la comuna Barcelona.



Nota. Elaboración propia.

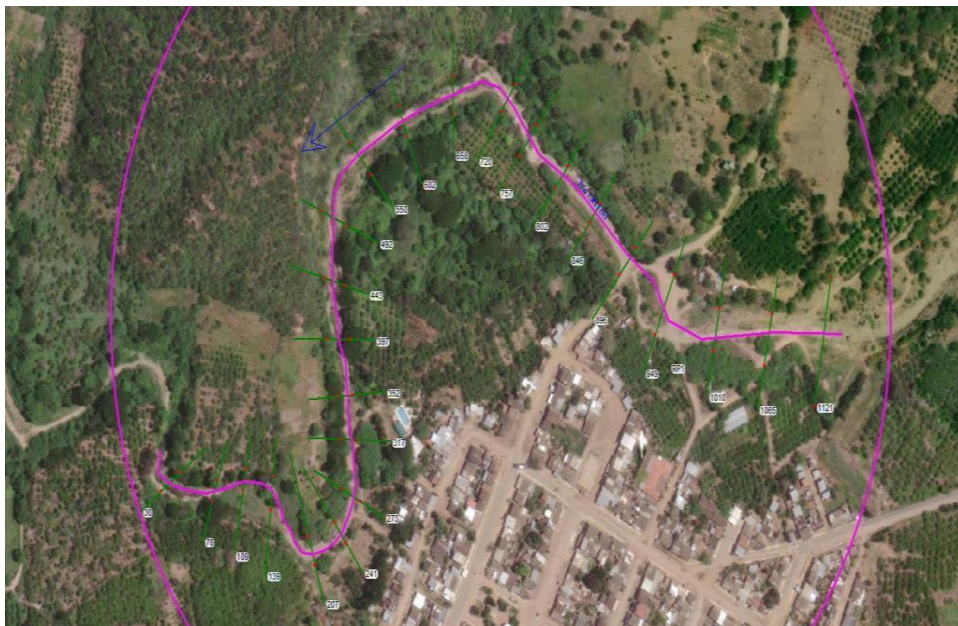
4.2. RESULTADOS DEL O.E2.: EVALUAR EL RIESGO DE INUNDACIÓN DE LA COMUNA BARCELONA EMPLEANDO EL SOFTWARE DE DISEÑO HEC-RAS PARA MODELAR EL COMPORTAMIENTO DEL FLUJO DE AGUA Y DETERMINAR LAS ZONAS VULNERABLES A INUNDACIONES BAJO DIFERENTES ESCENARIOS HIDROLÓGICOS

4.2.1. Modelación Hidrodinámica.

Como resultados del segundo objetivo de investigación se obtuvo el análisis de inundación del río Valdivia a los 5, 10 y 100 años respectivamente mediante el software de diseño hidráulico HEC-RAS. Con estos escenarios se logró determinar la zona más susceptible de la comuna a la que se le diseñará un muro de gaviones para evitar los problemas de inundación asociados.

Figura 12

Delimitación del río de estudio.



Nota. Generado a partir del análisis de inundaciones con HEC-RAS.

Figura 13

Secciones Transversales para la modelación hidrodinámica del río Valdivia.



Nota. Generado con HEC-RAS.

4.2.2. Simulación.

4.2.2.1. Simulación Escenario 1 (Periodo de retorno a los 5 años).

Para el primer escenario de estudio se analizó el potencial de inundación del río Valdivia a 5 años a través de la modelación hidrodinámica del software HEC-RAS. En este primer análisis se observa el desbordamiento del río en la zona boscosa adyacente al río (Fig. 14) y (Fig.15).

Figura 14

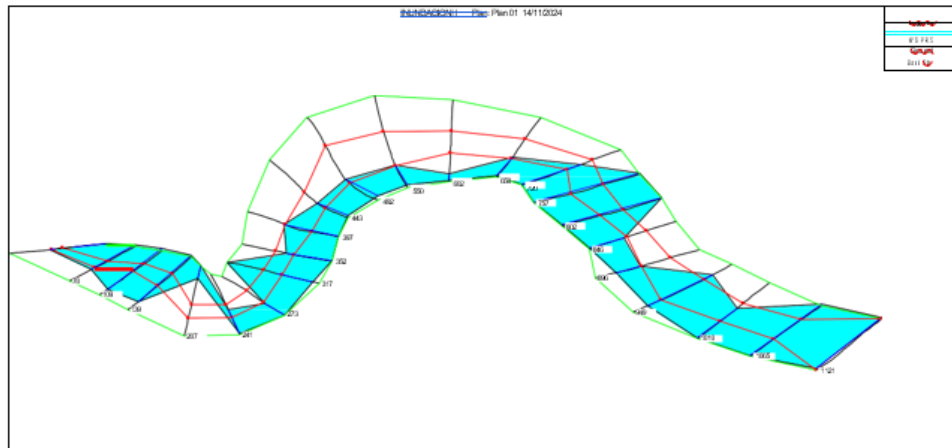
Simulación de Inundación del río Valdivia a los 5 años.



Nota. Generado con HEC-RAS.

Figura 15

Plano de inundación del río Valdivia a los 5 años.

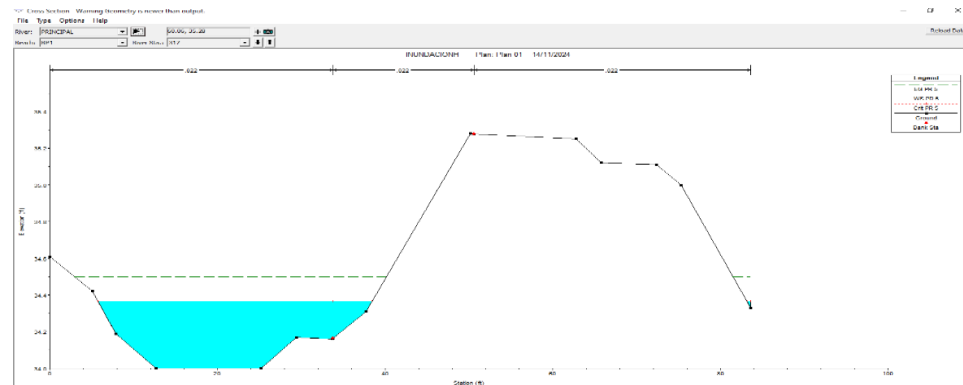


Nota. Generado con HEC-RAS.

Los resultados de la simulación demuestran que, la inundación presenta una columna máxima de agua que se encuentra sobre la cota del terreno natural.

Figura 16

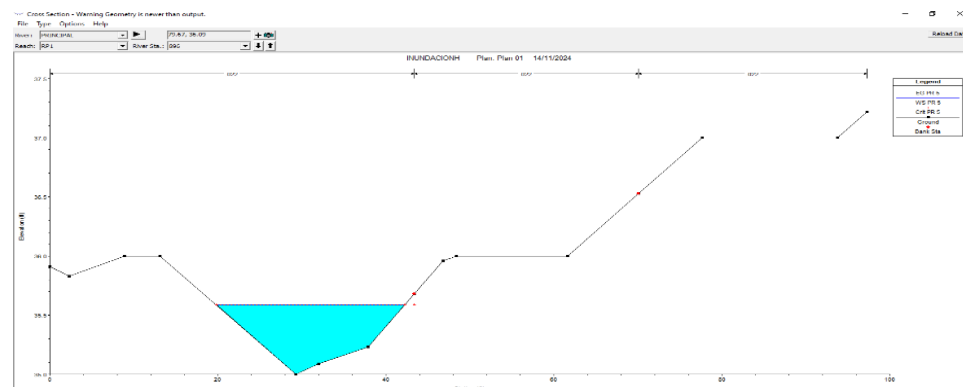
Inundación a los 5 años de río Valdivia en la sección 0+317.



Nota. Generado con HEC-RAS.

Figura 17

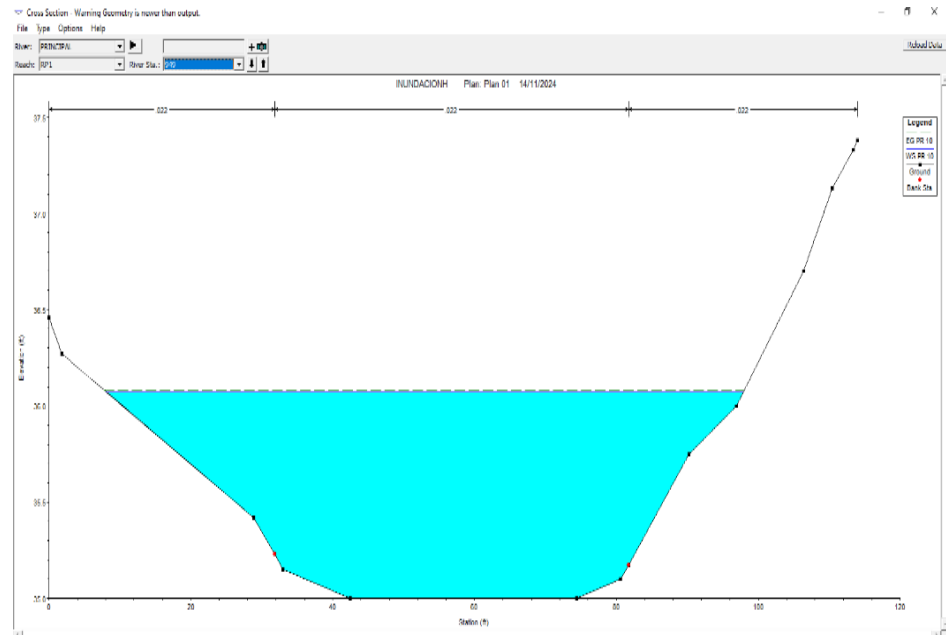
Inundación a los 10 años de río Valdivia en la sección 0+896.



Nota. Generado con HEC-RAS.

Figura 18

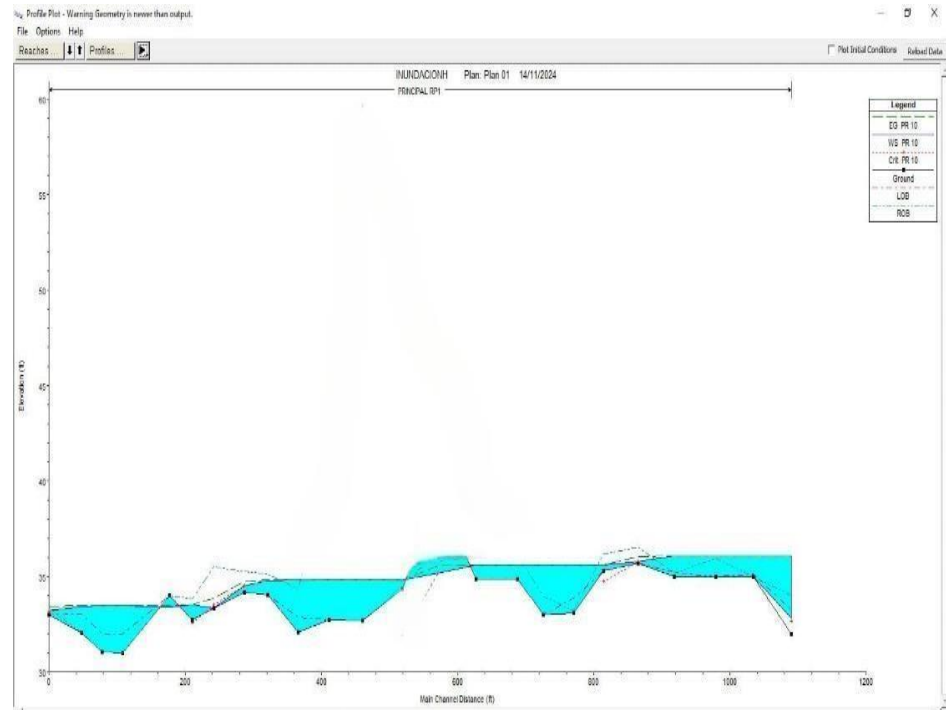
Inundación a los 5 años de río Valdivia en la sección 0+949.



Nota. Generado con HEC-RAS.

Figura 19

Perfil Longitudinal a los 5 años de río Valdivia.



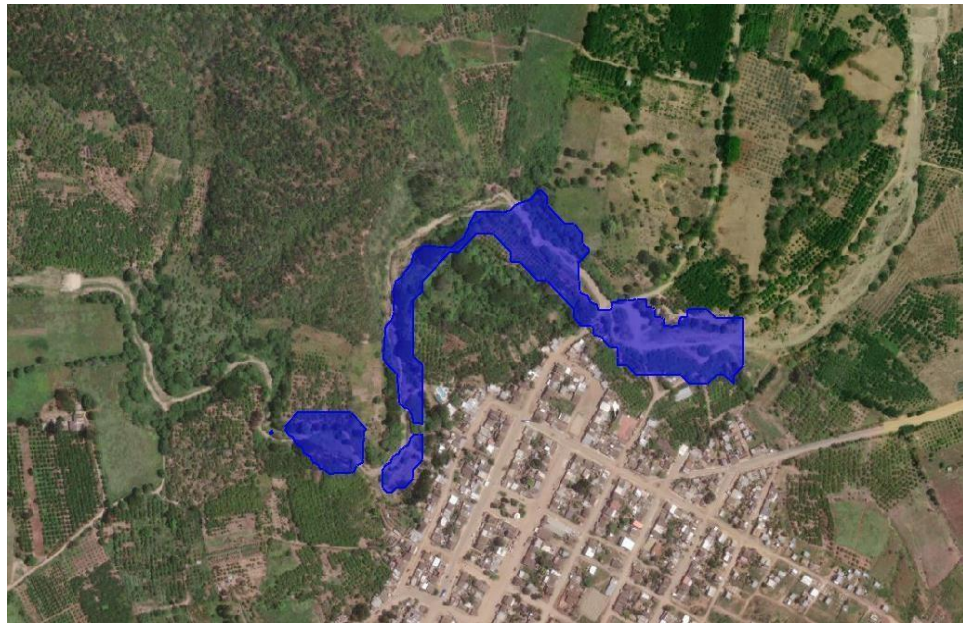
Nota. Generado con HEC-RAS.

4.2.2.2. Simulación Escenario 2 (Periodo de retorno a los 10 años).

En el segundo escenario de estudio se analizó el potencial de inundación del río Valdivia a un periodo de retorno de 10 años. Las figuras 13 y 14 muestran el comportamiento del río y el riesgo de inundación.

Figura 20

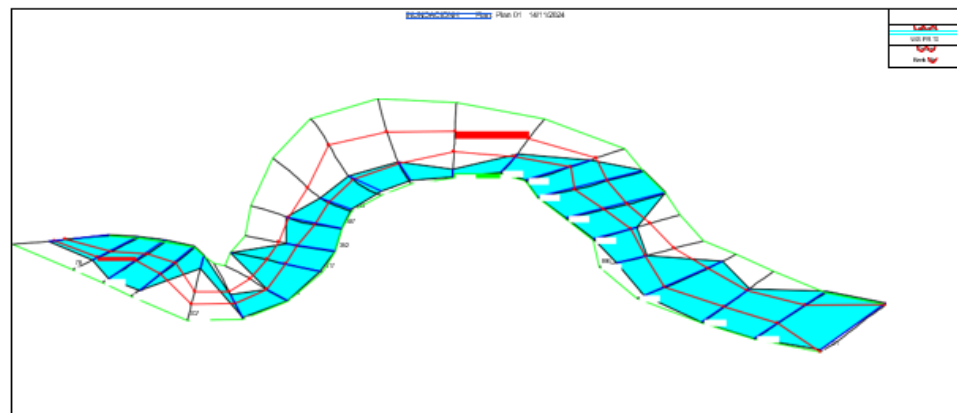
Simulación de Inundación del río Valdivia a un periodo de retorno de 10 años.



Nota. Generado con HEC-RAS.

Figura 21

Planta de inundación del río Valdivia a un periodo de retorno de 10 años.



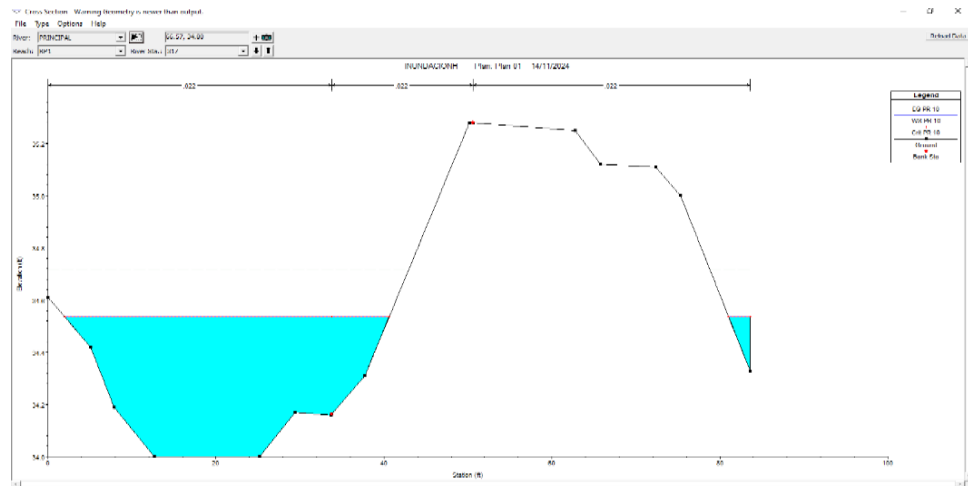
Nota. Generado con HEC-RAS.

En la figura 10 se observan los perfiles transversales de diferentes estaciones del río. Las elevaciones del nivel del agua (WS PR 10) se encuentran por encima del terreno natural en algunas secciones, lo que indica zonas susceptibles a desbordamientos en eventos de periodo de retorno de 10 años.

La distribución del flujo indica que el nivel del agua alcanza o sobrepasa el terreno en áreas con pendientes pronunciadas, lo que incrementa la velocidad del flujo y el riesgo de erosión en las márgenes. También, se identifican zonas de almacenamiento donde el flujo desacelera, favoreciendo la sedimentación y afectando la capacidad hidráulica.

Figura 22

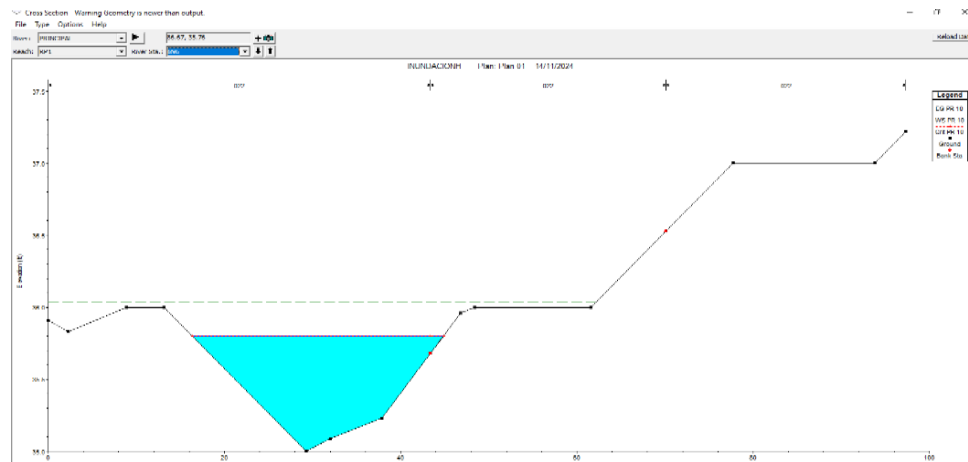
Inundación a los 10 años de río Valdivia en la sección 0+317.



Nota. Generado con HEC-RAS.

Figura 23

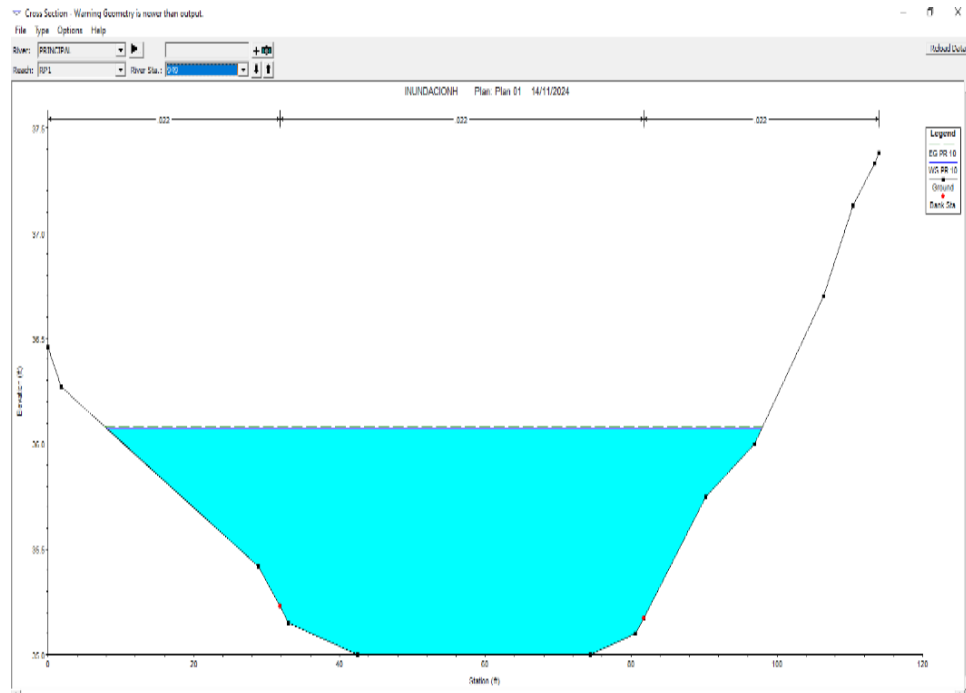
Inundación a los 10 años de río Valdivia en la sección 0+896.



Nota. Generado con HEC-RAS.

Figura 24

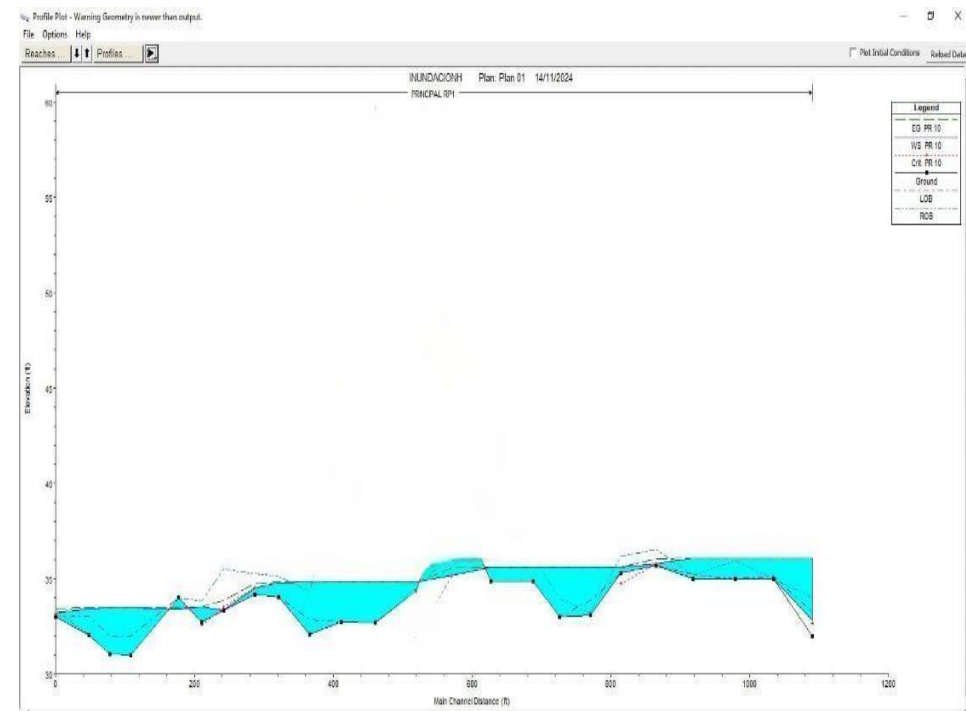
Inundación a los 10 años de río Valdivia en la sección 0+949.



Nota. Generado con HEC-RAS.

Figura 25

Perfil Longitudinal a los 10 años de río Valdivia.



Nota. Generado con HEC-RAS.

4.2.2.3. Simulación Escenario 3 (Periodo de retorno a los 100 años).

En el segundo escenario de estudio se analizó el potencial de inundación del río Valdivia a un periodo de retorno de 100 años. Las figuras 18 y 19 muestran el comportamiento del río y el riesgo de inundación.

Figura 26

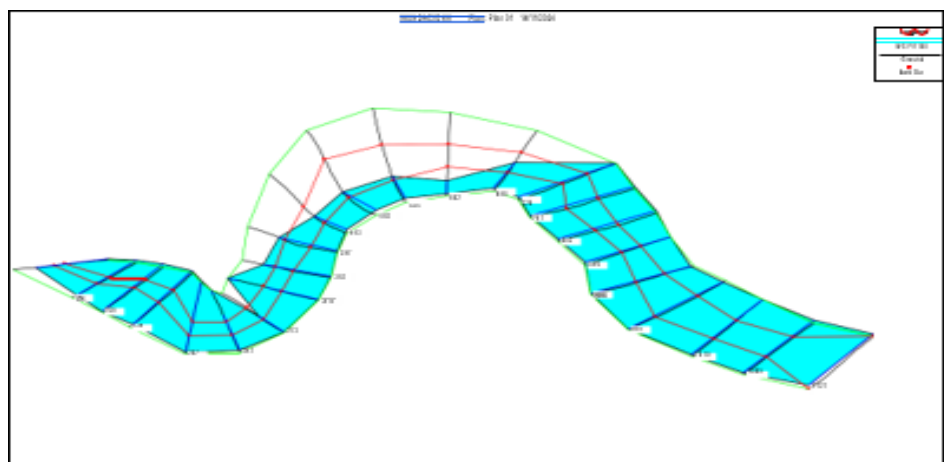
Simulación de Inundación del río Valdivia a un periodo de retorno de 100 años.



Nota. Generado con HEC-RAS.

Figura 27

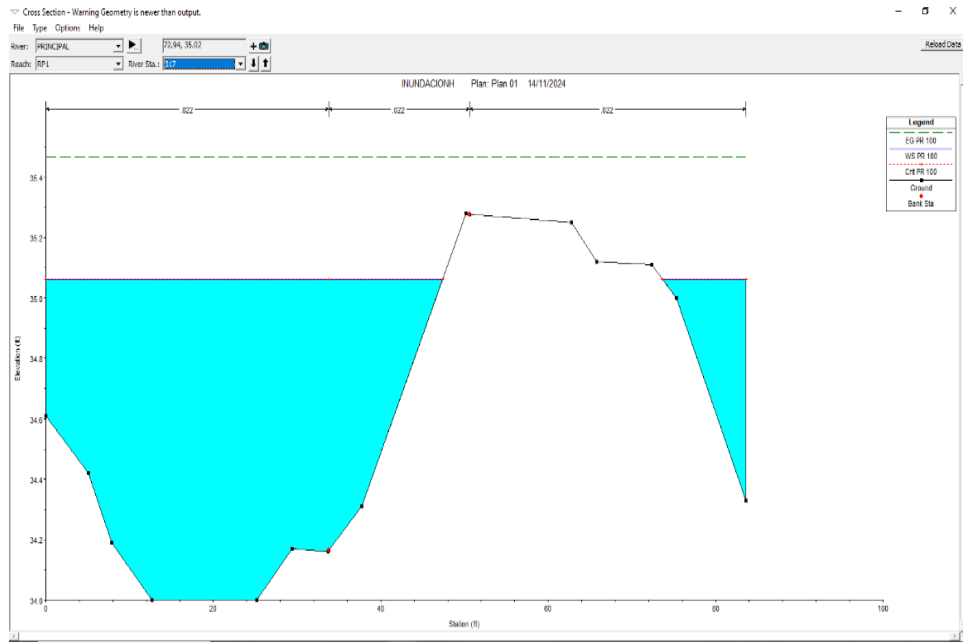
Plano de inundación del río Valdivia a un periodo de retorno de 100 años



Nota. Generado con HEC-RAS.

Figura 28

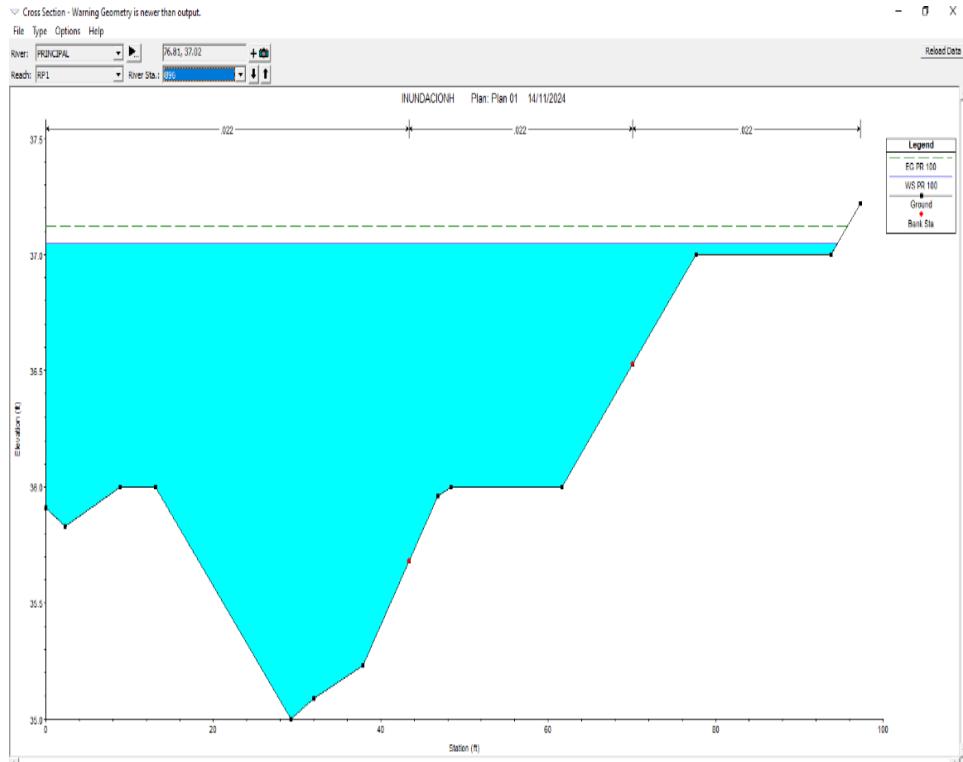
Inundación a los 100 años de río Valdivia en la sección 0+317.



Nota. Generado con HEC-RAS.

Figura 29

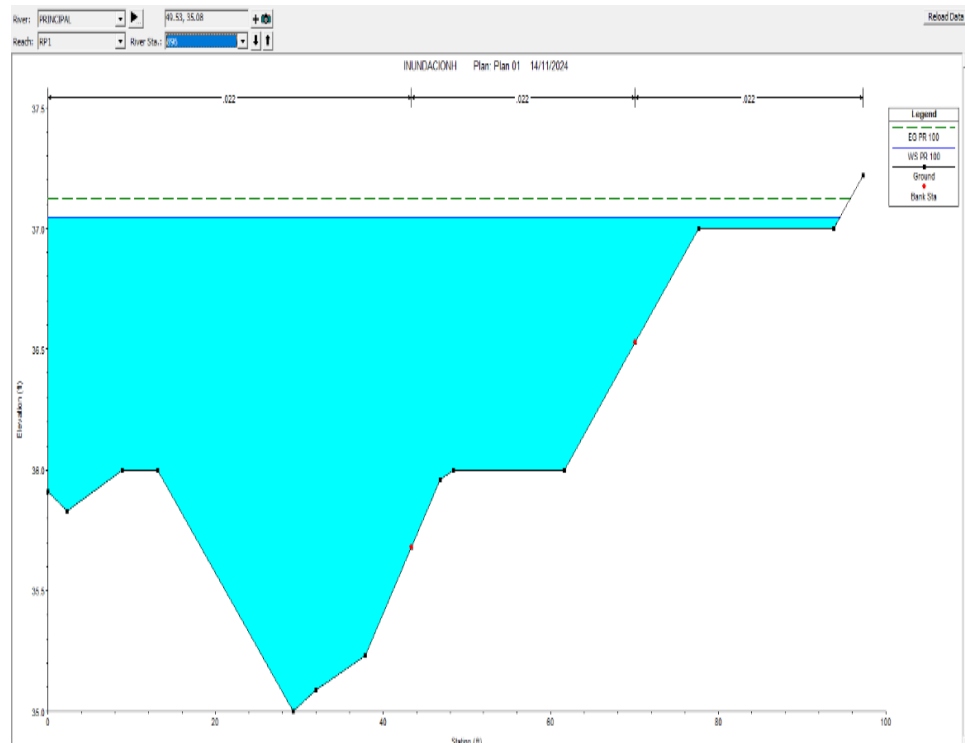
Inundación a los 100 años de río Valdivia en la sección 0+896.



Nota. Generado con HEC-RAS.

Figura 30

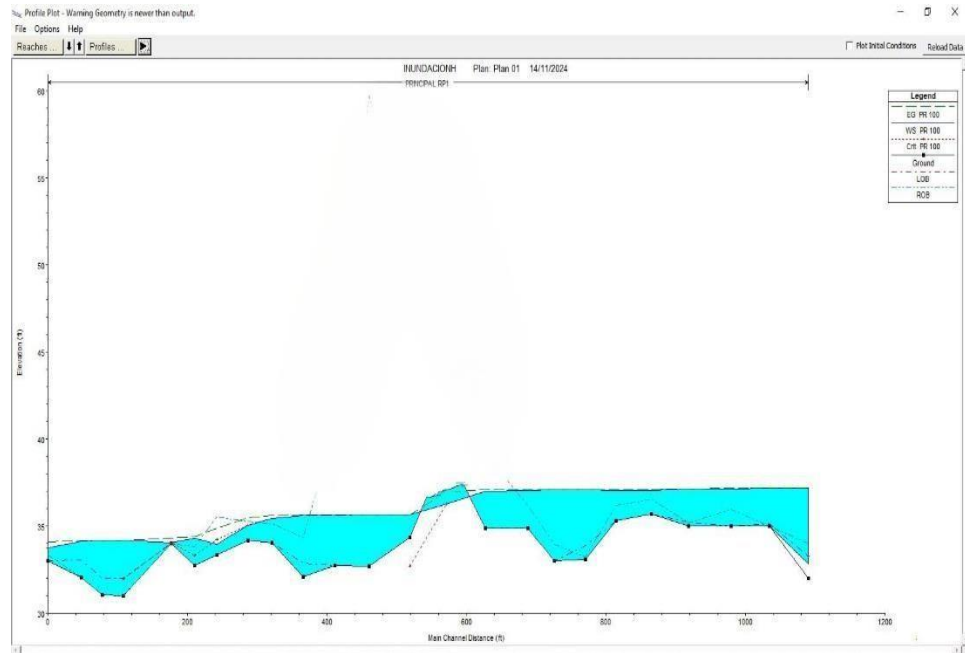
Inundación a los 100 años de río Valdivia en la sección 0+949.



Nota. Generado con HEC-RAS

Figura 31

Perfil Longitudinal a los 100 años de río Valdivia.



Nota. Generado con HEC-RAS

En este escenario, el nivel del agua a un periodo de retorno de 100 años (WS PR 100) se encuentra significativamente por encima de la cota del terreno natural, reafirmando el alto potencial de desbordamiento del río Valdivia ante un evento extremo. Se observa que, las secciones con pendientes pronunciadas presentan mayores velocidades del flujo, incrementando el riesgo de erosión y daños en los márgenes del río. Las estaciones de la figura muestran grandes inundaciones debido a la topografía plana de ciertos sectores y incapacidad del cauce para contener el volumen de agua asociado a un periodo de retorno de 100 años.

Estas condiciones sugieren un alto riesgo para la infraestructura de la comuna Barcelona, así también, afectaciones en la agricultura y ganadería del sector, poniendo en riesgo inclusive la vida humana.

4.2.3. Análisis de los caudales máximos de inundación del río Valdivia a un periodo de retorno de 5, 10 y 100 años.

En la tabla de resultados 9, se resumen los datos obtenidos de la simulación de inundación en el software de modelación hidráulica HEC-RAS. De los resultados se obtiene que el caudal promedio del río Valdivia a un periodo de retorno de 5 años corresponde a $123 \text{ m}^3/\text{s}$, a los 10 años un caudal promedio de $195 \text{ m}^3/\text{s}$ y a los 100 años un caudal promedio de $249 \text{ m}^3/\text{s}$.

Tabla 9

Resultados obtenidos de la simulación de inundación en el software de modelación hidráulica HEC-RAS.

Periodo De Retorno	Caudal	Velocidad Media (M/S)	T De Llegada (Min)
5 AÑOS	$123 \text{ m}^3/\text{s}$	2.23	64.96
10 AÑOS	$195 \text{ m}^3/\text{s}$	2.57	60.23
100 AÑOS	$249 \text{ m}^3/\text{s}$	2.80	55.27

Nota. Elaboración propia.

4.3. RESULTADOS DEL O.E3.: EVALUAR LA FACTIBILIDAD DE UN SISTEMA DE DEFENSA RIBEREÑA CON MURO DE GAVIONES EN LAS ZONAS CRÍTICAS DE INUNDACIÓN CONSIDERANDO LOS MÁXIMOS CAUDALES

4.3.1. Diseño de Muro de Gaviones.

Para el diseño del muro de gaviones se seleccionaron tres estaciones críticas correspondientes a las estaciones 0+317, 0+896 y 0+949 conforme a la simulación de inundación a periodos de retorno de 5, 10 y 100 años respectivamente que se muestran a continuación.

Figura 32

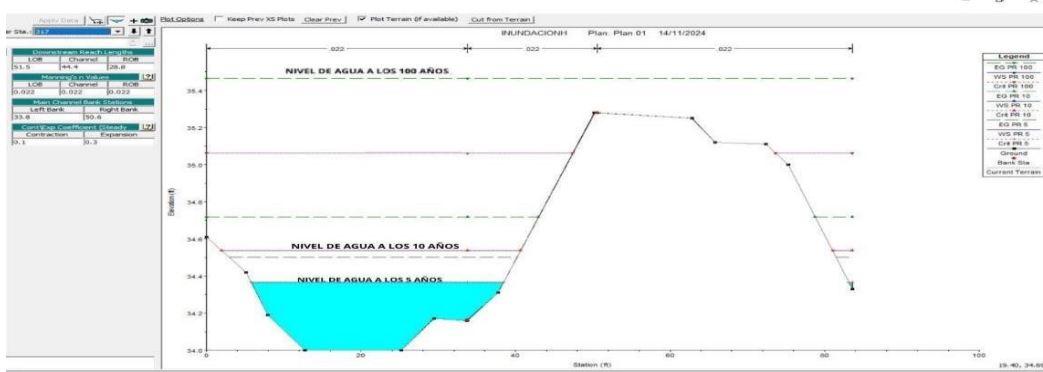
Secciones Transversales del río Valdivia.



Nota. Generado con HEC-RAS.

Figura 33

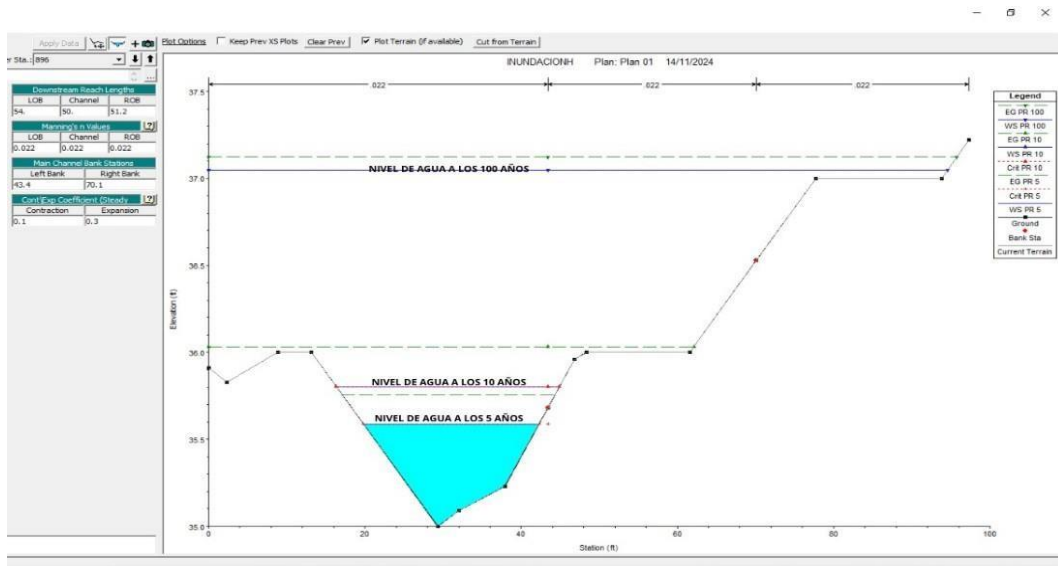
Simulación de inundación del río Valdivia en la estación 0+317.



Nota. Generado con HEC-RAS.

Figura 34

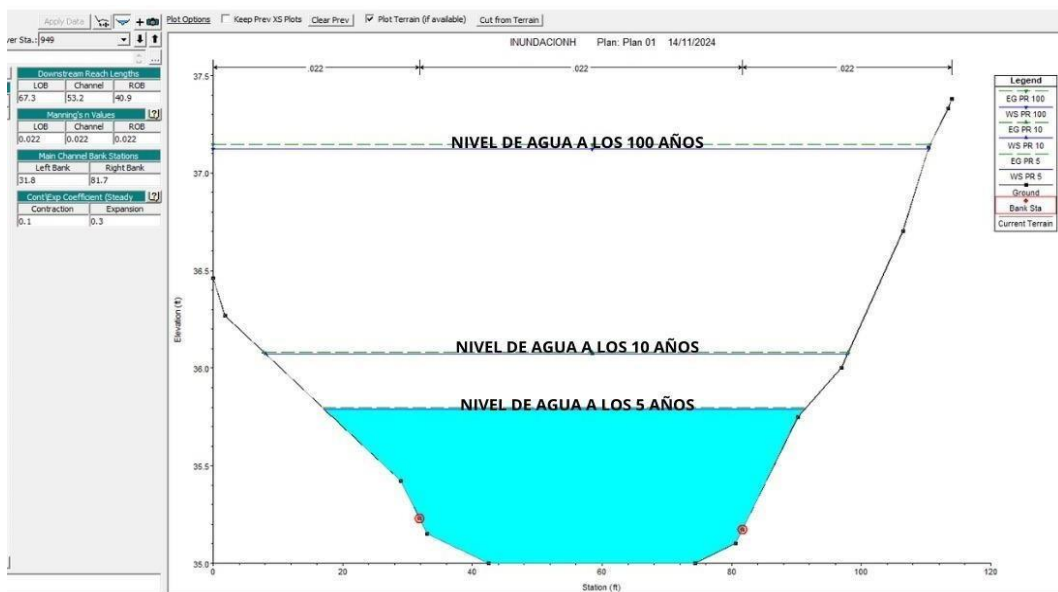
Simulación de inundación del río Valdivia en la estación 0+896.



Nota. Generado con HEC-RAS.

Figura 35

Simulación de inundación del río Valdivia en la estación 0+949.



Nota. Generado con HEC-RAS.

Para el análisis de la socavación de las estaciones críticas se empleó la fórmula de socavación general para suelos granulares de Lischtvan-Levediev (Maza, 1967) que establece lo siguiente:

$$y_s = \frac{a \cdot y^{1/3} \cdot \xi^{1/(1+\zeta)}}{0.68 \cdot D_m^{0.28} \cdot \beta \cdot \phi}$$

Donde:

y_s = Desnivel entre la superficie del agua, al perder la avenida y el fondo erosionado.

$D_m^{0.28}$ = Diámetro medio; si el material del fondo es friccionante.

φ = Coeficiente que depende de la concentración del material transportado en suspensión.

β = Coeficiente, depende del periodo de retorno del gasto del diseño.

y = Coeficiente que depende de $D_0.28$ según el tipo de material de fondo.

De acuerdo con el análisis de la simulación de inundación y los caudales críticos se ha optado por diseñar como defensa ribereña dos muros de gaviones de 1,50m y 2m de altura situados a lo largos de las zonas más críticas.

4.3.2. Análisis de muro: 1,50 m.

Tabla 10

Metodología de Verificación de estabilidad del muro.

Metodología de Verificación	Factores de Seguridad ASD
Cálculo de la presión activa de la tierra	Coulumb
Cálculo de la presión pasiva de la tierra	Caquot-Kerisel
Análisis sísmico	Mononobe-Okabe
Forma de la cuña de la tierra	Calcular Oblicuo
Excentricidad permitida	0,333

Nota. Elaboración propia.

Tabla 11

Coeficientes de reducción.

Nota. Elaboración propia.

<i>Coeficientes de reducción</i>		
Para fricción entre bloques	Y_f	1,50

Tabla 12*Factores de Seguridad.*

Factores de Seguridad		
Situación de diseño permanente		
Frente al vuelco	SF_o	1,50
Para resistencia al deslizamiento	SF_s	1,50
Para capacidad portante	SF_b	1,50
Para fuerza de malla	SF_n	1,50




Nota. Elaboración propia.**4.3.2.1. Materiales del muro.****Tabla 13***Material de bloques- relleno.*

Nombre	Y (KN/m)	φ	c
Material Nro. 1	18	30	0.0

Nota. Elaboración propia.**Tabla 14***Material de bloques- malla.*

Nombre	Resistencia sobresalir	Espacio de malla vertical (m)	Cap. Portante de diaclasa frontal
Material Nro. 1	40.0	1.0	40.0

Nota. Elaboración propia.**Tabla 15***Datos básicos del suelo.*

Nro.	Nombre	Trama	φ_{ef}	C_{ef}	Y	Y_z	δ
1	Relleno		30.0	5.0	20.0	10.0	10.0
2	Arena trazos de finos (s-f), denso		30.0	5.0	20.0	10.0	10.0
3	Arcilla arenosa (CS) consistencia fina		30.0	5.0	20.0	10.0	10.0

Nota. Elaboración propia.

4.3.3. Datos Generales del muro de Gaviones.

Pendiente del Gavión	= 0.0 m
Altura completa	=1.50 m
Volumen completo del muro	= 1.50 m ³ /m

4.3.4. Datos del suelo.

4.3.4.1. Relleno.

Peso unitario:	$\gamma = 20.00 \text{ kN/m}^3$
Estado de tensión:	efectivo
Ángulo de fricción interna:	= 30.00 °
Cohesión de suelo	= 5.00 kPa
Ángulo de fricción	= 10.00
Estructura - suelo:	
Suelo:	granular
Peso unitario de suelo saturado:	$\gamma_{\text{sat}} = 20.00 \text{ kN/m}^3$

4.3.4.2. Arena de trazos de finos (S-F), denso.

Peso unitario:	$\gamma = 20.00 \text{ kN/m}^3$
Estado de tensión:	efectivo
Angulo de fricción interna:	30.00°
Cohesión de suelo:	5.00 kPa
Angulo de fricción:	10,0 °
Estructura-suelo:	
Suelo:	granular
Peso unitario de suelo saturado:	$\gamma_{\text{sat}} = 20.00 \text{ kN/m}^3$

4.3.4.3. Arcilla arenosa (CS), consistencia firme.

Peso unitario:	$\gamma = 20.00 \text{ kN/m}^3$
Estado de tensión:	efectivo
Ángulo de fricción interna:	30.00°
Cohesión de suelo:	5,00 kPa
Ángulo de fricción:	10.00°

Estructura-suelo

Suelo: granular

Peso unitario de suelo saturado: $\gamma_{\text{sat}} = 20.00 \text{ kN/m}^3$

4.3.5. Análisis de configuración del muro de gaviones.

Cimentación:

Tipo de cimentación: Suelo desde perfil geológico

Perfil de terreno: Detrás de estructura el terreno es plano.

Influencia del agua: El nivel freático está ubicado debajo de la estructura.

Resistencia en la cara frontal de la estructura

- ✓ Resistencia en la cara frontal de la estructura en reposo
- ✓ Suelo sobre la cara frontal de la estructura: arena de trazos de finos (S-F), denso
- ✓ Espesor del suelo en la cara frontal de la estructura $h = 60\text{m}$
- ✓ El terreno en el frente de la estructura es plano.

Configuraciones generales: la presión mínima se considera como:

$$\sigma_{\text{adm}} = 0.200 z$$

Configuraciones de la etapa de construcción: situación de diseño: permanente

Reducción de suelo /del ángulo de fricción suelo: reduce a 2/3 (AASHTO)

4.3.6. Verificación de estabilidad del muro.

Tabla 16

Fuerzas que actúan sobre la construcción.

Nombre	Fhor [kN/m]	Pto.Apl.	Fvert [kN/m]	Pto.Apl.	Diseño Coeficiente
Peso - Muro	0.00	-0.58	27.00	0.92	1.00
Resistencia del frente	-1.80	-0.20	0.00	-0.25	1.00
Presión activa	4.50	-0.50	0.22	1.50	1.00

Nota. Elaboración propia.

4.3.7. Verificación de la estabilidad de vuelco.

Momento estabilizador $M_{res} =$	25.08 kNm/m
Momento de vuelco $M_{ov} =$	1.89 kNm/m
Factor de seguridad =	13.27 > 1.50
Muro para vuelco	ES SATISFATORIA

4.3.8. Verificación del deslizamiento.

Fuerza horizontal resistente $H_{es} =$	23.22 kN/m
Fuerza horizontal activa $H_{et} =$	2.70 kN/m
Factor de seguridad =	8.60 > 1.50
Muro para deslizamiento	ES SATISFATORIA
Verificación completa -	MURO ES SATISFATORIA

Tabla 17

Capacidad Portante y Carga de Diseño en el Centro del fondo de la Zapata.

Nro.	Momento [kNm/m]	Fuerza Normal [kN/m]	Resistencia al corte [kN/m]	Excentricidad	Tensión [kPa]
1	-2.77	27.23	2.70	0.000	18.15

Nota. Elaboración propia.

Figura 36

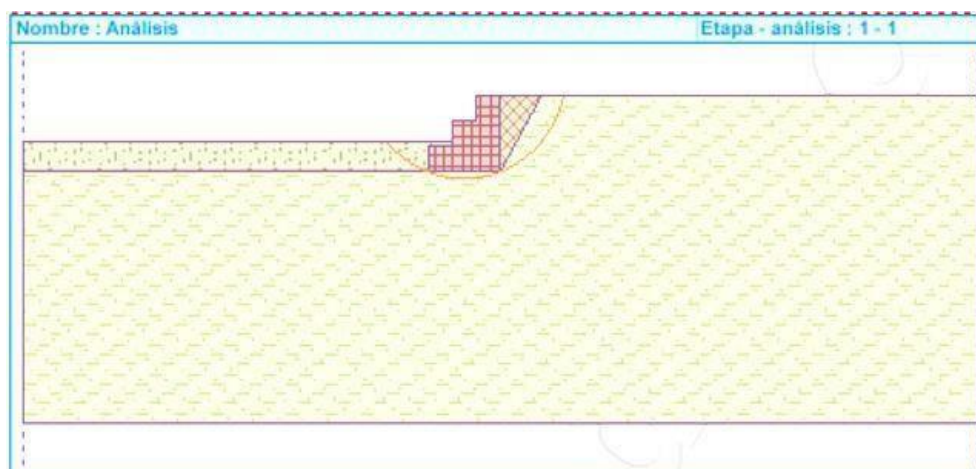
Asignación y Superficie.

Nro.	Posición de superficie	Coordenadas de puntos de superficie [m]				Asignado suelo
		x	z	x	z	
1		-1.00	-1.00	-1.50	-1.00	Material de la estructura
		-1.50	-1.50	0.00	-1.50	
		0.00	-1.00	0.00	-0.50	
		0.00	0.00	-0.50	0.00	
		-0.50	-0.50	-1.00	-0.50	
2		-1.00	-0.90			RELLENO
		0.87	0.00	0.00	0.00	
		0.00	-0.50	0.00	-1.00	
3		0.00	-1.50			Arena de trazos de finos (S-F), denso
		-1.50	-1.50	-1.50	-1.00	
		-1.00	-1.00	-1.00	-0.90	
		-10.00	-0.90	-10.00	-1.50	
4		-10.00	-1.50	-10.00	-6.50	Arcilla arenosa (CS), consistencia firme
		-10.00	-6.50	10.00	0.00	
		0.87	0.00	0.00	-1.50	
		-1.50	-1.50			

Nota. Elaboración propia.

Figura 37

Análisis de estabilidad del muro.



Nota. Elaboración propia.

4.3.9. Análisis de muro: 2,00 m.

Tabla 18

Metodología de Verificación de estabilidad del muro.

Metodología de Verificación	Factores de Seguridad ASD
Cálculo de la presión activa de la tierra	Coulumb
Cálculo de la presión pasiva de la tierra	Caquot-Kerisel
Análisis sísmico	Mononobe-Okabe
Forma de la cuña de la tierra	Calcular Oblicuo
Excentricidad permitida	0,333

Nota. Elaboración propia.

Tabla 19

Factores de Seguridad.

Factores de Seguridad		
Situación de diseño permanente		
Frente al vuelco	SF_o	1,50
Para resistencia al deslizamiento	SF_s	1,50
Para capacidad portante	SF_b	1,50
Para fuerza de malla	SF_n	1,50

Nota. Elaboración propia.

Tabla 20*Coefficientes de reducción.*

Coefficientes de reducción		
Para fricción entre bloques	Y_f	1,50

Nota. Elaboración propia.**4.3.9.1. Materiales del muro.****Tabla 21***Material de bloques- relleno.*

Nombre	Y (KN/m)	φ	c
Material Nro. 1	18	30	0.0

Nota. Elaboración propia.**Tabla 22***Material de bloques- malla.*

Nombre	Resistencia sobresalir	Espacio de malla vertical (m)	Cap. Portante de diaclasa frontal
Material Nro. 1	40.0	1.0	40.0

Nota. Elaboración propia**Tabla 23***Geometría de la estructura.*

Nro.	Ancho b(m)	Altura h(m)	Corrimiento a (m)	Material
4	0.50	0.50	0.50	Material Nro. 1
3	1.00	0.50	0.50	Material Nro. 1
2	1.50	0.50	0.50	Material Nro. 1
1	2.00	0.50	-	Material Nro. 1

Nota. Elaboración propia**4.3.10. Datos Generales del muro de Gaviones.**

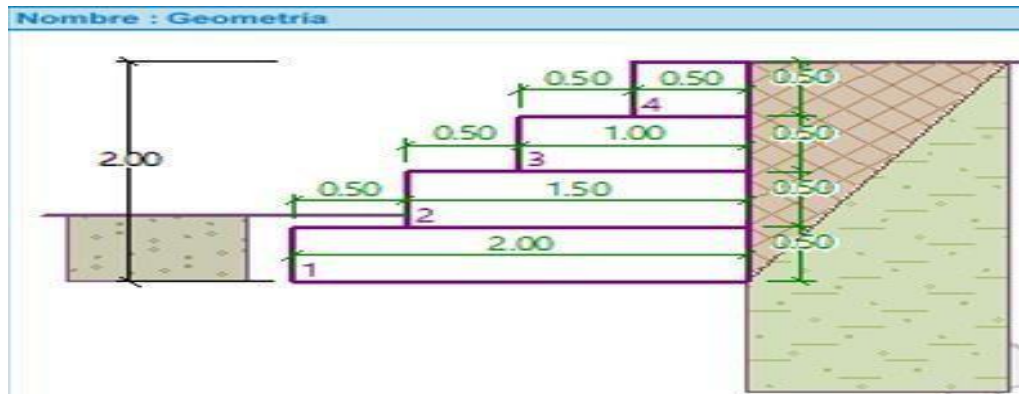
Pendiente del Gavión= 0.0 m

Altura completa=2.00 m

Volumen completo del muro = 2.50 m³/m

Figura 38

Geometría del muro de gaviones.



Nota. Tomado de GEO5

Tabla 24

Datos básicos del suelo.

Nro.	Nombre	Trama	φ_{ef}	C_{ef}	Y	Y_s	δ
1	Relleno		30.0	5.0	20.0	10.0	10.0
2	Arena trazos de finos (s-f), denso		30.0	5.0	20.0	10.0	10.0
3	Arcilla arenosa (CS) consistencia fina		30.0	5.0	20.0	10.0	10.0

Nota. Elaboración propia

4.3.11. Datos del suelo.

4.3.11.1. Relleno.

Peso unitario:	$\gamma = 20.00 \text{ kN/m}^3$
Estado de tensión:	efectivo
Ángulo de fricción interna:	$= 30.00^\circ$
Cohesión de suelo	$= 5.00 \text{ kPa}$
Ángulo de fricción	$= 10.00$

Estructura - suelo:

Suelo: granular

Peso unitario de suelo saturado: $\gamma_{\text{sat}} = 20.00 \text{ kN/m}^3$

4.3.11.2. Arena de trazos de finos (S-F), denso.

Peso unitario: $\gamma = 20.00 \text{ kN/m}^3$

Estado de tensión: efectivo

Angulo de fricción interna: 30.00°

Cohesión de suelo: 5.00 kPa

Angulo de fricción: $10,0^\circ$

Estructura-suelo:

Suelo: granular

Peso unitario de suelo saturado: $\gamma_{\text{sat}} = 20.00 \text{ kN/m}^3$

4.3.11.3. Arcilla arenosa (CS), consistencia firme.

Peso unitario: $\gamma = 20.00 \text{ kN/m}^3$

Estado de tensión: efectivo

Ángulo de fricción interna: 30.00°

Cohesión de suelo: $5,00 \text{ kPa}$

Ángulo de fricción: 10.00°

Estructura-suelo

Suelo: granular

Peso unitario de suelo saturado: $\gamma_{\text{sat}} = 20.00 \text{ kN/m}^3$

4.3.12. Análisis de configuración del muro de gaviones.

Cimentación: Tipo de cimentación: suelo desde perfil geológico

Perfil de terreno: Detrás de la estructura el terreno es plano.

Influencia del agua: El nivel freático está ubicado debajo de la estructura.

Resistencia en la cara frontal de la estructura

✓ Resistencia en la cara frontal de la estructura en reposo

- ✓ Suelo sobre la cara frontal de la estructura: arena de trazos de finos (S-F), denso
- ✓ Espesor del suelo en la cara frontal de la estructura h=60m
- ✓ El terreno en el frente de la estructura es plano.

Configuraciones generales: la presión mínima se considera como:
 $\sigma_{amin}=0.20\sigma_z$.

Configuraciones de la etapa de construcción: situación de diseño: permanente.

Reducción de suelo /del ángulo de fricción suelo: reduce a 2/3 (AASHTO)

4.3.13. Verificación de estabilidad del muro.

Tabla 25

Fuerzas que actúan sobre la construcción.

Nombre	Fhor [kN/m]	Pto.Apl.	Fvert [kN/m]	Pto.Apl.	Diseño Coeficiente
Peso - Muro	0.00	-0.75	45.00	1.25	1.00
Resistencia del frente	-1.80	-0.20	0.00	-0.25	1.00
Presión activa	8.00	-0.67	0.70	2.00	1.00

Nota. Elaboración propia

4.3.14. Verificación de la estabilidad de vuelco.

Momento estabilizador $M_{res} =$ 57.668 kNm/m

Momento de vuelco $M_{our} =$ 4.97 kNm/m

Factor de seguridad = 11.59 > 1.50

Muro para vuelco ES SATISFACTORIA

4.3.15. Verificación del deslizamiento.

Fuerza horizontal resistente $H_{es} = 36.39 \text{ kN/m}$

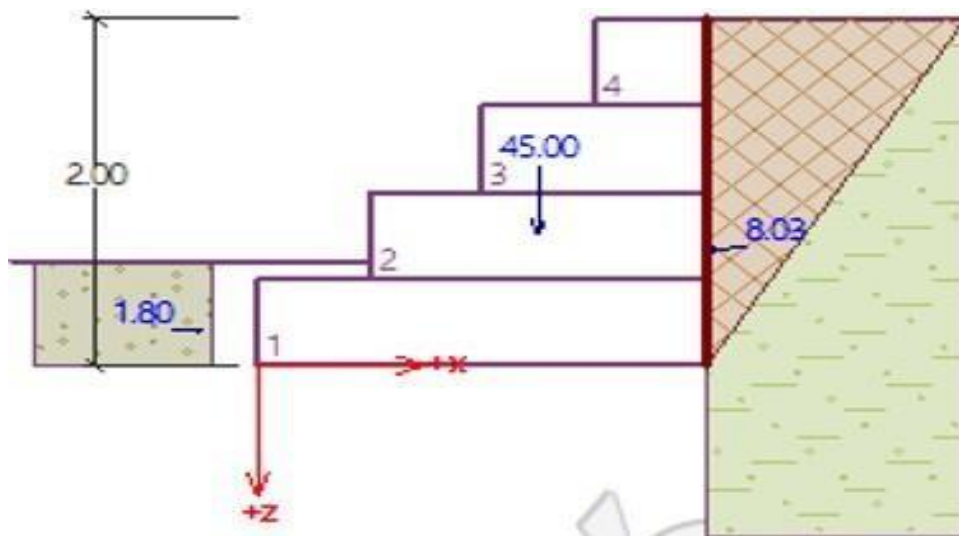
Fuerza horizontal activa $H_{et} = 6.20 \text{ kN/m}$

Factor de seguridad = $5.87 > 1.50$

Muro para deslizamiento **ES SATISFACTORIA**

Figura 39

Verificación de Equilibrio.



Nota. Elaboración propia

Figura 40

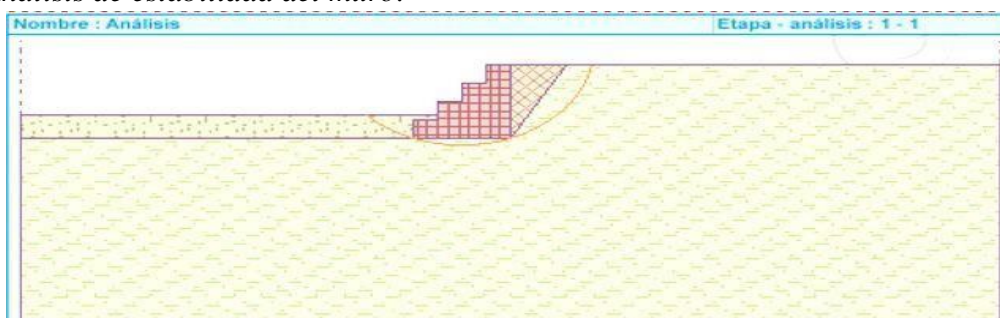
Asignación y Superficie.

Nro.	Posición de superficie	Coordenadas de puntos de superficie [m]				Asignado suelo
		x	z	x	z	
1		-1.50	-1.50	-2.00	-1.50	Material de la estructura
		-2.00	-2.00	0.00	-2.00	
		0.00	-1.50	0.00	-1.00	
		0.00	-0.50	0.00	0.00	
		-0.50	0.00	-0.50	-0.50	
2		-1.00	-0.50	-1.00	-1.00	RELLENO
		-1.50	-1.00	-1.50	-1.40	
		1.15	0.00	0.00	0.00	
3		0.00	-0.50	0.00	-1.00	Arena de trazos de finos (S-F), denso
		0.00	-1.50	0.00	-2.00	
		-2.00	-2.00	-2.00	-1.50	
4		-1.50	-1.50	-1.50	-1.40	Arcilla arenosa (CS), consistencia firme
		-10.00	-1.40	-10.00	-2.00	
		-10.00	-2.00	-10.00	-7.00	
		10.00	-7.00	10.00	0.00	
		1.15	0.00	0.00	-2.00	

Nota. Elaboración propia

Figura 41

Análisis de estabilidad del muro.



Nota. Elaboración propia

4.3.16. Presupuesto.

Para el análisis presupuestario del muro de gaviones propuesto como sistema de defensa ribereña se han considerado las siguientes disposiciones técnicas:

- ✓ Gaviones de 2000 x 1000 x 1000 mm, fabricados con malla hexagonal de doble torsión de 50 x 70 mm, elaborada con alambre de acero galvanizado de 2,0 mm de diámetro.
- ✓ El relleno se realiza mediante medios mecánicos, utilizando cantos rodados con una granulometría entre 70 y 250 mm.
- ✓ El montaje y desmontaje de un sistema de encofrado para prevenir deformaciones durante el llenado y garantizar tanto la alineación como el aplomado de la estructura y la instalación de grapas de acero para la correcta fijación de los gaviones.

Se elaboró un Análisis de Precios Unitarios (APU), incluido en los anexos, con el propósito de determinar el costo total por metro cúbico del muro propuesto. Para ello, se consideraron los costos referenciales de mano de obra establecidos por la Contraloría General del Estado y se obtuvieron cotizaciones de varias casas comerciales para definir el costo de los materiales. A continuación, se detalla el costo del muro propuesto en la tabla adjunta.

Tabla 26

Análisis presupuestario del muro de gaviones propuesto.

	Área	Longitud	Volumen gavión	Precio Unitario	Total
Muro de Gavión	1,5-2	1143	2257,5	\$76,37	\$195.478,88

Nota. El precio incluye la utilización de geotextil

CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

En cumplimiento del primer objetivo de la investigación, se concluye que el levantamiento topográfico efectuado en la comuna Barcelona, con curvas de nivel cada 0.50 m y la caracterización de elementos clave del entorno permitieron identificar que las pendientes pronunciadas representan un riesgo crítico, al facilitar la escorrentía acelerada y aumentar la probabilidad de deslizamientos que afectan principalmente a los lotes de menor altitud. Asimismo, se identificó la necesidad de implementar estructuras de contención en las áreas periféricas, especialmente en las colindantes con los cauces, para mitigar riesgos asociados al desbordamiento y la saturación del terreno, garantizando así un manejo adecuado de las condiciones hidráulicas del sector.

En relación con el segundo objetivo de investigación, los resultados obtenidos a partir de los diferentes escenarios de inundación. El análisis de los caudales máximos de inundación del río Valdivia señala que los caudales promedio para periodos de retorno de 5, 10 y 100 años los valores son de 123 m³/s, 195 m³/s y 249m³/s, respectivamente.

En relación con el tercer objetivo de investigación, tras evaluar la factibilidad de un sistema de defensa ribereña con muro de gaviones en las zonas críticas de inundación, se ha propuesto el diseño de dos muros de gaviones de 1,50 y 2,00 m, respectivamente para cubrir la zona más crítica y propensa a inundación del río Valdivia, el costo estimado de las defensas ribereñas es de \$195.478,88.

5.2. RECOMENDACIONES

Se recomienda realizar un diseño topográfico integral que contemple la redistribución de las pendientes en las áreas críticas de la comuna Barcelona, con el objetivo de minimizar la aceleración de la escorrentía superficial. Este diseño

debe incluir la definición de terrazas o plataformas escalonadas en las zonas de mayor inclinación y la planificación de taludes estabilizados para prevenir deslizamientos. Asimismo, es esencial que el diseño incorpore curvas de nivel que optimicen el manejo del agua, canalizando los flujos hacia sistemas de drenaje estratégicamente ubicados, garantizando así un control eficiente de las condiciones hidráulicas del sector.

Dado el aumento de los caudales conforme se incrementa el periodo de retorno, se recomienda la implementación de barreras de protección adicionales, como taludes reforzados y muros de gaviones en las zonas donde los caudales son más altos. Estas áreas, con mayor probabilidad de enfrentar flujos extremos durante eventos de lluvias intensas, deben contar con medidas preventivas adecuadas para reducir el riesgo de inundación. Además, se sugiere un monitoreo constante de los caudales y un ajuste de las infraestructuras conforme se registren cambios en los patrones de lluvia y escurrimiento y que se rellenen las zonas bajas identificadas.

Se recomienda continuar con la implementación y evaluación del sistema de defensa ribereña con muro de gaviones, asegurando su correcto mantenimiento y monitoreo a lo largo del tiempo. El diseño del muro debe ser complementado con un plan de acción ante eventos extremos, incluyendo medidas de refuerzo en puntos críticos.

También es importante considerar la inclusión de tecnologías avanzadas de monitoreo en tiempo real para evaluar la efectividad de las estructuras de contención durante eventos de lluvia.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguilar, J. M. (2018). *Diseño hidráulico de sistemas de drenaje pluvial en zonas urbanas*. Editorial Universitaria.
- Almeida, P. R., & Gómez, L. F. (2019). Impacto ambiental de los sistemas de drenaje pluvial en comunidades costeras. *Revista de Ingeniería Ambiental*, 15(3), 45-60.
- Arroyo, S. T. (2017). *Evaluación de la infraestructura de drenaje pluvial en la provincia de Santa Elena* (Tesis de maestría). Universidad Estatal Península de Santa Elena.
- Aguas de Manta. (2017). *Normas y procedimientos de diseño 4.1. Identificación de normas y procedimientos de diseño*.
- Benítez, M. A. (2020). Modelación hidrológica para el diseño de drenajes pluviales en áreas rurales. *Ingeniería y Desarrollo*, 28(2), 75-89.
- Bucherie, A., Hultquist, C., Adamo, S., Neely, C., Ayala, F., Bazo, J., & Kruczkiewicz, A. (2022). A comparison of social vulnerability indices specific to flooding in Ecuador: Principal component analysis (PCA) and expert knowledge. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 73, 102897. <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2022.102897>
- Cabrera, L. J., & Torres, E. M. (2016). Sistemas sostenibles de drenaje urbano: Una revisión crítica. *Revista de Tecnología y Sociedad*, 10(1), 33-48.
- Calderón, F. G. (2015). Análisis de costos en proyectos de drenaje pluvial en comunidades rurales. *Economía y Gestión*, 22(4), 101-115.
- amacho, R. P. (2018). Implementación de sistemas de drenaje pluvial en zonas costeras: Caso de estudio en Ecuador. *Revista de Ingeniería Civil*, 12(2), 55-70.
- Carpio, D. L. (2019). *Estudio de prefactibilidad para sistemas de drenaje pluvial en áreas urbanas* (Tesis de licenciatura). Universidad de Guayaquil.
- Castillo, M. E., & López, J. A. (2017). Evaluación de riesgos por inundaciones en

la comuna Barcelona, provincia de Santa Elena. *Revista Geográfica*, 14(3), 88-102.

Chávez, A. R. (2020). Diseño y planificación de sistemas de drenaje pluvial en comunidades costeras ecuatorianas. *Revista de Planificación Urbana*, 18(1), 22-37.

Cogato, A., Cei, L., Marinello, F., & Pezzuolo, A. (2023). The role of buildings in rural areas: Trends, challenges, and innovations for sustainable development. *Agronomy*, 13(8), 1961. <https://doi.org/10.3390/agronomy13081961>

De Almeida Barros, P. L. (2015). *Diseño de muros de gaviones*.

De la Cruz e Sousa, R., & Miranda, O. L. (2018). Incorporating wetlands in hydrologic and hydraulic models for flood zone delineation: An application to Durán, Ecuador. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 28, 375–

383. <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2018.03.023>

Díaz, P. S. (2016). Impacto del cambio climático en la eficiencia de los sistemas de drenaje pluvial. *Clima y Sociedad*, 9(2), 66-80.

EMAAP. (2009). *Normas de alcantarillado EMAAP-Quito*.

Espinoza, G. H., & Martínez, V. C. (2018). Tecnologías innovadoras en el manejo de aguas pluviales en zonas rurales. *Revista de Tecnología Ambiental*, 11(4), 49-63.

Fernández, L. M. (2017). *Análisis de la capacidad de drenaje pluvial en la comuna Barcelona* (Tesis de maestría). Universidad Técnica de Manabí.

García Ramírez, Y. (2019). *Cómo redactar una tesis en ingeniería civil* (Primera ed.).

- García Ramírez, Y. (2021). *Guía para la elaboración de planes de tesis en ingeniería civil* (Primera ed.). U. T. P. de Loja.
<https://www.researchgate.net>
- Gobierno Autónomo Descentralizado Provincial de Santa Elena. (2023). *Plan de desarrollo y ordenamiento territorial: Provincia de Santa Elena*.
- Gómez, S. P., & Herrera, J. F. (2016). Planificación urbana y sistemas de drenaje pluvial: Un enfoque integral. *Revista de Urbanismo*, 13(2), 40-55.
- Hernández, M. J. (2020). Gestión de aguas pluviales en comunidades rurales de Ecuador. *Revista de Recursos Hídricos*, 19(1), 58-73.
- INEN. (1997). *Code of practice for the design of running water supply systems, excreta and liquid residues disposal in rural areas* (Primera ed.).
<https://doi.org/10.07-610>
- INEN. (2015). *Normas y criterios de diseño para acueducto y alcantarillado en la ciudad de Santiago de Guayaquil*. Volumen 3: Normas para el diseño de redes de alcantarillado.
- Jiménez, F. A., & Ortiz, C. D. (2017). Evaluación de la infraestructura de drenaje pluvial en zonas costeras. *Revista de Ingeniería y Construcción*, 15(3), 95-11

ANEXOS

Evidencias fotográficas de visita al sitio para toma de mediciones y evaluación de la topografía del sector

Anexo 1

Levantamiento Topográfico.



Nota. Elaboración propia.

Anexo 2

Área de estudio.



Nota. Elaboración propia.

Anexo 3

Área de estudio.



Nota. Elaboración propia.

Anexo 4

Levantamiento Topográfico.



Nota. Elaboración propia.

Anexo 5

Análisis Precio Unitario.

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS					
UBICACIÓN:					
RUBRO: MURO DE CAYONES.		UNIDAD		m ³	
No.					
M. EQUIPOS	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
Arrendamiento motor (B/C)					1,11
Consumo de agua	0,1	56,00	5,60	1,00	5,60
Salvata B/C	0,1	25,00	2,50	1,00	2,50
-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-
SUBTOTAL M					9,21
M. MANO DE OBRAS	CANTIDAD	JORNAL/HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
Peón	4,00	4,14	16,56	0,75	12,86
Abrill	1,00	4,19	0,39	0,75	0,09
Mantenimiento y ajuste de otros cables	1,00	4,02	4,02	0,75	3,38
Costo de salquero	0,10	0,08	0,01	0,75	0,44
Operador de excavadora	0,10	4,02	0,47	0,75	0,34
-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-
SUBTOTAL N					32,39
Q. MATERIALES	UNIDAD	PRECIO UNF.	CANTIDAD	COSTO	
Cable 2x11 m de cable de tipo tenon, hexagonal, de 20174 m m de diámetro de acero galvanizado de 3 m m de diámetro, para grúa	-	40,00	0,50	20,00	
Alambres galvanizados #10	Kg	2,17	1,00	2,17	
Fierros de (aproximadamente T8 y 250 m m)	m ³	9,88	1,05	9,88	
-	-	-	-	-	
-	-	-	-	-	
-	-	-	-	-	
-	-	-	-	-	
SUBTOTAL O				32,14	
P. TRANSPORTE	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO	
-	-	-	-	-	
SUBTOTAL P				0,00	
Q- TOTAL COSTO DIRECTO (MHO+P)					63,45
R- INDIRECTOS Y UTILIDADES 20,00%					12,70
S- OBRAS INDIRECTAS 0%					
T- COSTO TOTAL DEL RUBRO (QR)					76,15
U- VALOR ORDINADO					76,15
OBSERVACIONES ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN IVA					

Nota. Elaboración propia.

Anexo 6

Análisis Precio Unitario.

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS						
UBICACIÓN:						
RUBRO:	PROVISIÓN E INSTALACIÓN DE GEO TEXTIL NT 3000				UNIDAD	m ²
Nº:	13					
M.- EQUIPOS		CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
		A	B	C=A*B	R	D=C/R
Materiales Menor 5% (M.C)			-	-	-	0,000
			-	-	-	-
			-	-	-	-
			-	-	-	-
			-	-	-	-
			-	-	-	-
			-	-	-	-
			-	-	-	-
SUBTOTAL M						0,0000
N.- MANDO DE OBRA		CANTIDAD	JORNAL HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
		A	B	C=A*B	R	D=C/R
Peón		1,00	4,14	4,14	0,20000	0,83000
Maestro mayor de ejecución de obra civil		1,00	4,65	4,65	0,20000	0,93000
-		-	-	-	-	-
-		-	-	-	-	-
-		-	-	-	-	-
-		-	-	-	-	-
-		-	-	-	-	-
-		-	-	-	-	-
SUBTOTAL N						1,76000
O.- MATERIALES		UNIDAD	PRECIO UNIT.	CANTIDAD	COSTO	
			A	B	C=A*B	
Geotextil NT 3000		m ²	3,00	1,00	3,00000	
-			-	-	-	
-			-	-	-	
-			-	-	-	
-			-	-	-	
-			-	-	-	
-			-	-	-	
-			-	-	-	
SUBTOTAL O						3,00000
P.- TRANSPORTE		UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO	
			A	B	C=A*B	
-		-	-	-	-	
SUBTOTAL P						0,000
Q.- TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)						4,89000
R.- INDIRECTOS Y UTILIDADES						\$ 0,910
S.- OTROS INDIRECTOS						0%
T.- COSTO TOTAL DEL RUBRO (Q+R)						\$ 5,800
U.- VALOR OPERADO						\$ 5,800

Nota. Elaboración propia.