



**Diseño de obras de protección para inundaciones de la parroquia Calderón del cantón  
Portoviejo provincia de Manabí**

Beltrán Valarezo, Jhoan Alexander y Cano Vera, Daniela Fernanda

Departamento de Ciencias de la Tierra y de la Construcción

Carrera de Ingeniería Civil

Trabajo de integración curricular, previo a la obtención del título de Ingeniero Civil

Ing. Bolaños Guerrón, Darío Roberto Ph.D.

30 de agosto de 2023



## PROYECTO DE TITULACIÓN\_BELTRAN\_...

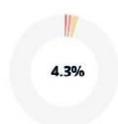
### Scan details

Scan time:  
August 21th, 2023 at 19:37 UTC

Total Pages:  
34

Total Words:  
8428

### Plagiarism Detection



Types of plagiarism	Words
Identical	1.1% 93
Minor Changes	1.1% 96
Paraphrased	2.1% 176
Omitted Words	0% 0

### AI Content Detection



Text coverage

- AI text
- Human text

### Plagiarism Results: (9)

<p> <b>Trabajo de Titulación.pdf</b> <span style="float: right;">0.6%</span></p> <p><a href="http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/27297/1...">http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/27297/1...</a></p> <p>Danny</p> <p>UNIVERSIDAD DE CUENCA FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD DE INUNDACIONES DEL RÍO YANUNCAY...</p>
<p> <b>Tesis (2)</b> <span style="float: right;">0.6%</span></p> <p><a href="https://www.slideshare.net/henrymorenoroldan/tesis-2-3446...">https://www.slideshare.net/henrymorenoroldan/tesis-2-3446...</a></p> <p>HomeExploreSubmit Search UploadLoginSignup Tesis (2) Report Henry Moreno RoldanFollow May. 8, 2014·0 likes·1,349 views Tes...</p>
<p> <b>Ajuste de curvas IDF a partir de tormentas de corta ...</b> <span style="float: right;">0.6%</span></p> <p><a href="https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&amp;pid=...">https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&amp;pid=...</a></p> <p>Servicios Personalizados Revista SciELO Analytics Google Scholar H5M5 ...</p>



Ing. Bolaños Guerrón Darío Roberto, Ph. D

C. C.: 1715206593



Departamento de Ciencias de la Tierra y de la Construcción

Carrera de Ingeniería Civil

### Certificación

Certifico que el trabajo de integración curricular: **“Diseño de obras de protección para inundaciones de la parroquia Calderón del cantón Portoviejo provincia de Manabí”** fue realizado por los señores **Beltrán Valarezo, Jhoan Alexander y Cano Vera, Daniela Fernanda**, el mismo que cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, además fue revisado y analizada en su totalidad por la herramienta de prevención y/o verificación de similitud de contenidos; razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que se lo sustente públicamente.

Sangolquí, 25 de agosto de 2023

Firma:



.....  
**Ing. Bolaños Guerrón Darío Roberto, Ph. D**

C. C.: 1715206593



**Departamento de Ciencias de la Tierra y de la Construcción**  
**Carrera de Ingeniería Civil**

**Responsabilidad de Autoría**

Nosotros, **Beltrán Valarezo, Jhoan Alexander y Cano Vera, Daniela Fernanda**, con cédulas de ciudadanía N° **1726389834** y **1726732926**, declaramos que el contenido, ideas y criterios del trabajo de integración curricular: "**Diseño de obras de protección para inundaciones de la parroquia Calderón del cantón Portoviejo provincia de Manabí**" es de nuestra autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos, y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

**Sangolquí, 25 de agosto de 2023**

Firma

**Beltrán Valarezo, Jhoan Alexander**

C.C.: 1726389834

Firma

**Cano Vera, Daniela Fernanda**

C.C.:1726732926



**Departamento de Ciencias de la Tierra y de la Construcción**

**Carrera de Ingeniería Civil**

**Autorización de Publicación**

Nosotros, **Beltrán Valarezo, Jhoan Alexander y Cano Vera, Daniela Fernanda**, con cédulas de ciudadanía N° 1726389834 y 1726732926, autorizo/autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de integración curricular: **“Diseño de obras de protección para inundaciones de la parroquia Calderón del cantón Portoviejo provincia de Manabí”** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi/nuestra responsabilidad.

**Sangolquí, 25 de agosto de 2023**

Firma

**Beltrán Valarezo, Jhoan Alexander**

C.C.: 1726389834

Firma

**Cano Vera, Daniela Fernanda**

C.C.: 1726732926

## Dedicatoria I

Quiero dedicar el resultado de este proyecto de investigación a toda mi familia. Su presencia y apoyo constante han sido el motor que me impulsó a llegar hasta aquí, el punto que marcará un antes y un después en mi vida.

A mi padre, Franklin Beltrán, el Sol que ilumina mi camino, mi gran ejemplo a seguir y héroe, quien me enseñó que el sentido de la vida no es un mapa con un objetivo fijo, sino una brújula con la cual orientarse. Él me ha otorgado el amor por la ciencia y el conocimiento, el placer por investigar y entender cómo funciona el mundo tan extraño y abrumador que nos rodea.

A mi madre, Gabriela Valarezo, la Tierra llena de vida y bondad donde encuentro mi lugar seguro ante cualquier circunstancia. Ella apoya cada paso que doy y he dado a lo largo de mi vida, brindándome la seguridad de hacerlo sin miedo a equivocarme, impulsándome a ser una mejor versión de mí mismo cada día.

A mi hermano mayor, Nicolás Beltrán, el gran Júpiter, valiente ante toda adversidad y mi gran protector. Él me ha enseñado el simbolismo de las situaciones por más efímeras que aparenten ser. Y planteando los cuestionamientos más significativos que he escuchado, ha logrado ser el tutor más sabio que tengo a mi lado.

A mi hermano menor, Isaac Beltrán, el Saturno que oculta toda la sabiduría en sus anillos. A pesar de su corta edad, me ha enseñado aún más de lo que yo he podido enseñarle. Le dedico todas las horas que no he podido pasar con él pero que siempre llevo en mente. Es realmente el joven más inteligente y auténtico que conozco.

A mi gata, Pacha, la Luna que acompaña todas mis noches en vela, mi pequeña compañera en este viaje. Con su maullido, ronroneo y mordidas, demuestra el amor más puro que alguien pudiese desear.

Beltrán V. Alexander

## Dedicatoria II

Con mucho amor quiero dedicar el presente trabajo de titulación a:

A Dios y a mi Virgencita del Cisne, mi vida puesta en sus manos, siempre sea su voluntad.

A mi Pichu, Jaime Cano, por enseñarme lo valioso que es el conocimiento y sembrar en mi la pasión hacia el estudio de la ciencia a través del amor incondicional.

A mi mamita, Mónica Vera, por enseñarme a trabajar duro por mis sueños conservando siempre la calidad de persona, mi más grande amiga y eterna inspiración.

A mi hermana Melanie, mi fuente principal de admiración y respeto, la razón de mi valentía y el motorcito de mi vida.

A mi hermano Jimmy, por su admirable fortaleza, dedicación y pasión por cumplir sus sueños y mi razón para ser cada día una mejor persona.

A mi Emi, mi ahijada, por ti el mundo debe ser un lugar mejor.

A mis mascotas, Billie y Kodita, su compañía y amor único han hecho de mis desveladas las mejores.

A mi ochenta mil.

A mí por la dedicación, esfuerzo y empeño realizado durante toda la carrera universitaria.

Finalmente me queda por decir, lo logramos mi Ruu, un beso al cielo.

Sinceramente,

Dani.

## Agradecimiento I

En el proceso de llevar a cabo este proyecto de investigación y carrera universitaria, he tenido la fortuna de contar con el apoyo de muchas personas que merecen un reconocimiento sincero.

Principalmente, a toda mi familia, por ser el pilar fundamental en mi vida y proporcionarme todas las herramientas necesarias para desenvolverme. Sin duda, nada de esto sería posible sin su apoyo.

Agradezco a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE por formar un nuevo ingeniero civil preparado para demostrar todos los conocimientos adquiridos. Sin embargo, esto no sería posible sin el gran apoyo de aquellos docentes apasionados por enseñar al estudiante y, a su vez, aprender de él.

Por ello, agradezco al Dr. Darío Bolaños por enseñarme lo apasionante que resulta nuestra carrera y por presentarme grandes retos por superar. Demostró el gusto por enseñar al dar clases magistrales infundiendo gran respeto, pero a su vez siendo un amigo. "This is the way".

Es importante agradecer al gran guía que colaboró en la realización de esta investigación, Ing. Miguel Araque, quien con claridad en sus explicaciones, tranquilidad en su habla y voz de la experiencia encaminó todo para que se cumpla de la mejor manera.

Y cómo olvidar a mi Ing. Maribel Aldás, quien como madre me acogió desde los primeros niveles, guiando mi camino universitario. Y de vez en cuando, era necesario ese jalón de orejas para no desviarme. Gracias por ser aquellos ingenieros que inspiran en la vida de los estudiantes.

Por otro lado, la universidad ha sido toda una batalla, donde luchando codo a codo en la primera fila, surgieron amistades inquebrantables que me recordaban cada día que no se puede crecer sin el apoyo del otro. Mi más sincero agradecimiento a Carla M., Kevin B., Jherson C., Elizabeth C., Jhefferson C., Cinthya D., Luis C., Fernando B., Margarita C., Guadalupe G., Jessica A., Ricardo M. y Marco O. Muchas gracias amigos, nos veremos pronto para una siguiente batalla.

Sin olvidar a mis hermanos de otra madre, Martín J., Nicolay V. y Daniela C., quienes estuvieron apoyándome cada día desde que nos conocemos. Desde un chiste en el colegio hasta pláticas a altas horas de la noche y planificar grandes proyectos para el futuro, realmente no hay palabras para explicar cuán agradecido estoy de conocerlos.

Y, por último, no menos importante, a Nicol T. por llegar a mi vida en el momento adecuado para darme una nueva perspectiva de vida y enseñarme a vivirla, por no permitirme rendir cuando todo se veía acabado.

Beltrán V. Alexander

## **Agradecimiento II**

A Dios y a mi Virgencita del Cisne por ser la fuerza espiritual que guía mi vida, las bendiciones que día a día me rodean y por su presencia en cada etapa de mi carrera universitaria.

A mis padres, Mónica y Jaime, por ser mi cimentación, el amor, la confianza y apoyo incondicional. Eternamente agradecida por el esfuerzo y sacrificio que hicieron para que esto sea posible, todo es mejor si los tengo a mi lado.

A mis hermanos Melanie y Jimmy, simplemente por existir, son de mis mayores motivaciones, soy muy afortunada de tenerlos en mi vida, gracias por siempre alentarme y animarme en todo momento.

A mi familia por extenderme sus manos para que alcance mis objetivos, sobre todo a mi confidente eterna Solange Campaña, por todas las veces que su amor me dio motivos para continuar adelante y no rendirme nunca ante la adversidad.

A mis amigos universitarios Marco, Carlita, Kevin, Cinthya, Jheff, Lupita, Jess, Magui y Alex, por enseñarme que en la universidad hay amigos que se convierten en familia, así como también, a mis mejores amigas Mikita, Meli, Tata y Ali, por el apoyo, amor incondicional y alegrarme la vida con su compañía.

Al Dr. Darío Bolaños, gran maestro y amigo, por compartir sus conocimientos sin reserva alguna, aceptar mi metodología y ritmo de trabajo, guiarme profesionalmente y por celebrar mis logros como si fueran suyos, finalmente por la confianza.

A mis profesores por darme las herramientas necesarias, en especial a Ing. Maribel Aldás por estar presente y guiarme en toda mi travesía universitaria e Ing. Miguel Araque por demostrarme que se puede enseñar a través del amor y la pasión a la profesión.

A mi grupo de Colimba Constructores por ser como mi familia y los aprendizajes brindados, de igual manera, a Geospace por su amistad y conocimientos impartidos.

Finalmente, al hermano que la vida me regaló, Alexander Beltrán, por los buenos momentos que hemos vivido a lo largo de nuestra carrera, darme la mano siempre en los altos y bajos, tu sentido del humor y priorizar nuestra amistad, ante todo. Siempre estaré orgullosa de la persona que eres.

Desde mi alma,

Dani.

## Contenido

<b>Dedicatoria I.....</b>	<b>6</b>
<b>Dedicatoria II.....</b>	<b>7</b>
<b>Agradecimiento I .....</b>	<b>8</b>
<b>Agradecimiento II .....</b>	<b>10</b>
<b>Resumen .....</b>	<b>17</b>
<b>Abstract.....</b>	<b>18</b>
<b>Capítulo I.....</b>	<b>19</b>
Planteamiento del problema .....	19
<i>Introducción.....</i>	19
<i>Antecedentes .....</i>	20
<i>Planteamiento del problema .....</i>	21
<i>Metodología .....</i>	22
<i>Objetivos .....</i>	22
Objetivo general.....	22
Objetivos específicos .....	23
<b>Capítulo II.....</b>	<b>23</b>
Estudio morfológico e hidrometeorológico.....	23
<i>Recopilación de información.....</i>	23
Información cartográfica y topográfica .....	23
Información hidrometeorológica .....	24
<i>Estudio geomorfológico .....</i>	27
Ubicación geográfica .....	27

	13
Condición hidrográfica .....	28
Características físicas .....	29
Geomorfología de la cuenca .....	29
<i>Estudio hidrológico</i> .....	32
Método soil conservation service “SCS” .....	32
Tiempo de concentración.....	33
<i>Estudio meteorológico</i> .....	38
Intensidad máxima de lluvia.....	38
Curvas de intensidad – duración – frecuencia.....	39
Intensidad .....	39
Duración .....	40
Hietogramas de diseño modelación de lluvias .....	41
<i>Caudales máximos mediante un modelo hidrológico utilizando HEC–HMS</i> .....	48
Modelo de la cuenca.....	48
Modelo meteorológico.....	50
Modelo de control .....	50
Caudal de diseño.....	51
<b>Capítulo III</b> .....	<b>52</b>
Estudio hidráulico.....	52
<i>Modelación hidráulica del río Chico en Abdón Calderón</i> .....	52
Modelación de crecientes extremas .....	52
Muro de gaviones .....	55
Modelación de crecientes extremas aplicando muro de gaviones.....	63
Análisis presupuestario .....	64
<b>Capítulo IV</b> .....	<b>65</b>

	14
<i>Conclusiones</i> .....	65
<i>Recomendaciones</i> .....	66
<b>Bibliografía</b> .....	<b>67</b>
<b>Apéndices</b> .....	<b>70</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> Estación Hidrológica - Zona de estudio Abdón Calderón.....	25
<b>Tabla 2</b> Estación Meteorológica - Zona de estudio Abdón Calderón .....	26
<b>Tabla 3</b> Puntos de control Subcuenca Río Chico .....	27
<b>Tabla 4</b> Características físicas - Subcuenca Río Chico .....	30
<b>Tabla 5</b> Uso del suelo - Subcuenca Río Chico .....	34
<b>Tabla 6</b> .....	35
<b>Tabla 7</b> Número de la curva CN - Subcuenca Río Chico.....	36
<b>Tabla 8</b> Ecuaciones estación M0005 Portoviejo.....	40
<b>Tabla 9</b> Intensidades máximas de lluvia para periodos de 10, 25, 50 y 100 años .....	41
<b>Tabla 10</b> Modelo de lluvias para T=10 años para Sub-cuenca Río Chico.....	43
<b>Tabla 11</b> Modelo de lluvias para T=25 años para Sub-cuenca Río Chico.....	44
<b>Tabla 12</b> Modelo de lluvias para T=50 años para Sub-cuenca Río Chico.....	45
<b>Tabla 13</b> Modelo de lluvias para T=100 años para Sub - cuenca río Chico.....	45
<b>Tabla 14</b> Hietogramas para periodos de retorno de 10, 25, 50 y 100 años de la Subcuenca Río Chico .....	46
<b>Tabla 15</b> Tiempo de concentración y Lag Time de la Subcuenca Río Chico .....	49
<b>Tabla 16</b> Caudales máximos – Subcuenca Río Chico.....	50
<b>Tabla 17</b> Caudal de Diseño.....	51
<b>Tabla 18</b> Momento resistente – Muro H=3 .....	57
<b>Tabla 19</b> Momento resistente - Muro H=2 .....	61
<b>Tabla 20</b> Presupuesto referencial calculado para la obra de protección contra inundaciones.....	64

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b>	<i>Cartografía – río Chico</i> .....	23
<b>Figura 2</b>	<i>Cuenca hidrográfica río Portoviejo</i> .....	24
<b>Figura 3</b>	<i>Estaciones meteorológicas – Cuenca Río Portoviejo</i> .....	26
<b>Figura 4</b>	<i>Ubicación geográfica – Subcuenca río Chico</i> .....	27
<b>Figura 5</b>	<i>Condición hidrográfica – Subcuenca Río Chico</i> .....	28
<b>Figura 6</b>	<i>Características físicas – Subcuenca Río Chico</i> .....	29
<b>Figura 7</b>	<i>Longitud del cauce principal – Subcuenca Río Chico</i> .....	30
<b>Figura 8</b>	<i>Pendiente promedio de la Subcuenca Río Chico</i> .....	31
<b>Figura 9</b>	<i>Uso del suelo – Subcuenca Río Chico</i> .....	33
<b>Figura 10</b>	<i>Cuartiles de Huff</i> .....	42
<b>Figura 11</b>	<i>Distribución temporal de tormentas de primer cuartil – Probabilidad 30%</i> .....	43
<b>Figura 12</b>	<i>Modelo HEC-HMS sub cuenca río Chico</i> .....	48
<b>Figura 13</b>	<i>Hidrogramas de caudales máximos – Subcuenca Río Chico</i> .....	51
<b>Figura 14</b>	<i>Abscisado y eje principal río Chico</i> .....	53
<b>Figura 15</b>	<i>Modelo unidimensional, TR = 100 años</i> .....	54
<b>Figura 16</b>	<i>Detalle muro de gaviones H=3 m</i> .....	59
<b>Figura 17</b>	<i>Detalle muro de gaviones H = 2 m</i> .....	63
<b>Figura 18</b>	<i>Modelo unidimensional aplicando muros, TR = 100 años</i> .....	64

## Resumen

Este estudio se centra en el análisis de las inundaciones del río Chico en la parroquia Abdón Calderón del cantón Portoviejo, provincia de Manabí, Ecuador. El área analizada experimenta inundaciones significativas durante las temporadas de lluvias que afectan a los residentes y la infraestructura. El objetivo central es analizar las condiciones hidrológicas que causan estas inundaciones en las zonas vulnerables. Esto se logra modelando los caudales máximos para diferentes periodos de retorno. La metodología empleada implica la recopilación de datos cartográficos, topográficos, hidrológicos y meteorológicos. Además, se lleva a cabo un análisis geomorfológico e hidrometeorológico de la cuenca hidrográfica para desarrollar hidrogramas utilizando el software HEC-HMS en donde se determina una variación de caudales máximos en el rango de 70,10 a 320,00 m<sup>3</sup>/s para los periodos de retorno modelados. Posteriormente, se procede a realizar la modelación hidráulica mediante el software HEC-RAS, la cual permite la identificación de niveles y zonas de inundación a lo largo del área de estudio. Para mitigar estas inundaciones, se propone la construcción de muros de gaviones, cuyas alturas oscilan entre 2 y 3 metros. Estas estructuras estarían ubicadas a lo largo de una extensión de 4.18 km del río. En términos presupuestarios, se estima que el costo de implementación de estas medidas alcance los \$1.7 millones. Al abordar estos desafíos relacionados con las inundaciones a través de un análisis completo, modelado y soluciones propuestas, este estudio contribuye a la comprensión y posible mitigación de los riesgos de inundación en la región del río Chico, fomentando en última instancia la seguridad y el bienestar de las comunidades afectadas.

*Palabras clave:* río Chico, inundaciones, zonas vulnerables, modelamiento hidráulico, muro de gaviones

## Abstract

This study focuses on the analysis of river floods in the Abdón Calderón parish of the Portoviejo canton, Manabí province, Ecuador, specifically pertaining to the Chico River. The studied area witnesses significant flooding during the rainy seasons, which negatively impacts both residents and local infrastructure. The primary objective of this research is to comprehensively examine the hydrological conditions responsible for these recurring floods in the vulnerable regions. To achieve this, the study employs the modeling of maximum discharge levels for various return periods. The methodology encompasses the collection of cartographic, topographic, hydrological, and meteorological data. Additionally, a geomorphological and hydrometeorological analysis of the watershed is conducted, facilitating the development of hydrographs using the HEC-HMS software. This analysis reveals a range of maximum discharge variations from 70.10 to 320.00 m<sup>3</sup>/s for the modeled return periods. Subsequently, hydraulic modeling is carried out using the HEC-RAS software, enabling the identification of flood levels and inundation zones across the study area. In order to mitigate these floods, the construction of gabion walls is proposed, with proposed heights ranging from 2 to 3 meters. These protective structures would extend along a 4.18 km stretch of the river. From a budgetary perspective, the implementation cost of these proposed measures is estimated to amount to \$1.7 million. By addressing these flood-related challenges through comprehensive analysis, modeling, and proposed solutions, this study contributes to the understanding and potential mitigation of flood hazards in the Chico River region, ultimately fostering the safety and well-being of the affected communities.

*Keywords:* Chico river, floods, vulnerable areas, hydraulic modeling, gabion wall

## Capítulo I

### Planteamiento del problema

#### Introducción

A lo largo del tiempo se ha analizado el crecimiento vertical y horizontal de varias ciudades en todo el mundo, lo cual ha confirmado que se presenta una mayor cantidad de desafíos debido a la rápida expansión horizontal en ciudades de bajos ingresos a causa de la deficiente planificación urbana (Mahendra & Seto, 2019). Como es el caso de Ecuador, que se encuentra recuperándose económicamente de las consecuencias provocadas por la pandemia debido al COVID – 19, de tal forma que se ha puesto en evidencia la elevada informalidad y las grandes brechas en el acceso a servicios públicos (Banco Mundial, 2023).

Adicional a esto, es importante mencionar al terremoto del 16 de abril del 2016 que tuvo una magnitud de 7.8 con epicentro en la costa ecuatoriana entre las provincias de Esmeraldas y Manabí, el cual dejó muchas pérdidas y afectaciones (Secretaría de Gestión de Riesgos, 2016). Entre los sectores más afectados se tiene a la agricultura, ganadería, acuicultura, pesca, comercio por pérdida de locales comerciales y servicios sanitarios debido al daño en la infraestructura (FARO, 2021). En consecuencia, el ser humano tiene la necesidad de contar con un espacio para poder habitar, esto conlleva a ocupar lugares de mínimas condiciones para el desarrollo de su vida cotidiana, como es el caso de las riberas de los ríos (Febres & Cuba, 2020).

Ahora bien, las condiciones climatológicas tienen un rol de gran importancia en la dinámica de construcción de viviendas en las riberas de los ríos del Ecuador. Debe señalarse que la Cordillera de Los Andes divide al Ecuador en dos grupos de cuencas: la vertiente Pacífico y la vertiente Amazonas, cada una con diferentes estaciones secas y húmedas

(Ministerio del Ambiente, 2002). Sumando a esto los efectos producidos tanto por el fenómeno de “La Niña” como el de “El Niño” se obtiene como resultado las inundaciones tanto en áreas urbanas como rurales debido a la crecida del río Portoviejo (Ministerio de Salud Pública).

En función a lo planteado, la provincia de Portoviejo enfrenta un gran desafío por resolver, pues las inundaciones tienen un impacto significativo en la población y en la infraestructura existente. Ante esta situación de riesgo, es de suma importancia implementar medidas de mitigación a corto, mediano y largo plazo que reduzcan la vulnerabilidad frente a desastres naturales, además de fomentar un desarrollo sostenible en la provincia de Portoviejo.

### **Antecedentes**

En mayo del 2023 la secretaría de Gestión de Riesgos declaró alerta amarilla ante posibles ocurrencias del fenómeno de “El Niño” en varias localidades situadas a una altitud menor a 1 500 msnm. Mediante la resolución Nro. SGR-156-2023 se focaliza en 489 parroquias, de 143 cantones en 17 provincias del país, incluyendo a Portoviejo donde se prevé una activación significativa de la amenaza, a partir del segundo semestre del presente año (Gestión de Riesgos, 2023).

Las irregularidades climáticas tienen un efecto significativo en la región costera del Ecuador, donde el aumento de la temperatura del océano resulta en lluvias intensas y consecuentes inundaciones. Estas inundaciones causan pérdidas humanas y materiales. Además, la topografía suave y el sistema de drenaje deficiente en las extensas llanuras costeras agravan aún más la magnitud de estas inundaciones (Rosse, Cadier, & Gómez, 1996).

El aumento de la población y la expansión de los asentamientos humanos en áreas inestables han intensificado el impacto de los desastres naturales, especialmente en países en desarrollo. La rápida urbanización y la configuración geográfica de los valles han obligado a muchas personas a vivir en laderas propensas a deslizamientos e inundaciones. Además, los

factores humanos, como la deforestación, los cortes de terreno, los rellenos y la acumulación de aguas pluviales y residuales, juegan un papel significativo en la ocurrencia de los deslizamientos en masa (García & Loor, 2021).

La producción agrícola en la cuenca del río Portoviejo, se desenvuelve en escenarios rústicos, donde priman la falta de tecnología, formación y capacitación técnica, lo que la vuelve vulnerable frente a escenarios de sequía e inundaciones y la baja de precios, que no permite el desarrollo del sector agropecuario y un uso adecuado de los recursos hídricos relacionados con este sector (Valencia, 2022).

### **Planteamiento del problema**

Según el Informe de Situación Provincial - Manabí (2023) publicado por la Secretaría de Gestión de Riesgos menciona que “Desde 01 de enero de 2023, la provincia de Manabí se ha visto afectada por eventos considerables de época lluviosa acompañados de lluvias intensas y tormentas” por lo tanto, el 31/03/2023 se declara en emergencia por estación invernal al Cantón Portoviejo.

Ahora bien, el incremento de las precipitaciones genera la crecida del Río Portoviejo y como consecuencia las inundaciones en la zona, donde el cantón Portoviejo ha presentado un total de 500 personas perjudicadas, de manera específica la parroquia Abdón Calderón presenta dos eventos de inundación fuertes de los cuales se tiene 136 personas y 34 viviendas afectadas (Secretaría de Gestión de Riesgo, 2023).

Se observa que, la parroquia Abdón Calderón presenta dos períodos de precipitación, época seca y lluviosa, comprende los meses de mayo a diciembre y de enero hasta abril de cada año respectivamente. En épocas lluviosas las comunidades de la parroquia se ven afectadas por las inundaciones y como consecuencia existe un estancamiento en las

actividades socioeconómicas de la población (Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial, 2023).

Por consiguiente, se determina que para la parroquia Abdón Calderón es necesario realizar un estudio en el cual se obtenga las condiciones hidrológicas que producen estas inundaciones con la finalidad de proporcionar un análisis que permita establecer alternativas de solución para el control de inundaciones.

### **Metodología**

Uno de los componentes más importantes es la recopilación de datos geográficos la cual se realizará mediante el software ENVI de los cuales se obtiene el modelo digital de elevación y por medio del modelamiento de este las áreas de inundación, con la finalidad de tener un contexto actual de la zona de estudio, así como también el levantamiento de información en campo, libros y normas relacionadas con la rama de Hidrología e Hidráulica.

Debe señalarse que los modelamientos hidráulicos en base a la topografía de la zona de estudio se realizarán mediante el software HEC-RAS el mismo que analiza factores hidráulicos y el flujo de agua para simular las crecidas para diferentes periodos de retorno.

NOTA: Todos los softwares mencionados son utilizados con licencia tipo estudiantil.

### **Objetivos**

#### ***Objetivo general***

Determinar las zonas vulnerables a inundaciones de la Parroquia Calderón, Cantón Portoviejo – Provincia de Manabí para diferentes periodos de retorno de crecidas del Río Portoviejo, con el fin de analizar y diseñar obras de protección que mitiguen los efectos de las inundaciones.

### **Objetivos específicos**

Recopilar e interpretar información geográfica e hidrológica existente de la cuenca del río Portoviejo.

Determinar los hidrogramas de modelación con caudales de diseño de la cuenca del río Portoviejo para periodos de retorno de 10, 25, 50 y 100 años.

Simular las crecidas para cada periodo de retorno y así determinar áreas de inundación del río Portoviejo mediante software hidráulico.

Diseñar obras de protección para inundaciones del río Portoviejo.

Realizar el presupuesto de la obra de protección para inundaciones de la parroquia Calderón del cantón Portoviejo provincia de Manabí.

## **Capítulo II**

### **Estudio morfológico e hidrometeorológico**

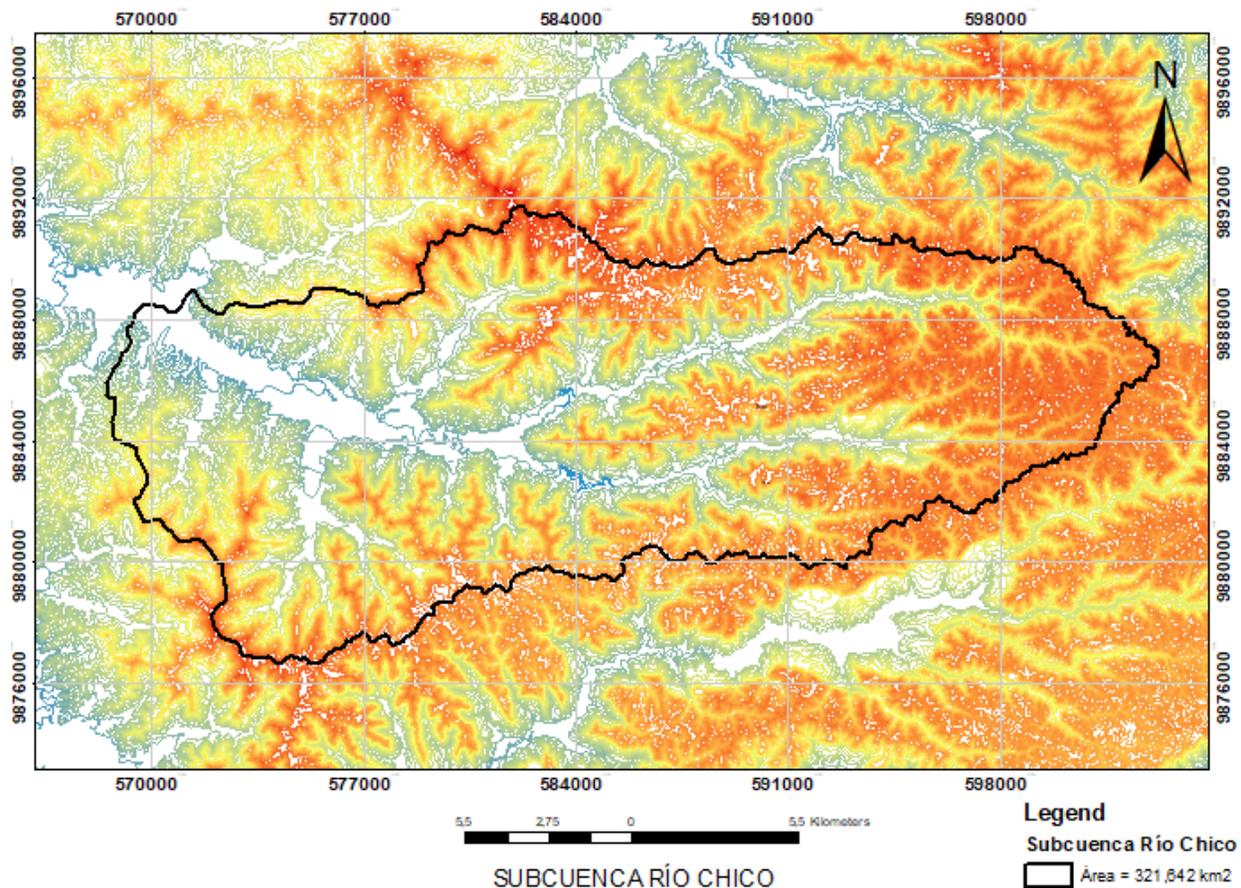
#### **Recopilación de información**

#### ***Información cartográfica y topográfica***

Para el análisis hidrológico se obtiene las diferentes cartas topográficas por medio del Instituto Geográfico Militar (IGM) que contemplen toda la zona de estudio, en este caso, la subcuenca del Río Chico como se muestra en la **Figura 1**.

#### **Figura 1**

*Cartografía – río Chico*



### ***Información hidrometeorológica***

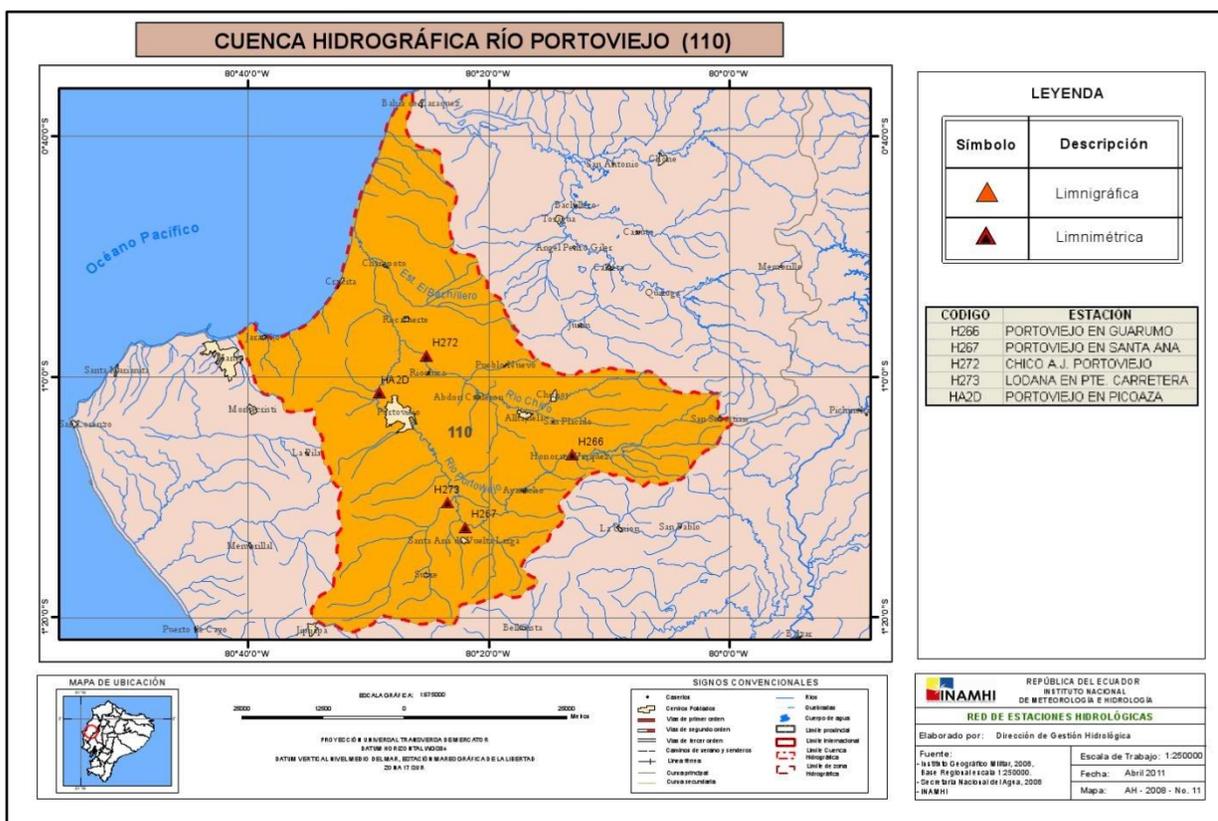
#### **Datos hidrológicos.**

La recopilación de datos hidrológicos tiene como objetivo determinar el comportamiento del flujo del agua en el cauce a su paso por el área de estudio, así como también, establecer las características generales y regionales de las precipitaciones máximas.

La parroquia Abdón Calderón se encuentra ubicada dentro de la cuenca hidrográfica del Río Portoviejo, la misma que presenta cinco estaciones hidrológicas, específicamente para nuestra zona de estudio, la estación hidrológica correspondiente es “H272 CHICO A.J. PORTOVIEJO” como se puede observar en la **Figura 2**.

### **Figura 2**

*Cuenca hidrográfica río Portoviejo*



Nota: Recuperado de INAMHI, 2009

**Tabla 1**

Estación Hidrológica - Zona de estudio Abdón Calderón

CÓDIGO	ESTACIÓN	TIPO	LATITUD	LONGITUD	ALTITUD
H272	Chico AJ Portoviejo	LG	00°58'16"S	80°25'08"W	35

### Datos meteorológicos.

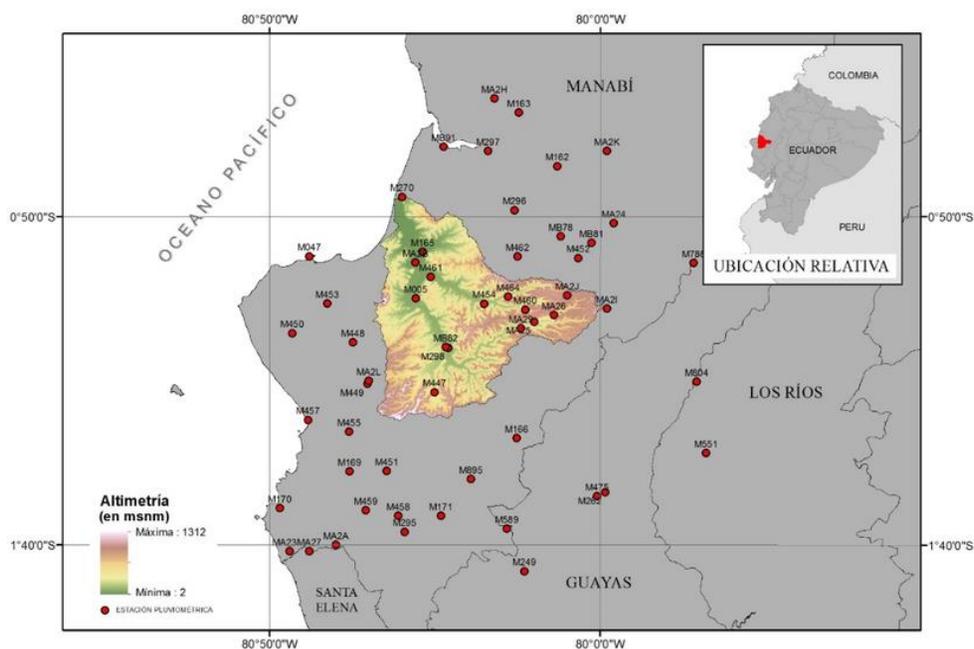
Las estaciones meteorológicas tienen como finalidad el recopilar información que permita conocer la situación climática de la zona de estudio, como lo es la temperatura

máxima, media y mínima; humedad relativa, precipitación y radiación solar, con la finalidad de que se pueda prever desastres naturales debido a la variación de dichos parámetros.

La cuenca hidrográfica del Río Portoviejo cuenta con 16 estaciones hidrometeorológicas de las cuales se puede destacar la estación “M454 Río Chico” misma que pertenece a la parroquia Abdón Calderón como se puede observar en la **Figura 3**.

**Figura 3**

*Estaciones meteorológicas – Cuenca Río Portoviejo*



*Nota: Recuperado de Thielen, Cevallos, Erazo, & Zurita, 2009*

**Tabla 2**

*Estación Meteorológica - Zona de estudio Abdón Calderón*

<b>CÓDIGO</b>	<b>ESTACIÓN</b>	<b>COTA</b>	<b>X</b>	<b>Y</b>	<b>AÑOS REGISTRO</b>
M454	Río Chico	118	578718,9	9883441,9	42

## Estudio geomorfológico

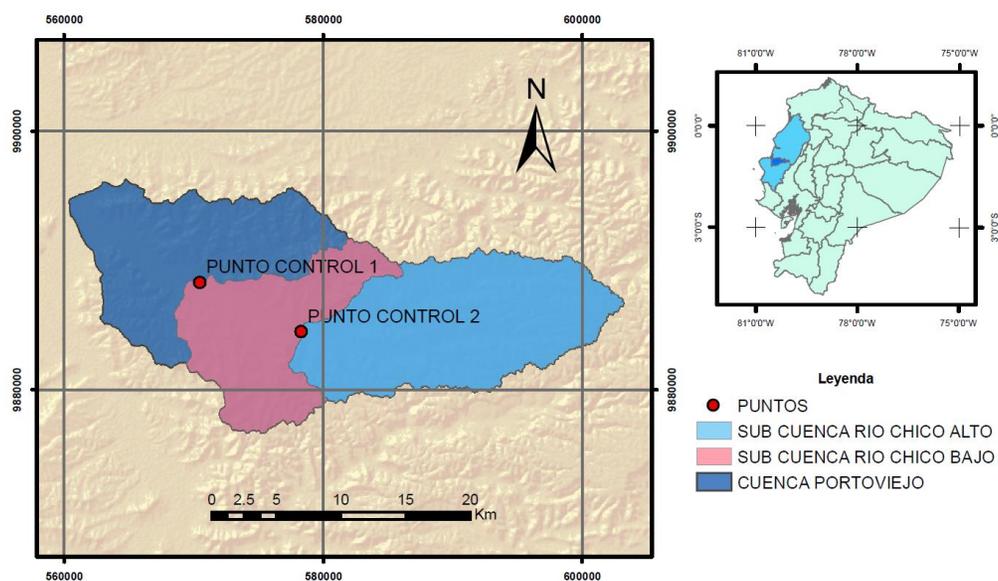
### Ubicación geográfica

La parroquia de Abdón Calderón pertenece al grupo de parroquias rurales del Cantón Portoviejo, provincia de Manabí, cuyos límites al Norte son las parroquias Pueblo Nuevo y Río Chico del cantón Portoviejo, al Sur la parroquia Ayacucho del cantón Santa Ana, al Este las parroquias Alhajuela y Chirijos del cantón Portoviejo y al Oeste la zona urbana del cantón Portoviejo.

La subcuenca del Río Chico pertenece a la cuenca del Río Portoviejo, inicialmente se considera dos puntos de control para la zona de estudio con el fin de delimitar a la subcuenca perteneciente a la parroquia Abdón Calderón como se puede observar en la **Figura 4**.

### Figura 4

#### Ubicación geográfica – Subcuenca río Chico



### Tabla 3

#### Puntos de control Subcuenca Río Chico



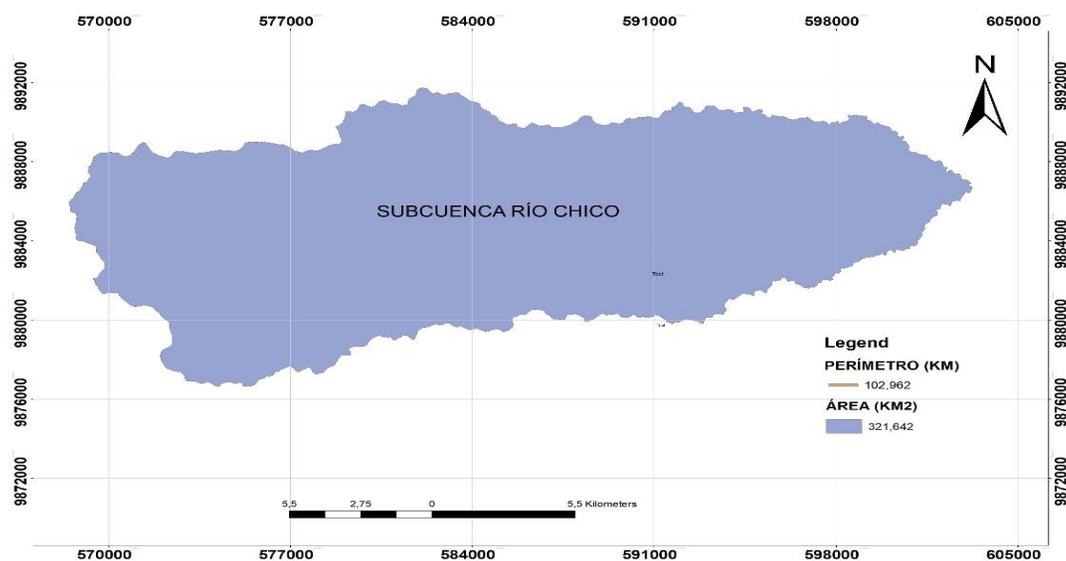
### **Características físicas**

La topografía, uso del suelo, el clima, la pendiente del cauce y red de drenaje son algunos de los parámetros que definen las características propias de una cuenca, los mismos que sirven para determinar la vulnerabilidad y así proteger a las zonas pobladas de riesgos de inundaciones y desprendimientos.

El proyecto está localizado en la región central de la provincia de Manabí, la subcuenca del Río Chico presenta un área total de 321,64 km<sup>2</sup> y un perímetro de 102,96 km

### **Figura 6**

*Características físicas – Subcuenca Río Chico*



### **Geomorfología de la cuenca**

#### **Área y perímetro.**

El área de la cuenca está definida por el espacio delimitado por la curva del perímetro (Sara Ibañez, SF).

Debido a su morfología la subcuenca del Río Chico se divide en dos, la subcuenca Río Chico Bajo y Río Chico Alto como se muestra en la **Figura 8**.

**Tabla 4**

*Características físicas - Subcuenca Río Chico*

<b>Nombre</b>	<b>Área [km<sup>2</sup>]</b>	<b>Perímetro [km]</b>
<i>SUB-CUENCA RIO CHICO BAJO</i>	124,49	66,25
<i>SUB-CUENCA RIO CHICO ALTO</i>	197,15	75,54

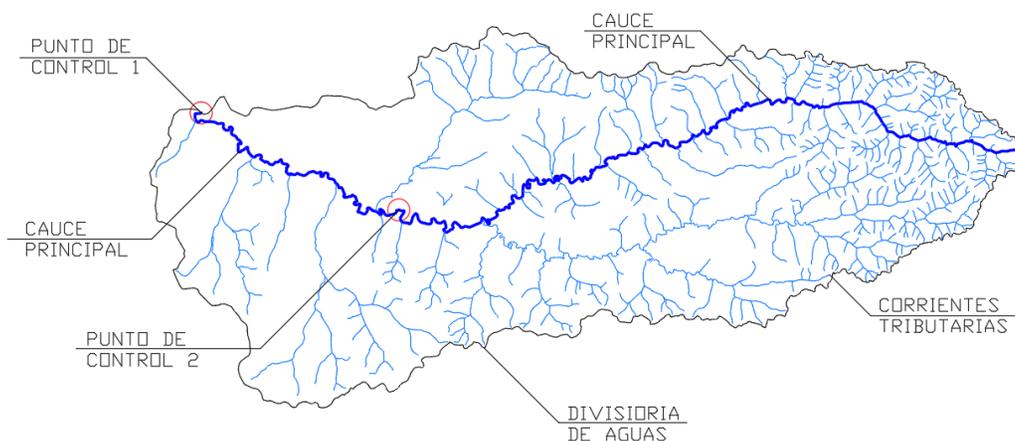
**Longitud del cauce principal (L).**

Para conocer la longitud del cauce principal se debe saber que: “La longitud de la cuenca viene definida por la longitud de su cauce principal, siendo la distancia equivalente que recorre el río entre el punto de desagüe aguas abajo y el punto situado a mayor distancia topográfica aguas arriba” (Sara Ibañez, SF).

Según (Aparicio, 1992) Todas aquellas corrientes vecinas a la corriente del cauce principal se conocen como corrientes tributarias, así como también, todo punto de cualquier corriente tiene una cuenca de aportación, toda cuenca tiene una y sólo una corriente principal.

**Figura 7**

*Longitud del cauce principal – Subcuenca Río Chico*



Longitud del cauce principal = 51,04 km

Perímetro total de la Subcuenca Río Chico = 102 962,05 Km

### **Elevación mínima y máxima.**

La elevación máxima es la cota del punto más elevado de la cuenca hidrográfica

La elevación mínima es la cota del punto más bajo de la cuenca hidrográfica, usualmente es el punto de salida de esta.

Cuenca del Río Chico:

Cota máxima: 460 msnm

Cota mínima: 50 msnm

### **Pendiente promedio de la cuenca.**

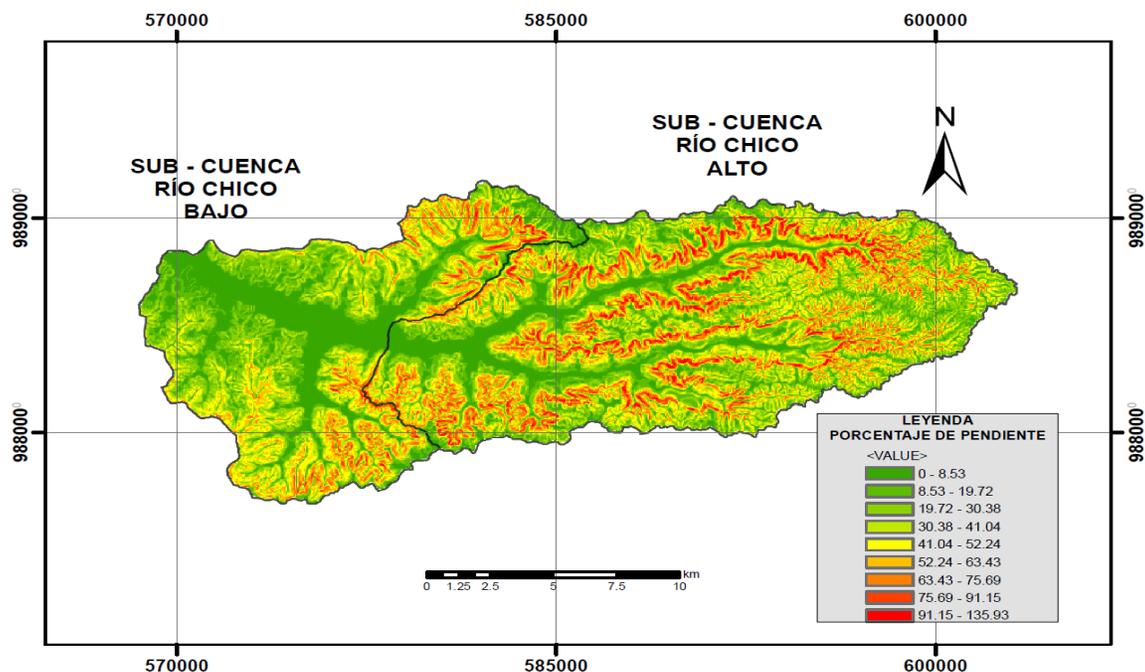
Corresponde a la media ponderada de todas las pendientes correspondientes a áreas elementales en las que se puede considerar constante la máxima pendiente. De manera general, indica el grado de rugosidad que tiene el suelo de la cuenca.

Tiene una relación directa con la infiltración, el escurrimiento superficial, la humedad del suelo y la contribución del agua subterránea a los cauces. Se evidencia que al tener un mayor porcentaje la velocidad de escurrimiento aumenta y por ende crecen las magnitudes de la erosión y la contribución de sedimentos.

Para el proyecto de estudio se emplea ArcGIS haciendo uso de funciones internas con el fin de obtener el porcentaje del rango de pendiente. Al interpolar estos valores y utilizando la función "*Zonal Statistics as Table*" se obtiene el valor de la pendiente promedio de la cuenca de estudio.

### **Figura 8**

*Pendiente promedio de la Subcuenca Río Chico*



$$Pendiente\ media_{Río\ Chico} = 33,61\%$$

## Estudio hidrológico

### Método soil conservation service "SCS"

El método hidrológico del Soil Conservation Service SCS de Estados Unidos define mediante el parámetro Número de Curva NC la capacidad de una cuenca vertiente para producir escorrentía durante una lluvia. El parámetro permite obtener la lluvia neta o precipitación efectiva, así como definir el coeficiente de escorrentía de cada cuenca.

Se ha utilizado dicho método por la aplicabilidad y eficacia aceptadas, debido a su uso habitual y ser ampliamente conocido entre las diferentes metodologías, además, este requiere un número reducido de variables para su aplicación y al compararlo con modelos de mayor complejidad los resultados son similares y coherentes.

El parámetro del Números de Curva del SCS depende de ciertos factores como la permeabilidad, el uso de suelo o tipo de cubierta vegetal y la pendiente del terreno.

## Tiempo de concentración

### Tipo y uso de suelo.

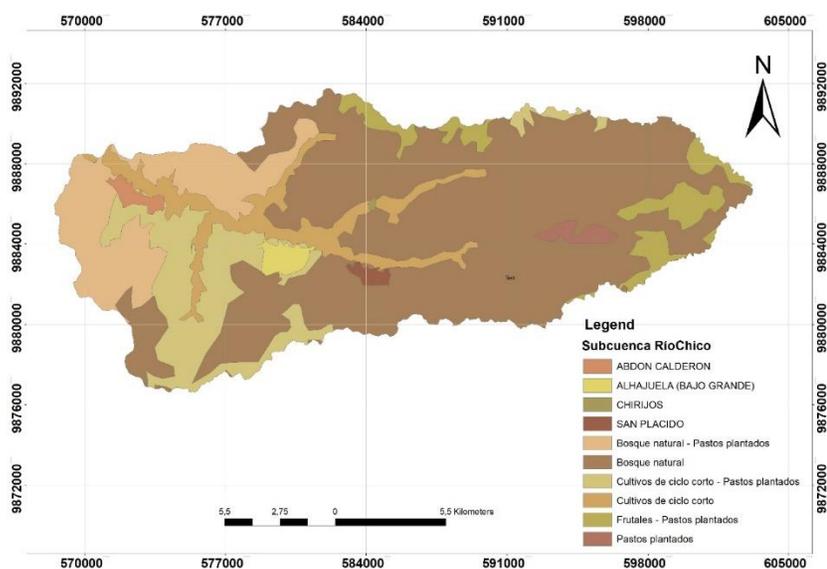
El Ecuador es un país diverso en tipo de suelos, por lo tanto, brinda a los habitantes la capacidad de aprovechar los mismos mediante su uso, de manera específica la región Costa realiza actividades de cultivo y riego.

Por lo tanto, conocer el uso del suelo tiene incidencia directa en los escurrimientos de la cuenca, esto debido a la cubierta vegetal, ya que, mediante la presencia o ausencia se conoce la variación de la velocidad con la que viaja el agua, la cantidad receptada por la vegetación y el agua infiltrada en la misma.

Se presenta así un mapa del uso del suelo (véase **Figura 9**) de la Subcuenca del Río Chico realizado mediante el software ArcGIS, el cual se utilizó para obtener el área que corresponde a cada uso de suelo de la zona de estudio y como resultado los siguientes datos tabulados en una hoja de Excel. (véase **Tabla 5**).

### Figura 9

#### Uso del suelo – Subcuenca Río Chico



**Tabla 5***Uso del suelo - Subcuenca Río Chico*

<b>USO DEL SUELO</b>	<b>ÁREA (KM<sup>2</sup>)</b>
<i>Bosque Natural</i>	192,84
<i>Bosque Natural - Pastos plantados</i>	40,47
<i>Cultivos de ciclo corto</i>	24,83
<i>Cultivos de ciclo corto - Pastos plantados</i>	43,02
<i>Frutales - Pastos plantados</i>	17,78
<i>Pastos plantados</i>	2,70
<i>Áreas Urbanas</i>	7,09

Existen cuatro categorías que definen los distintos tipos de suelos, según Chow, Maidment y Mays se tiene que:

- *Grupo A: Área profunda, suelos profundos depositados por el viento, limos agregados.*
- *Grupo B: Suelos pocos profundos depositados por el viento, marga arenosa.*
- *Grupo C: Margas arcillosas. Margas arenosas poco profundas, suelos con bajo contenido orgánico y suelos con altos contenidos de arcilla.*
- *Grupo D: Suelos que expanden significativamente cuando se mojan, arcillas altamente plásticas y ciertos suelos salinos.*

Según el Estudio y análisis para determinar el tipo de suelo en las parroquias rurales Abdón Calderón y Pueblo Nuevo del Cantón Portoviejo de la Provincia de Manabí (Eduardo Ortiz, 2018) se conoce que "Portoviejo presenta el tipo de suelo zonal, que corresponde a la zona de vida denominada bosque espinoso tropical. Son suelos con predominancia de areniscas, sobre colinas de fuerte pendiente, donde predominan las areniscas, se encuentra un

suelo desarrollado, con horizontes típico de alteración, poco profunda de textura limosa y en proceso de erosión”

Por lo tanto, para este estudio se asigna un suelo tipo B y C.

### **Determinación del número de curva.**

Es un parámetro adimensional que alcanza los valores comprendidos entre 0 y 100, donde CN = 100 para superficies impermeables y superficies de agua y para superficies naturales CN<100 (Chow, 1994).

Un CN mayor indica que gran proporción de la precipitación se convierte en escorrentía directa en lugar de infiltrarse en el suelo.

Se presenta a continuación los valores de CN para varios usos de tierra según el tipo de suelo descritos previamente.

**Tabla 6**

*Números de curva de escorrentía para usos de tierra agrícola, suburbana y urbana*

<b>Descripción del uso de la tierra</b>		<b>Grupo Hidrológico del suelo</b>			
Tierra Cultivada:	Sin tratamientos de conservación	2	1	8	1
	con tratamientos de conservación	2	1	8	1
Pastizales:	Condiciones pobres	8	9	6	9
	Condiciones óptimas	9	1	4	0
Vegas de ríos:	Condiciones óptimas	0	8	1	8
Bosques:	troncos delgados, cubierta pobre, sin hierbas	5	6	7	3
	cubierta buena	5	5	0	7
Áreas abiertas, césped, parques,	óptimas condiciones: cubierta de pasto en el 75%	9	1	4	0

Descripción del uso de la tierra		Grupo Hidrológico del suelo			
campos de golf, cementerios, etc.	condiciones aceptables: cubierto de pasto de 50 a 75%	9	9	9	4
Áreas comerciales de negocios (85% impermeables)		9	2	4	5
Distritos industriales (72% impermeables)		1	8	1	3
	Tamaño 1/8 acre/65% impermeable	7	5	0	2
Residencial	Tamaño 1/4 acre/38% impermeable	1	5	3	7
	Tamaño 1/2 acre/25% impermeable	4	0	0	5
Parqueaderos pavimentados, techos, accesos, etc.		8	8	8	8
	Pavimentados con cunetas y alcantarillados	8	8	8	8
Calles y carreteras:	grava	6	5	9	1
	tierra	2	2	7	9

Fuente: (Chow, Maidment, & Mays, 19994, pág. 154).

Para calcular el valor de CN se considera el área según el uso del suelo, de los cuales se tiene un 70% tipo B y un 30% tipo C por consiguiente se procede a escoger los valores de la **Tabla 6** según el uso y tipo de suelo para multiplicarlo con su respectiva área de aportación. Finalmente se suman los valores totales del tipo de suelo B y C y se divide para el área total. (Véase **Tabla 7**).

**Tabla 7**

Número de la curva CN - Subcuenca Río Chico

USO DEL SUELO	Descripción uso de suelo	ÁREA (KM2)	B al 70%		C al 30%	
			CN	CN*A	CN	CN*A
Bosque Natural	Bosques	192,84	55	7424,46	70	4049,71
Bosque Natural - Pastos plantados	Bosques	40,47	66	1869,80	77	934,90
Cultivos de ciclo corto	Área Cult.	24,83	71	1233,93	78	580,96

USO DEL SUELO	Descripción uso de suelo	ÁREA (KM2)	B al 70%		C al 30%	
			CN	CN*A	CN	CN*A
Cultivos de ciclo corto - Pastos plantados	Área Cult.	43,02	61	1836,99	74	955,06
Frutales - Pastos plantados	Área Cult.	17,78	81	1008,12	88	469,39
Pastos plantados	Pastizales	2,70	79	149,22	86	69,62
Área urbana	Concreto/techo	7,09	85	422,06	90	191,52
<b>TOTAL</b>		<b>328,73</b>	<b>13944,57</b>	<b>7251,16</b>		

$$CN = \frac{13944,57 + 7251,16}{328,73} = 64,48$$

### Abstracción inicial por el método SCS.

La segunda hipótesis consiste en suponer que el umbral de escorrentía o abstracción inicial se ha evaluado como un 20% del total de la abstracción potencial después de haber realizado un estudio en distintas cuencas de Estados Unidos (Juncosa, 2010).

$$S = \frac{1000}{CN} - 10$$

– Donde  $S$ : retención pontencial máxima

$$S = \frac{1000}{64,48} - 10 = 5,508 \text{ pulg} = 139,90 \text{ mm}$$

$$Ia = 0.2 * S$$

– Donde  $Ia$ : Inicial de abstracción

$$Ia = 0,2 * 139,90 = 27,98 \text{ mm}$$

### Tiempo de concentración por la ecuación de retardo SCS.

El tiempo de concentración representa el tiempo que tarda en recorrer una gota de agua desde el punto más alejado de la cuenca hasta el punto de salida. Ayuda a comprender el comportamiento hidrológico de la cuenca.

Existen múltiples expresiones de cálculo realizadas por diferentes autores, sin embargo, considerando que el tamaño de la cuenca es relativamente, se utiliza el método de SCS (Soil Conservation Service) el cual proporciona una fórmula para estimar el tiempo de concentración de una cuenca en función de su tamaño, pendiente, longitud de flujo y características de uso del suelo.

$$t_c = \frac{L^{0.8} \left( \frac{1000}{CN} - 9 \right)^{0.7}}{1140 * S^{0.5}}$$

Donde:

$t_c$  = Tiempo de concentración (h)

L = Longitud hidráulica de la cuenca con mayor trayectoria de flujo (pies)

CN = Número de curva SCS

S = Pendiente promedio de la cuenca (%)

Reemplazando los valores obtenidos previamente se obtiene

$$t_c = \frac{167463,9^{0.8} \left( \frac{1000}{64,48} - 9 \right)^{0.7}}{1140 * 33,61^{0.5}}$$

$$t_c = 8,48 \text{ h} = 508,8 \text{ min}$$

## Estudio meteorológico

### ***Intensidad máxima de lluvia***

La intensidad de lluvia tiene dos efectos principales (a) el impacto de la lluvia sobre la superficie del suelo es más fuerte por unidad de tiempo, a medida que aumenta la intensidad, (b) la intensidad de la lluvia es la principal responsable de las variaciones en el escurrimiento. Ambos efectos de la intensidad son de importancia para los procesos de formación de escorrentía y de la erosión de los suelos (Departamento de Tierras y Aguas, 1982).

### **Curvas de intensidad – duración – frecuencia**

Son curvas que resultan de unir los puntos representativos de la intensidad media en intervalos de diferente duración, y correspondientes todos ellos a una misma frecuencia o periodo de retorno (Temez).

Se utilizan en hidrología para caracterizar la intensidad de la lluvia que relacionan su duración y la frecuencia con a que se puede presentar es decir su periodo de retorno. Estas curvas son de gran utilidad para la planificación de recursos hídricos y obras hidráulicas.

### **Intensidad**

Definimos a la intensidad como la cantidad de agua de lluvia que cae en un punto, por unidad de tiempo y ésta es inversamente proporcional a la duración de la tormenta. La intensidad es la tasa temporal de precipitación, es decir, la cantidad de agua que precipitó medida en milímetros por unidad de tiempo, esta intensidad puede ser instantánea o promedio, sobre la duración de la lluvia.

Generalmente se utiliza la intensidad promedio, que puede expresarse como:

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

Donde:

i = Intensidad (mm/h)

P = Precipitación (mm)

t = Duración (h)

### **Duración**

Es el intervalo de tiempo en minutos que transcurre desde el inicio hasta el final de una tormenta mientras no se registre un valor nulo de precipitación, en referencia a las curvas de Intensidad – Duración – Frecuencia, la duración de la lluvia es igual al tiempo de concentración para el área de drenaje en consideración, ya que la escorrentía alcanza su pico en el tiempo de concentración, cuando toda el área está contribuyendo al flujo en la salida (Comunicaciones, 2008).

Para el presente trabajo se utilizó las curvas IDF elaboradas por el (INAMHI, Determinación de ecuaciones para el cálculo de intensidades máximas de precipitación, 2015) donde desarrollaron para diferentes estaciones meteorológicas de Ecuador ecuaciones para el cálculo de intensidades máximas de precipitación en función del periodo de retorno.

Para el cálculo de la intensidad duración-frecuencia se presentan ecuaciones en función de la zona de estudio, el periodo de retorno y el tiempo de concentración. La determinación de ecuaciones para el cálculo de intensidades máximas de precipitaciones es propuesta por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología – INAMHI (2015).

Para la cuenca de estudio se utilizó la estación de Portoviejo M0005 que propone las siguientes ecuaciones

**Tabla 8**

*Ecuaciones estación M0005 Portoviejo*

ESTACIÓN		INTERVALO DE TIEMPO (minutos)	ECUACIONES	R	R2
CÓDIGO	NOMBRE				
M0005	PORTOVIEJO	5<120	$i = 175.897 * T^{0.2692} * tc^{-0.5042}$	0,9901	0,9802
		120<1440	$i = 891.120 * T^{0.2424} * tc^{-0.8418}$	0,9975	0,9950

Según el tiempo de concentración de la cuenca la ecuación que se utiliza es:

$$i = 891,120 * T^{0,2424} * tc^{-0,8418}$$

Donde:

$i$  = Intensidad, en mm/h

$T$  = Periodo de retorno, en años

$tc$  = Tiempo de concentración, en mm

En la **Tabla 9** se calcula las intensidades máximas de lluvia para los periodos de 10, 25, 50 y 100 años

**Tabla 9**

*Intensidades máximas de lluvia para periodos de 10, 25, 50 y 100 años*

<b><i>Tc Ecuación de retardo SCS (min)</i></b>	<b><i>TR (años)</i></b>	<b><i>i (mm/H)</i></b>	<b><i>PRECIPITACIÓN (mm)</i></b>
508,80	10	8,20	39,81
	25	10,24	86,86
	50	12,12	102,75
	100	14,33	121,55
<b><i>PRECIPITACIÓN PUNTUAL (mm)</i></b>	<b><i>FACTOR DE REDUCCIÓN</i></b>	<b><i>PRECIPITACIÓN (mm)</i></b>	
39,81	0,88	35,03	
86,86	0,88	76,44	
102,75	0,88	90,42	
121,55	0,88	106,97	

### ***Hietogramas de diseño modelación de lluvias***

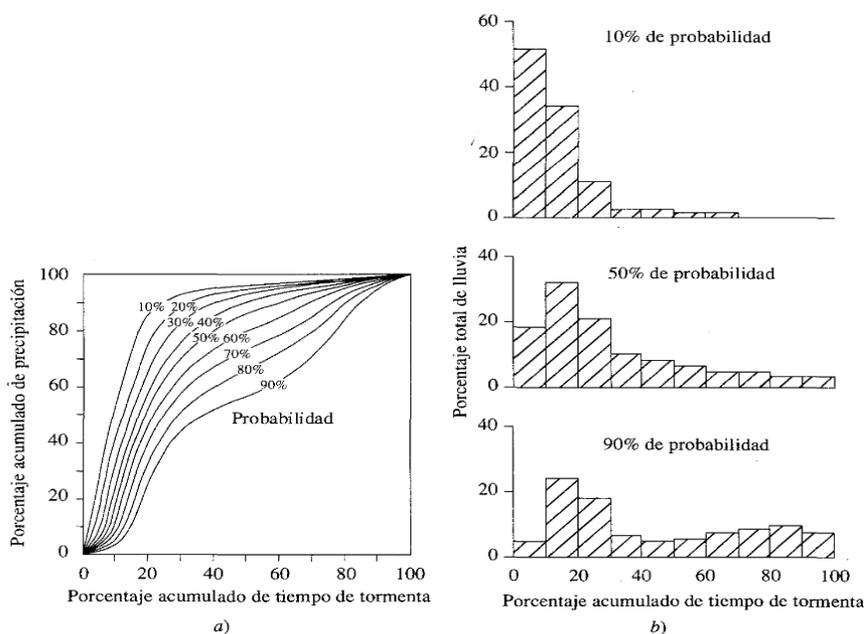
Según (Monsalve, 2009) los hietogramas son de las formas más utilizadas para representar tormentas de diseño, en los cuales, se debe considerar que la variación temporal de la intensidad de la lluvia es importante en la determinación del escurrimiento de la cuenca,

donde no sólo interesa el caudal máximo resultante, también la distribución de los volúmenes de escorrentía.

Por consiguiente, para (Chow, 1994), los patrones de distribución temporal “se desarrollaron para cuatro grupos de probabilidad, desde los más severos (pertenecientes al primer cuartil) hasta los menos severos (pertenecientes al cuarto cuartil)”, método conocido como los cuartiles de Huff.

## Figura 10

### Cuartiles de Huff



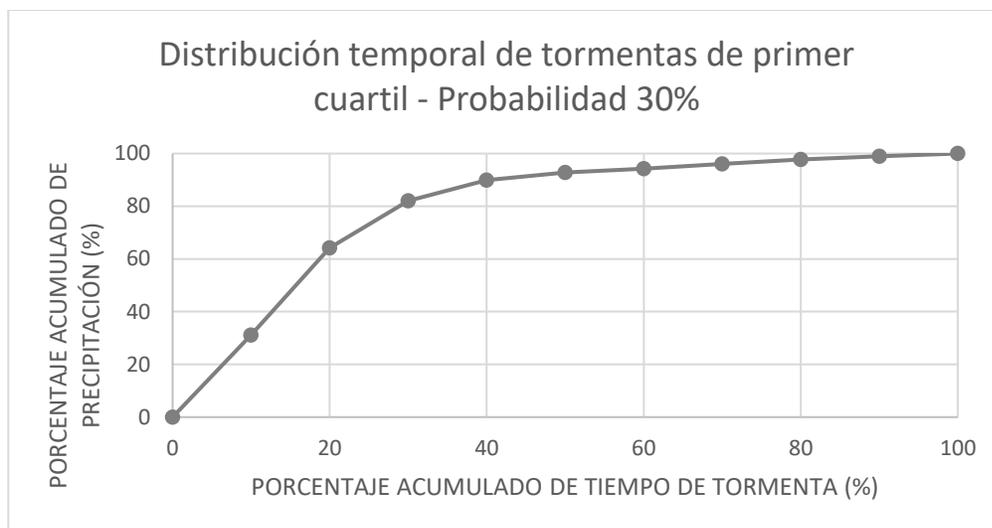
*Nota: Recuperado de Hidrología aplicada Ven Te Chow, 1992, pág. 472.*

En el caso de Ecuador, específicamente para la región costa, se conoce que la época de lluvias fuertes está comprendida entre los primeros meses del año y disminuye al comenzar el mes de julio.

Dicho de otro modo, se debe tomar el modelo de lluvias con una probabilidad del 30%, debido a que, Ecuador tiene un comportamiento de lluvias entre el hietograma de probabilidad del 10% y de 50%, ya que, presentan lluvias con grandes intensidades en poco tiempo.

**Figura 11**

*Distribución temporal de tormentas de primer cuartil – Probabilidad 30%*



Para generar el modelo de lluvias se toma los valores de precipitación y tiempo de la **Figura 11**, a estos valores se multiplica por la intensidad de lluvia y el tiempo de concentración respectivamente, para así tener como resultado el modelo de lluvia para cada periodo de retorno de la cuenca de estudio.

Se presentan así los modelos de las lluvias con periodos de retorno de 10, 25, 50 y 100 años utilizando el modelo de Huff para una distribución de probabilidad del 30% de la Subcuenca Río Chico.

**Tabla 10**

*Modelo de lluvias para T=10 años para Sub-cuenca Río Chico*

<b>Tiempo de retorno(T) =10 años; tc = 8,48 h</b>				
<b>PRECIPITACIÓN (mm)</b>	<b>Cuartil 1-probabilidad 30%</b>	<b>TIEMPO PRECIPITACIÓN (h)</b>	<b>Tiempo</b>	<b>Precipitación (mm)</b>
	0,00	0,00	0,00	0,000
35.03	0,10	0,29	0,85	10,159
	0,20	0,66	1,70	22,945

<b>Tiempo de retorno(T) =10 años; tc = 8,48 h</b>				
<b>PRECIPITACIÓN (mm)</b>	<b>Cuartil 1-probabilidad 30%</b>	<b>Tiempo</b>	<b>Precipitación</b>	
	<b>TIEMPO</b>	<b>PRECIPITACIÓN</b>	<b>(h)</b>	<b>(mm)</b>
	0,30	0,82	2,54	28,795
	0,40	0,89	3,39	31,177
	0,50	0,93	4,24	32,508
	0,60	0,95	5,09	33,454
	0,70	0,97	5,94	34,049
	0,80	0,99	6,78	34,540
	0,90	0,99	7,63	34,680
	1,00	1,00	8,48	35,030

**Tabla 11**

*Modelo de luvias para T=25 años para Sub-cuenca Río Chico*

<b>Tiempo de retorno(T) = 25 años; tc = 8,48 h</b>				
<b>PRECIPITACION (mm)</b>	<b>Cuartil 1-probabilidad 30%</b>	<b>Tiempo</b>	<b>Precipitación</b>	
	<b>TIEMPO</b>	<b>PRECIPITACIÓN</b>	<b>(h)</b>	<b>(mm)</b>
	0,00	0,00	0,00	0,000
	0,10	0,29	2,46	22,167
	0,20	0,66	5,55	50,066
	0,30	0,82	6,97	62,831
	0,40	0,89	7,55	68,029
76.44	0,50	0,93	7,87	70,934
	0,60	0,95	8,10	72,997
	0,70	0,97	8,24	74,297
	0,80	0,99	8,36	75,367
	0,90	0,99	8,40	75,673
	1,00	1,00	8,48	76,437

**Tabla 12***Modelo de llluvias para T=50 años para Sub-cuenca Río Chico*

<b>Tiempo de retorno(T) = 50 años; tc = 8,48 h</b>				
<b>PRECIPITACIÓN (mm)</b>	<b>Cuartil 1-probabilidad 30%</b>	<b>Tiempo</b>	<b>Precipitación</b>	
	<b>TIEMPO</b>	<b>PRECIPITACIÓN</b>	<b>(h)</b>	<b>(mm)</b>
	0,00	0,00	0,00	0,000
	0,10	0,29	2,46	26,222
	0,20	0,66	5,55	59,226
	0,30	0,82	6,97	74,327
	0,40	0,89	7,55	80,476
90.42	0,50	0,93	7,87	83,912
	0,60	0,95	8,10	86,353
	0,70	0,97	8,24	87,890
	0,80	0,99	8,36	89,156
	0,90	0,99	8,40	89,518
	1,00	1,00	8,48	90,422

**Tabla 13***Modelo de llluvias para T=100 años para Sub - cuenca río Chico*

<b>Tiempo de retorno(T) = 100 años; tc = 8,48 h</b>				
<b>PRECIPITACIÓN (mm)</b>	<b>Cuartil 1-probabilidad 30%</b>	<b>Tiempo</b>	<b>Precipitación</b>	
	<b>TIEMPO</b>	<b>PRECIPITACIÓN</b>	<b>(h)</b>	<b>(mm)</b>
	0,00	0,00	0,00	0,000
	0,10	0,29	2,46	31,020
	0,20	0,66	5,55	70,062
	0,30	0,82	6,97	87,926
	0,40	0,89	7,55	95,199
106.97	0,50	0,93	7,87	99,264
	0,60	0,95	8,10	102,152
	0,70	0,97	8,24	103,970
	0,80	0,99	8,36	105,468
	0,90	0,99	8,40	105,896
	1,00	1,00	8,48	106,965

Por consiguiente, se debe ingresar el hietograma al programa HEC-HMS, para el cual se realiza el modelo de lluvia considerando un intervalo constante de tiempo, para este caso específico el intervalo de tiempo será cada 10 minutos calculando la precipitación para cada intervalo.

Se muestra a continuación en la **Tabla 14** los datos de los hietogramas en intervalos de 10 minutos para los periodos de retorno de 10, 25, 50 y 100 años de la Subcuenca Río Chico.

**Tabla 14**

*Hietogramas para periodos de retorno de 10, 25, 50 y 100 años de la Subcuenca Río Chico*

<b>HIETOGRAMAS PARA HEC-HMS</b>					
<b>#</b>	<b>TIEMPO</b>	<b>T=10 AÑOS</b>	<b>T=25 AÑOS</b>	<b>T=50 AÑOS</b>	<b>T=100 AÑOS</b>
0	0:00:00	0,00	0,00	0,00	0,00
1	0:10:00	2,00	4,36	5,15	6,10
2	0:20:00	3,99	8,71	10,31	12,19
3	0:30:00	5,99	13,07	15,46	18,29
4	0:40:00	7,99	17,43	20,62	24,39
5	0:50:00	9,98	21,78	25,77	30,48
6	1:00:00	12,45	27,17	32,14	38,02
7	1:10:00	14,96	32,65	38,62	45,69
8	1:20:00	17,48	38,13	45,11	53,36
9	1:30:00	19,99	43,62	51,60	61,04
10	1:40:00	22,50	49,10	58,08	68,71
11	1:50:00	23,89	52,13	61,67	72,96
12	2:00:00	25,04	54,64	64,64	76,47
13	2:10:00	26,19	57,15	67,61	79,98
14	2:20:00	27,34	59,66	70,58	83,49
15	2:30:00	28,49	62,17	73,54	87,00
16	2:40:00	29,14	63,58	75,22	88,98
17	2:50:00	29,61	64,60	76,42	90,41
18	3:00:00	30,08	65,63	77,63	91,84
19	3:10:00	30,54	66,65	78,84	93,27

<b>HIETOGRAMAS PARA HEC-HMS</b>					
<b>#</b>	<b>TIEMPO</b>	<b>T=10 AÑOS</b>	<b>T=25 AÑOS</b>	<b>T=50 AÑOS</b>	<b>T=100 AÑOS</b>
20	3:20:00	31,01	67,67	80,05	94,70
21	3:30:00	31,35	68,40	80,91	95,72
22	3:40:00	31,61	68,97	81,59	96,52
23	3:50:00	31,87	69,54	82,26	97,31
24	4:00:00	32,13	70,11	82,94	98,11
25	4:10:00	32,39	70,68	83,61	98,91
26	4:20:00	32,61	71,16	84,18	99,58
27	4:30:00	32,80	71,57	84,66	100,15
28	4:40:00	32,98	71,97	85,14	100,72
29	4:50:00	33,17	72,38	85,62	101,28
30	5:00:00	33,36	72,78	86,10	101,85
31	5:10:00	33,51	73,12	86,50	102,32
32	5:20:00	33,63	73,37	86,80	102,68
33	5:30:00	33,74	73,63	87,10	103,04
34	5:40:00	33,86	73,88	87,40	103,39
35	5:50:00	33,98	74,14	87,70	103,75
36	6:00:00	34,09	74,38	87,99	104,08
37	6:10:00	34,18	74,59	88,23	104,38
38	6:20:00	34,28	74,80	88,48	104,67
39	6:30:00	34,38	75,01	88,73	104,97
40	6:40:00	34,47	75,22	88,98	105,26
41	6:50:00	34,55	75,38	89,18	105,49
42	7:00:00	34,58	75,44	89,25	105,58
43	7:10:00	34,60	75,50	89,32	105,66
44	7:20:00	34,63	75,57	89,39	105,75
45	7:30:00	34,66	75,63	89,46	105,83
46	7:40:00	34,69	75,70	89,55	105,94
47	7:50:00	34,76	75,85	89,73	106,15
48	8:00:00	34,83	76,00	89,91	106,36
49	8:10:00	34,90	76,15	90,09	106,57
50	8:20:00	34,97	76,30	90,27	106,78
51	8:30:00	35,03	76,44	90,42	106,97

## Caudales máximos mediante un modelo hidrológico utilizando HEC-HMS

### *Modelo de la cuenca*

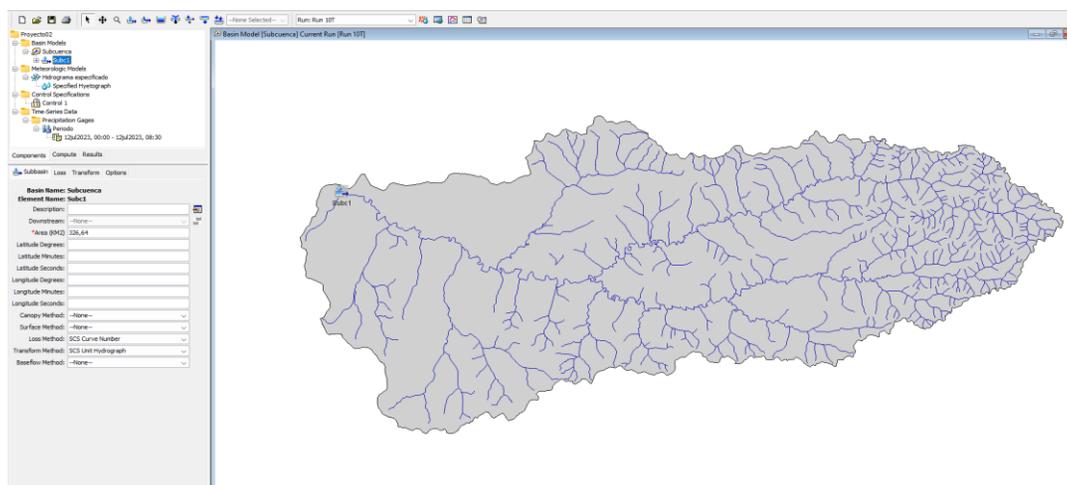
HMS es un programa que calcula el hidrograma producido por una cuenca al proporcionarle datos como las características de la cuenca o subcuenca y datos de precipitaciones.

Dentro de este marco se destacan 4 grandes fases de trabajo que maneja el programa de las cuales se tiene que:

- *A. Canopy, Surface, Loss*: Separación de la lluvia neta (calcular qué parte de la precipitación caída va a generar escorrentía directa).
- *B. Transform*: Calcular la escorrentía directa producida por esa precipitación neta.
- *C. Baseflow*: Sumar a la escorrentía directa la escorrentía básica, si existía previamente. Calcular la evolución de la escorrentía básica a lo largo del tiempo.
- *D. Routing*: Calcular cómo evoluciona un hidrograma a medida que discurre a lo largo de un cauce o a través de un depósito o embalse; eso se denomina “tránsito de hidrogramas” (HEC-HMS, 2015).

### Figura 12

#### *Modelo HEC-HMS subcuenca río Chico*



### Número de curva CN del SCS.

El número de Curva CN es un parámetro que se obtiene de la relación del tipo y uso del suelo de la cuenca de estudio, previamente obtenido en la sección 2.3.2.2, el mismo que debe ingresar como dato en el modelo del programa HEC-HMS.

### Hidrograma unitario e hidrograma unitario sintético.

Según (Chow, 1994) define al hidrograma unitario como “el hidrograma unitario de escorrentía directa resultante de 1 cm de exceso de lluvia generado uniformemente sobre el área de drenaje a una tasa constante a lo largo de una duración efectiva (pág. 220)”, es decir, se puede inferir el hidrograma resultante de cualquier cantidad de exceso de lluvia.

A su vez, (Chow, 1994), menciona que, un hidrograma unitario sintético es aquel que el caudal se expresa por la relación del caudal  $q$  con respecto al caudal pico  $q_p$  y el tiempo por la relación del tiempo  $t$  con respecto de ocurrencia del pico en el hidrograma unitario,  $T_p$ . Dado el caudal de pico y el tiempo de retardo para la duración de exceso de precipitación, el hidrograma unitario puede estimarse a partir del hidrograma sintético adimensional para la cuenca dada.

En consecuencia, para la modelación dentro del programa se emplea un parámetro para su aplicación, conocido como SCS lag ( $T_p$ ) o Lag-Time que es igual a 0.6 del tiempo de concentración, los resultados se muestran en la **Tabla 15**

**Tabla 15**

*Tiempo de concentración y Lag Time de la Subcuenca Río Chico*

PARÁMETROS	VALOR	UNIDAD
Tiempo de Concentración ( $T_c$ )	508,86	min
Lag Time = $0,6 \cdot T_c$	305,31	min

### **Modelo meteorológico**

El modelo meteorológico utiliza datos de precipitaciones, evapotranspiración, entre otros, y los asigna a la subcuenca, aquí es donde hacemos uso de las tormentas de diseño previamente obtenidas por medio de la creación de pluviómetros (HEC-HMS, 2015).

### **Modelo de control**

Las especificaciones de control indican cuando debe empezar y terminar de calcular y el incremento del tiempo, es decir, determinan el tiempo de duración de cada corrida de una simulación (HEC-HMS, 2015).

Se presenta en la **Tabla 16** los resultados de caudales máximos obtenidos de la corrida del programa HEC-HMS para los periodos de retorno de 10, 25, 50 y 100 años de la subcuenca Río Chico.

**Tabla 16**

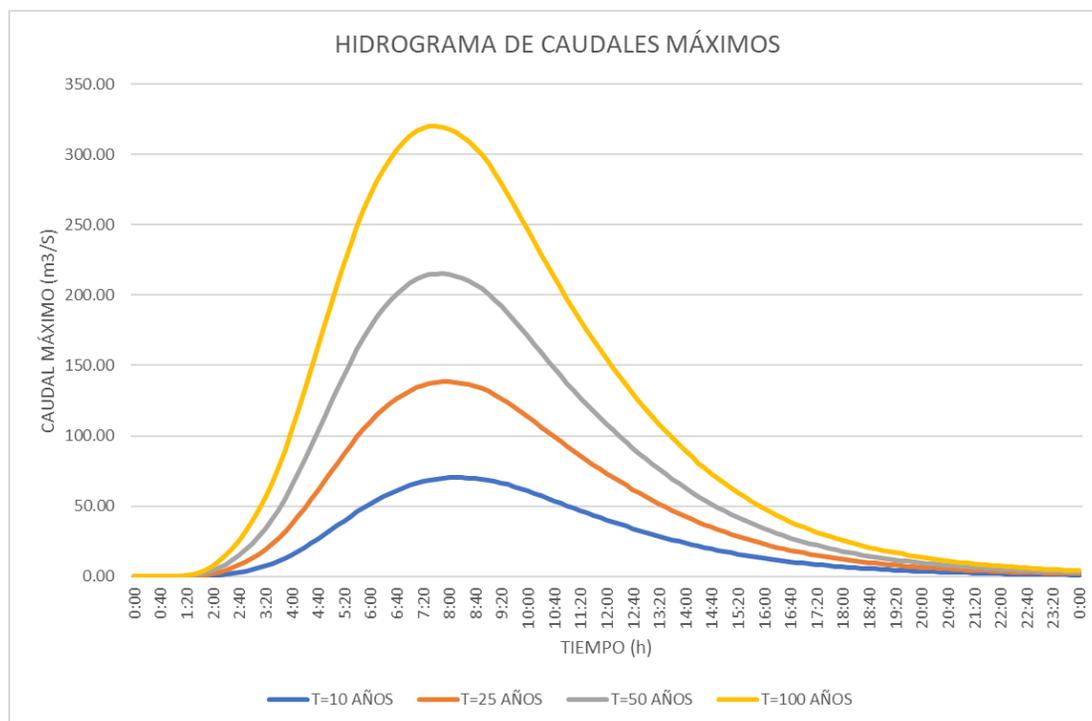
*Caudales máximos – Subcuenca Río Chico*

<b>CAUDALES MÁXIMOS</b>				
<b>T (años)</b>	<b>Tc (horas)</b>	<b>I (mm/h)</b>	<b>Caudal Máximo (m3/s)</b>	<b>Caudal específico (m3/s/km2)</b>
10		4,69	70,10	0,218
25	8,48	10,24	138,40	0,430
50		12,12	215,20	0,669
100		14,33	320,00	0,995

Se presenta en la **Figura 13** los hidrogramas de máximas crecidas a cada periodo de retorno requerido para el análisis de la subcuenca Río Chico.

**Figura 13**

*Hidrogramas de caudales máximos – Subcuenca Río Chico*



### **Caudal de diseño**

Se debe considerar que el caudal de diseño debe estar orientado a satisfacer los objetivos del presente proyecto, es por lo que, siendo un proyecto de obras de protección para el control de inundaciones se debe estimar el peor de los casos posibles, dicho de otra forma, se diseña con el caudal con mayor tiempo de retorno.

**Tabla 17**

*Caudal de Diseño*

<b>CAUDALES MÁXIMOS</b>	
<b>T</b>	<b>Caudal Máximo</b>
<b>(años)</b>	<b>(m<sup>3</sup>/s)</b>
10	70,10

<b>CAUDALES MÁXIMOS</b>	
<b>T</b>	<b>Caudal Máximo</b>
<b>(años)</b>	<b>(m<sup>3</sup>/s)</b>
25	138,40
50	215,20
100	320,00

### **Capítulo III**

#### **Estudio hidráulico**

##### **Modelación hidráulica del río Chico en Abdón Calderón**

El estudio hidráulico se enfoca de manera específica a las zonas pobladas cercanas a los márgenes del río, con el fin de identificar los niveles de agua que alcanzan las crecientes extremas para un periodo de retorno de 10, 25, 50 y 100 años. Realizar este análisis es de suma importancia pues las inundaciones pueden resultar en impactos devastadores tanto para las infraestructuras como para la seguridad de los habitantes.

Para la modelación hidráulica se utilizó el software libre HEC-RAS el cual nos permite simular el flujo del agua y evaluarlo para diferentes condiciones. Se ha realizado un modelo unidimensional para simplificar el análisis hidráulico, tomando como parámetros de entrada las secciones transversales correspondientes a la geometría del río, pendiente del río aguas arriba y aguas abajo, coeficiente de Manning y caudales de diseño para los diferentes periodos de retorno.

##### ***Modelación de crecientes extremas***

Se realiza la modelación hidráulica de un tramo del río Chico de 3800 metros de longitud, correspondientes a las zonas más cercanas a la población, a una altura de 45 msnm aguas arriba y 40 msnm aguas abajo.

La pendiente aguas abajo del tramo de estudio se ha calculado igual al 0,014%, obtenida de la información satelital y comprobada en campo. Para detalles del coeficiente de rugosidad de Manning, se ha revisado los estudios realizados por Ven Te Chow, donde relaciona la vegetación, el material del lecho, el ancho del cauce y el grado de los meandros para definirlo. Los valores sugeridos en esta bibliografía se encuentran entre 0,029 a 0,045.

### **Calibración.**

Utilizando el modelo computacional HEC-RAS 1D, la calibración consiste en obtener el valor del coeficiente de rugosidad de Manning, mediante un proceso iterativo que permite generar los calados y velocidades del flujo registrados en campo. El nivel del agua reportado fue de 2.07 m y una velocidad máxima de 1,39 m/s.

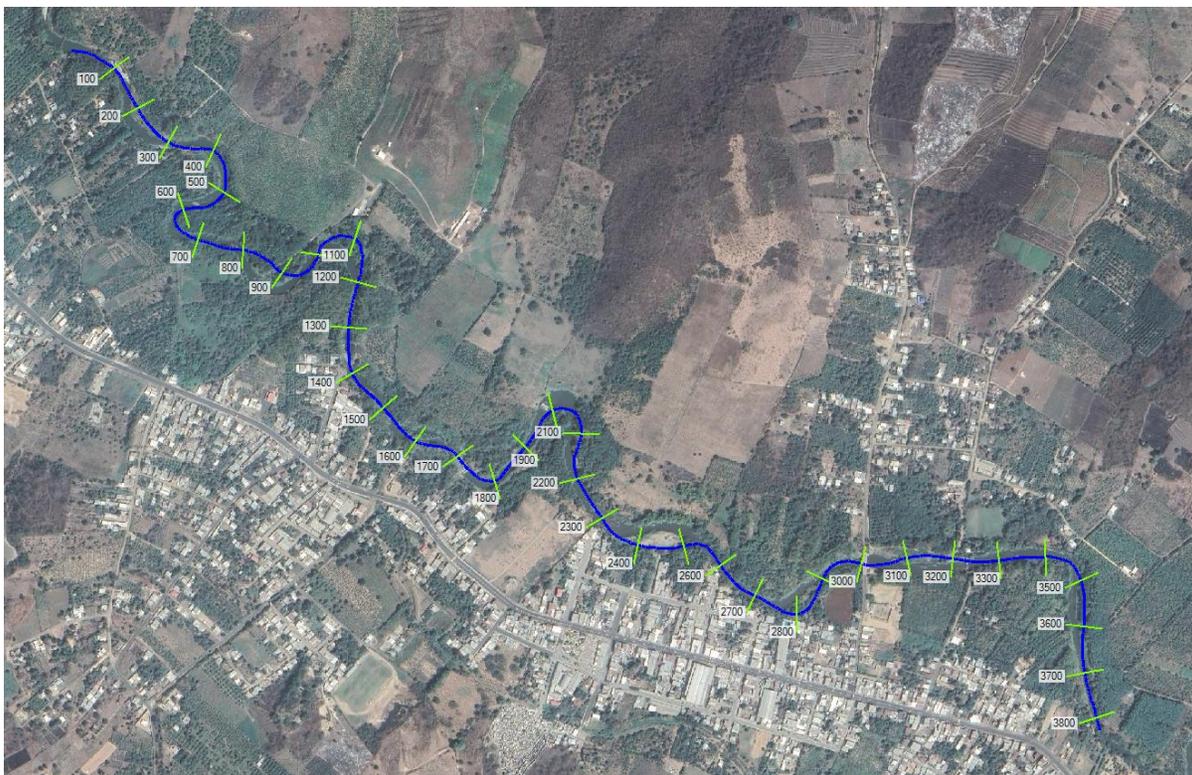
Se ha realizado varias corridas, hasta obtener el valor del coeficiente de rugosidad de Manning que regenera los datos registrados. Con este procedimiento, se ha obtenido un coeficiente de rugosidad de Manning igual a 0,025.

### **Secciones asumidas.**

Debido al costo excesivo que representa realizar una batimetría para este proyecto netamente académico, se ha asumido las diferentes secciones del río cada 100 metros en base a la profundidad asumida en campo. Además, utilizando una herramienta de interpolación propia del programa HEC-RAS se las ha interpolado las secciones cada 20 metros para obtener resultados más precisos. Revisar Anexo A.

### **Figura 14**

*Abscisado y eje principal río Chico*



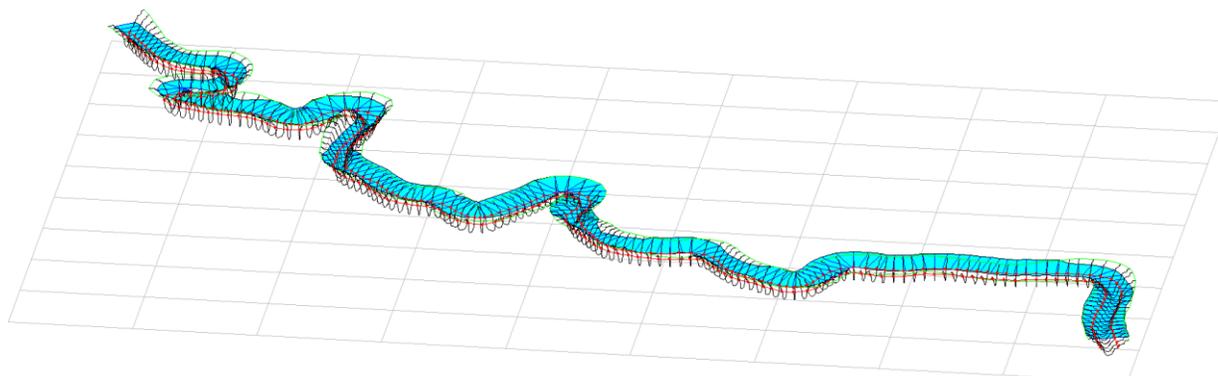
### Resultados del modelo.

En la Figura 15 se evidencia que el nivel de crecida máxima supera al nivel natural del terreno provocando el desbordamiento del río, además de las afectaciones a la infraestructura local se tiene una amenaza por sedimentación, pues al seguir un flujo subcrítico se pueden generar depósitos de sedimentos y modificar su morfología obteniendo como consecuencia secciones más estrechas equivalente a velocidades altas y dando como resultado la erosión del suelo. Entre las diferentes alternativas, se opta por la construcción de muros de gaviones en los bordes laterales del río asumiendo la altura a la cual crecerá el mismo.

### Figura 15

*Modelo unidimensional, TR = 100 años.*

Legend	
	WS PF 4
	Ground
	Bank Sta
	Ground



### **Muro de gaviones**

Los muros de gaviones son cajones de malla de alambre galvanizado que se rellenan de cantos de roca. Son estructuras de gravedad, por su flexibilidad puede deformarse fácilmente al ser sometido a presiones (Contreras, 2017).

#### **Altura muro de gaviones.**

A partir de los resultados del modelo se determinó que es necesario diseñar tres tipos de muros de gaviones cuyas alturas comprenden de 2 y 3 metros, con la finalidad de satisfacer la demanda hidráulica para distintos tramos y así proteger a la población del riesgo de inundación.

#### **Diseño de muro de Gaviones.**

- Datos para el diseño:

$$\text{Peso del terreno: } \gamma_s = 1,89 \frac{tn}{m^3}$$

$$\text{Peso de la piedra (caliza): } \gamma_r = 2,70 \frac{tn}{m^3}$$

$$\text{Ángulo de fricción del suelo: } \phi = 28,0^\circ$$

$$\text{Ángulo que forma el relleno: } \beta = 0,00^\circ$$

$$\text{Capacidad portante del suelo: } \sigma_s = 0,85 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

### Muro de gaviones H = 3m

- **Geometría del muro:**

$$\text{Altura de cada bloque: } h_B = 1,00 \text{ m}$$

$$\text{Ancho de cada bloque: } B_B = 1,00 \text{ m}$$

$$\text{Altura total del muro: } H_T = 3,00 \text{ m}$$

1. Predimensionamiento de la base:

$$B = \frac{1}{2}(1 + H_T)$$

$$B = \frac{1}{2}(1 + 3,0) = 2 \text{ m; por objeto de diseño se opta por una base de 3,0 m}$$

$$B = 3,0 \text{ m}$$

2. Cálculo del empuje activo:

- Coeficiente de empuje activo:

$$K_a = \cos\beta \left( \frac{\cos\beta - \sqrt{\cos^2\beta - \cos^2\phi}}{\cos\beta + \sqrt{\cos^2\beta - \cos^2\phi}} \right)$$

$$K_a = 0,36$$

- Empuje activo:

$$E_A = \frac{1}{2} * K_a * \gamma_s * H_T^2$$

$$E_A = \frac{1}{2} * 0,36 * 1,89 * 3,00^2$$

$$E_A = 3,07 \text{ Tn}$$

- Altura de aplicación del empuje activo:

$$Y = \frac{H_T}{3}$$

$$Y = \frac{3,0}{3} = 1,0 \text{ m}$$

### 3. Análisis de la estabilidad:

- Cálculo del peso total y momento resistente:

**Tabla 18**

*Momento resistente – Muro H=3*

<i>FIG.</i>	<i>TIPO</i>	<i>ÁREA</i> <i>(m<sup>2</sup>)</i>	<i>PESO</i> <i>UNITARIO</i>	<i>PESO</i> <i>PARCIAL</i>	<i>BRAZO X</i> <i>(m)</i>	<i>MOMENTO</i> <i>(tn-m)</i>
I	Gavión	1,00	2,70 tn/m <sup>3</sup>	2,70 tn/m	0,50	1,35
II	Gavión	1,00	2,70 tn/m <sup>3</sup>	2,70 tn/m	1,50	4,05
III	Gavión	1,00	2,70 tn/m <sup>3</sup>	2,70 tn/m	2,50	6,75
IV	Gavión	1,00	2,70 tn/m <sup>3</sup>	2,70 tn/m	1,00	2,70
V	Gavión	1,00	2,70 tn/m <sup>3</sup>	2,70 tn/m	2,00	5,40
VI	Gavión	1,00	2,70 tn/m <sup>3</sup>	2,70 tn/m	1,50	4,05
			Σ =	16,20 tn/m	Σ =	24,30

*Peso total: P = 16,20 Tn*

*Momento resistente: M<sub>r</sub> = 24,30 Tn – m*

### 4. Cálculo de las fuerzas actuantes en el muro de contención:

- Momento producido por el empuje activo:

$$M_A = E_A * Y$$

$$M_A = 3,07 \text{ Tn} * 1,0 \text{ m}$$

$$M_A = 3,07 \text{ Tn} - \text{m}$$

5. Verificación por deslizamiento:

- Factor de seguridad por deslizamiento: FSD = 1,50

$$\frac{f * P}{E_A} \geq FSD$$

$$\text{donde } f = \text{tg}\phi \leq 0,60$$

$$f = 0,45$$

$$\frac{0,45 * 16,20}{3,07} \geq 1,50$$

$$2,37 \geq 1,50 \quad \mathbf{OK}$$

6. Verificación por volteo:

- Factor de seguridad por volteo: FSV = 2,00

$$\frac{M_r}{M_A} \geq FSD$$

$$\frac{24,3}{3,07} \geq 2,00$$

$$7,91 \geq 2,00 \quad \mathbf{OK}$$

7. Verificación de presiones sobre el terreno:

- Punto de aplicación de la fuerza resultante:

$$X_o = \frac{M_r - M_A}{P}$$

$$X_o = \frac{24,3 - 3,07}{16,20} = 1,31 \text{ m}$$

- Excentricidad de la fuerza resultante:

$$e = \frac{B}{2} - X_o$$

$$e = \frac{3,0}{2} - 1,31 = 0,19 \text{ m}$$

Se debe cumplir que:

$$e < \frac{B}{6}$$

$$0,19 < 0,50 \text{ OK}$$

- Verificar las presiones de contacto entre el suelo y el muro:

$$\sigma = \frac{P}{B} \left[ 1 \pm \frac{6 * e}{B} \right]$$

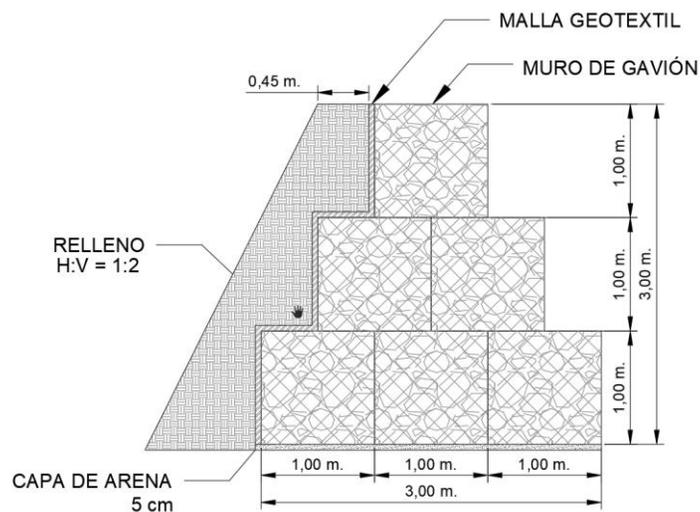
$$\sigma = \frac{16,20}{3,0} \left[ 1 \pm \frac{6 * 0,19}{3,0} \right]$$

$$\sigma_1 = 0,74 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} < 0,85 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \text{ OK}$$

$$\sigma_2 = 0,34 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} < 0,85 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \text{ OK}$$

**Figura 16**

Detalle muro de gaviones H=3 m



### Muro de gaviones H = 2m

- **Geometría del muro:**

*Altura de cada bloque:  $h_B = 1,00 \text{ m}$*

*Ancho de cada bloque:  $B_B = 1,00 \text{ m}$*

*Altura total del muro:  $H_T = 2,00 \text{ m}$*

8. Predimensionamiento de la base:

$$B = \frac{1}{2}(1 + H_T)$$

$$B = \frac{1}{2}(1 + 2,0) = 1,50 \text{ m}; \text{ por objeto de diseño se opta por una base de } 2,0 \text{ m}$$

$$B = 2,0 \text{ m}$$

9. Cálculo del empuje activo:

- Coeficiente de empuje activo:

$$K_a = \cos\beta \left( \frac{\cos\beta - \sqrt{\cos\beta^2 - \cos\phi^2}}{\cos\beta + \sqrt{\cos\beta^2 - \cos\phi^2}} \right)$$

$$K_a = 0,36$$

- Empuje activo:

$$E_A = \frac{1}{2} * K_a * \gamma_S * H_T^2$$

$$E_A = \frac{1}{2} * 0,36 * 1,89 * 2,00^2$$

$$E_A = 1,36 \text{ Tn}$$

- Altura de aplicación del empuje activo:

$$Y = \frac{H_T}{3}$$

$$Y = \frac{2,0}{3} = 0,67 \text{ m}$$

10. Análisis de la estabilidad:

- Cálculo del peso total y momento resistente:

**Tabla 19**

*Momento resistente - Muro H=2*

<b>FIG.</b>	<b>TIPO</b>	<b>ÁREA</b> <b>(m<sup>2</sup>)</b>	<b>PESO</b> <b>UNITARIO</b>	<b>PESO</b> <b>PARCIAL</b>	<b>BRAZO X</b> <b>(m)</b>	<b>MOMENTO</b> <b>(tn-m)</b>
I	Gavión	1,00	2,70 tn/m <sup>3</sup>	2,70 tn/m	0,50	1,35
II	Gavión	1,00	2,70 tn/m <sup>3</sup>	2,70 tn/m	1,50	4,05
III	Gavión	1,00	2,70 tn/m <sup>3</sup>	2,70 tn/m	1,00	2,70
			Σ =	8,10 tn/m	Σ =	8,10

$$\text{Peso total: } P = 8,10 \text{ Tn}$$

$$\text{Momento resistente: } M_r = 8,10 \text{ Tn}$$

11. Cálculo de las fuerzas actuantes en el muro de contención:

- Momento producido por el empuje activo:

$$M_A = E_A * Y$$

$$M_A = 1,37 \text{ Tn} * 0,67 \text{ m}$$

$$M_A = 0,91 \text{ Tn} - \text{m}$$

12. Verificación por deslizamiento:

- Factor de seguridad por deslizamiento: FSD = 1,50

$$\frac{f * P}{E_A} \geq FSD$$

donde  $f = tg\phi \leq 0,60$

$$f = 0,45$$

$$\frac{0,45 * 8,10}{1,37} \geq 1,50$$

$$2,67 \geq 1,50 \quad \mathbf{OK}$$

13. Verificación por volteo:

- Factor de seguridad por volteo: FSV = 2,00

$$\frac{M_r}{M_A} \geq FSD$$

$$\frac{8,10}{0,91} \geq 2,00$$

$$8,90 \geq 2,00 \quad \mathbf{OK}$$

14. Verificación de presiones sobre el terreno:

- Punto de aplicación de la fuerza resultante:

$$X_o = \frac{M_r - M_A}{P}$$

$$X_o = \frac{8,10 - 0,91}{8,10} = 0,89 \text{ m}$$

- Excentricidad de la fuerza resultante:

$$e = \frac{B}{2} - X_o$$

$$e = \frac{2,0}{2} - 0,89 = 0,11 \text{ m}$$

Se debe cumplir que:

$$e < \frac{B}{6}$$

$$0,11 < 0,33 \quad \mathbf{OK}$$

- Verificar las presiones de contacto entre el suelo y el muro:

$$\sigma = \frac{P}{B} \left[ 1 \pm \frac{6 * e}{B} \right]$$

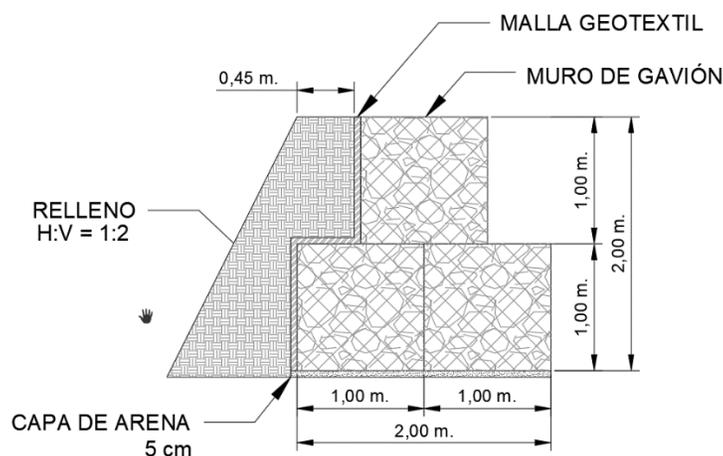
$$\sigma = \frac{8,10}{2,0} \left[ 1 \pm \frac{6 * 0,11}{2,0} \right]$$

$$\sigma_1 = 0,54 \frac{kg}{cm^2} < 0,85 \frac{kg}{cm^2} \quad \mathbf{OK}$$

$$\sigma_2 = 0,27 \frac{kg}{cm^2} < 0,85 \frac{kg}{cm^2} \quad \mathbf{OK}$$

### Figura 17

Detalle muro de gaviones  $H = 2 \text{ m}$



### Modelación de crecientes extremas aplicando muro de gaviones

#### Aplicación de muro de gaviones.

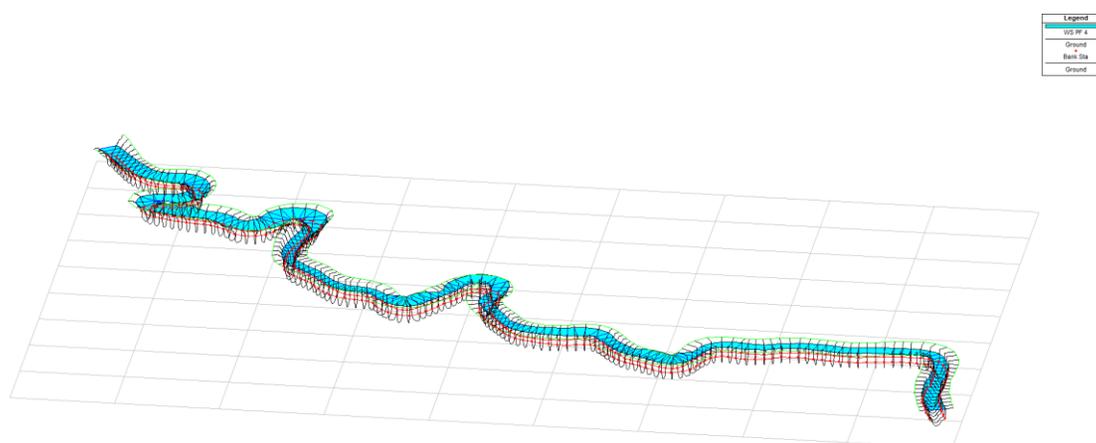
Analizando las zonas de afectación por la crecida el río, se establecen tramos con nuevas secciones con el fin de recrear la altura del muro únicamente donde se genere inundaciones, manteniendo los parámetros iniciales como coeficiente de Manning, pendientes y caudales máximos, se modela nuevamente para analizar el flujo hidráulico que se genera y para corroborar que dicha altura es adecuada.

## Resultados del modelo.

En la Figura 16 se evidencia que el nivel de crecida máximo se mantiene por debajo del nivel del terreno y de los muros, indicándonos que las alturas asumidas de los muros de gaviones son correctas.

## Figura 18

Modelo unidimensional aplicando muros, TR = 100 años.



## Análisis presupuestario

Los volúmenes de obra son calculados a partir de los diseños estructurales presentados en apartados anteriores.

## Tabla 20

Presupuesto referencial calculado para la obra de protección contra inundaciones

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE				
DISEÑO DE OBRAS DE PROTECCIÓN PARA INUNDACIONES DE LA PARROQUIA ABDÓN CALDERÓN DEL CANTÓN PORTOVIEJO PROVINCIA DE MANABÍ				
RUBRO	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL
PRELIMINARES				

**UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE**

**DISEÑO DE OBRAS DE PROTECCIÓN PARA INUNDACIONES DE LA PARROQUIA  
ABDÓN CALDERÓN DEL CANTÓN PORTOVIEJO PROVINCIA DE MANABÍ**

	<b>RUBRO</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>COSTO UNITARIO</b>	<b>COSTO TOTAL</b>
1	REPLANTEO Y NIVELACIÓN CON EQUI. TOPOG. (SUPERFICIES)	m2	11977,00	\$ 1,27	\$ 15.186,30
2	DESBROCE Y LIMPIEZA DE TERRENO INC. DESALOJO MOVIMIENTO DE TIERRAS	m2	11977,00	\$ 1,42	\$ 17.057,44
3	EXCAVACIÓN A MÁQUINA H=0,00-2,00M	m3	6688,00	\$ 2,50	\$ 16.689,13
4	DESALOJO CON VOLQUETE HASTA 20 KM CON MATERIAL CARGADO A MÁQUINA <b>SOBREESTRUCTURA</b>	m3	8025,60	\$ 2,41	\$ 19.312,72
5	MURO DE GAVIONES	m3	23406,00	\$ 68,70	\$ 1.607.906,59
6	MALLA GEOTEXTIL PARA GAVIONES	m2	19779,00	\$ 2,79	\$ 55.244,95
7	RELLENO PARA PROTECCIÓN DE MALLA GEOTEXTIL	m3	8358,59	\$ 3,63	\$ 30.348,92
				<b>TOTAL</b>	<b>\$ 1.761.746,06</b>

*Nota. El presupuesto mostrado trabaja con un porcentaje de costos indirectos del 15% y sus precios unitarios son extraídos de la Cámara de la Industria de la Construcción y del SERCOP.*

### Capítulo IV

#### Conclusiones

- La subcuenca del río Chico donde se encuentra la parroquia de Abdón Calderón, presenta un área total de 321,64 km<sup>2</sup> y pendiente promedio de 33,61%, así como también, la longitud del cauce principal es de 51,04 km y cuyo punto más elevado de la cuenca hidrográfica se encuentra en los 460 msnm.
- Como resultado del modelo hidrológico se obtiene los hidrogramas de caudales máximos para distintos tiempos de retorno de 10, 25, 50 y 100 años obteniendo

caudales máximos de 70,10 m<sup>3</sup>/s, 138,40 m<sup>3</sup>/s, 215,20 m<sup>3</sup>/s y 320.00 m<sup>3</sup>/s respectivamente, mismos que se utilizaron para la modelación de inundación en la parroquia Abdón Calderón.

- En base al modelo hidráulico realizado se ha concluido que a partir del caudal de 215,20 m<sup>3</sup>/s correspondiente al periodo de retorno de 50 años, se genera desbordamiento del río Chico ocasionando las primeras afectaciones por inundación en la población de la parroquia Abdón Calderón.
- Mediante el software libre HEC-RAS se determinó las áreas de inundación a lo largo de la población aledaña al río Chico dando como resultado que la altura máxima del muro de gavión para prevenir la inundación es de 3m y la altura mínima es de 2m, para un periodo de retorno de 100 años considerando al mismo como el escenario más catastrófico.
- La solución para mitigar las inundaciones en la parroquia Abdón Calderón son los muros de gaviones, puesto que, trabajan a gravedad y tienen capacidad de resistencia contra el agua, es decir, que existirá daño sin embargo aún se mantendrá en funcionamiento, se tiene así la implementación de dichos muros durante una extensión de 4,18 km con un presupuesto tentativo de \$1.761.746,06 dólares.

### **Recomendaciones**

- La información cartográfica disponible en el Geoportal del SIGTIERRAS data del año 2015 y es de una escala mayor a las necesarias para implementar proyectos de construcción, por lo tanto, se recomienda realizar el levantamiento topográfico para mejorar la precisión de las zonas de inundación.
- Durante el modelamiento hidráulico es necesario realizar una correcta calibración del modelo donde se regenere los calados y velocidades de flujo registrados durante la

salida de campo, por ello, se recomienda realizar el estudio batimétrico con la finalidad de disminuir la incertidumbre de toma de datos.

- Tras la evaluación de las zonas de inundación es recomendable que se realice un mejoramiento del sistema de alcantarillado de la parroquia de Abdón Calderón, ya que, su zona central se ve afectada por inundaciones debido a estancamientos y problemas de desfogue en sus alcantarillas.
- Al realizar las salidas de campo se visualizó la construcción de viviendas y edificaciones cerca de la orilla del río donde se evidencia la escasez organizacional en el desarrollo territorial, por lo que, se debe priorizar el control y cumplimiento de normativa por parte de los gobiernos sectoriales.

## **Bibliografía**

Aparicio, G. J. (1992). *Fundamentos de Hidrología de Superficie*. Grupo Noriega Editores.

*Banco Mundial*. (29 de Marzo de 2023). Obtenido de Banco Mundial:

<https://www.bancomundial.org/es/country/ecuador/overview#:~:text=La%20econom%C3%ADa%20est%C3%A1%20recuper%C3%A1ndose%20paulatinamente,de%20capitales%20la%20elevada%20informalidad%20>

Chow, M. &. (1994). *Hidrología Aplicada*. Bogotá.

Comunicaciones, M. d. (2008). *Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje*. Lima.

Departamento de Tierras y Aguas, S. (Diciembre de 1982). *Secretaría de Estado de Agricultura*.

Santo Domingo, D.N. Obtenido de Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura.

Eduardo Ortiz, W. B. (2018). *ESTUDIO Y ANÁLISIS PARA DETERMINAR EL TIPO DE SUELO EN LAS PARROQUIAS RURALES ABDÓN CALDERÓN Y PUEBLO NUEVO DEL CANTÓN PORTOVIEJO DE LA PROVINCIA DE MANABÍ*. Grupo Compás.

FARO. (2021). *FARO*. Obtenido de Investigación y acción colectiva:

[https://grupofaro.org/empleo-en-](https://grupofaro.org/empleo-en-manabi/#:~:text=Esta%20cifra%20super%C3%B3%20el%20impacto,subi%C3%B3%20al%2036%2C6%25)

[manabi/#:~:text=Esta%20cifra%20super%C3%B3%20el%20impacto,subi%C3%B3%20al%2036%2C6%25](https://grupofaro.org/empleo-en-manabi/#:~:text=Esta%20cifra%20super%C3%B3%20el%20impacto,subi%C3%B3%20al%2036%2C6%25).

Febres, C. G., & Cuba, M. A. (07 de 12 de 2020). *YACHAY*. Obtenido de REVISTA CIENTÍFICO CULTURAL:

<https://revistas.uandina.edu.pe/index.php/Yachay/article/view/283/197>

García, C. L., & Loor, A. M. (2021). *Evaluación de zona urbana educativa ante amenazas de riesgo de inundación. Río Portoviejo*. Manabí: REVISTA RIEMAT.

Gestión de Riesgos. (16 de Mayo de 2023). *Gestión de Riesgos*. Obtenido de Gestión de Riesgos: <https://www.gestionderiesgos.gob.ec/secretaria-de-gestion-de-riesgos-declaracion-amarilla-ante-posible-ocurrencia-del-fenomeno-de-el-nino/>

HEC-HMS. (Marzo de 2015). *HEC-HMS MANUAL ELEMENTAL*. Obtenido de <https://hidrologia.usal.es/Complementos/Hec-hms-4.pdf>

INAMHI. (2009). *Mapa de ubicación de la red actual de estaciones hidrometeorológicas por cuencas hidrográficas del Ecuador*. Obtenido de [https://www.inamhi.gob.ec/docum\\_institucion/MapasBiblioteca/12%20mapa%20ecuadorEstaciones%20meteorologicashidrologicasA0.pdf](https://www.inamhi.gob.ec/docum_institucion/MapasBiblioteca/12%20mapa%20ecuadorEstaciones%20meteorologicashidrologicasA0.pdf)

INAMHI. (2015). *Determinación de ecuaciones para el cálculo de intensidades máximas de precipitación*. Quito: INAMHI.

- Juncosa, R. (2010). *Hidrología I: Ciclo Hidrológico*. Obtenido de [http://caminos.udc.es/info/asignaturas/grado\\_itop/415/pdfs/Capitulo%205.pdf](http://caminos.udc.es/info/asignaturas/grado_itop/415/pdfs/Capitulo%205.pdf)
- Mahendra, A., & Seto, K. C. (2019). *World Resources Report*. Obtenido de INFORME SOBRE RECURSOS MUNDIALES: <https://wrirosscities.org/sites/default/files/upward-outward-growth-executive-summary-spanish.pdf>
- Ministerio de Salud Pública. (s.f.). *UNDRR*. Obtenido de El Fenómeno El Niño en Ecuador: <https://www.eird.org/estrategias/pdf/spa/doc12863/doc12863-10.pdf>
- Ministerio del Ambiente. (2002). *División Hidrográfica del Ecuador*. Obtenido de [http://intranet.comunidadandina.org/Documentos/Reuniones/DTrabajo/SG\\_REG\\_EMAB\\_IX\\_dt%203\\_Ax2.pdf](http://intranet.comunidadandina.org/Documentos/Reuniones/DTrabajo/SG_REG_EMAB_IX_dt%203_Ax2.pdf)
- Monsalve, R. L. (Marzo de 2009). *Simulación continua de lluvias para el diseño de sistemas de drenaje urbano*. Obtenido de Pontificia Universidad Católica de Chile: <https://snia.mop.gob.cl/sad/MET-5621.pdf>
- Rosse, F., Cadier, E., & Gómez, G. (1996). *Horizon*. Obtenido de Las inundaciones en la zona costera ecuatoriana: Causas; Obras de protección existentes y previstas: [https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins\\_textes/divers14-12/010011839](https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/divers14-12/010011839)
- Sara Ibañez, H. M. (SF). *Morfología de las Cuencas Hidrográficas*. Obtenido de Universidad Politécnica de Valencia: <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/10782/Morfolog%C3%ADa%20de%20una%20cuenca.pdf>
- Secretaría de Gestión de Riesgos. (2016). *Gestión de Riesgos*. Obtenido de Informe de Situación: <https://www.gestionderiesgos.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2016/05/Informe-de-situaci%C3%B3n-n%C2%B065-especial-16-05-20161.pdf>

Valencia, M. E. (06 de Diciembre de 2022). *Grupo FARO*. Obtenido de Portoviejo: Desarrollo económico, productivo y del comercio: [https://grupofaro.org/wp-content/uploads/2023/01/Portoviejo-Desarrollo-economico\\_com.pdf](https://grupofaro.org/wp-content/uploads/2023/01/Portoviejo-Desarrollo-economico_com.pdf)

## **Apéndices**

Apéndice A: Topografía.

Apéndice B: Fotografías de la zona de estudio.

Apéndice C: Secciones transversales asumidas – Río Chico.

Apéndice D: Diseño muro de gaviones.

Apéndice E: APUS.

Apéndice F: Especificaciones técnicas.