

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ

Colegio de Ciencias e Ingenierías

**Modelo Hidráulico de Flujo Fluvial de las
Encañadas de Puerto Baquerizo Moreno, en la
Isla San Cristóbal, provincia de Galápagos**

Melanie Nicole Soria Peralta

Ingeniería Civil

Trabajo de fin de carrera presentado como requisito
para la obtención del título de Ingeniería Civil.

Quito, 08 de diciembre de 2020

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ

Colegio de Ciencias e Ingenierías

**HOJA DE CALIFICACIÓN
DE TRABAJO DE FIN DE CARRERA**

Proyecto Integrador

Melanie Nicole Soria Peralta

Nombre del profesor, Título académico

**Sixto Durán-Ballén,
PhD. Ingeniería Hidráulica**

Quito, 08 de diciembre de 2020

DERECHOS DE AUTOR

Por medio del presente documento certifico que he leído todas las Políticas y Manuales de la Universidad San Francisco de Quito – USFQ, incluyendo la Política de Propiedad Intelectual USFQ, y estoy de acuerdo con su contenido, por lo que los derechos de propiedad intelectual del presente trabajo quedan sujetos a lo dispuesto en esas Políticas.

Asimismo, autorizo a la Universidad San Francisco de Quito – USFQ para que realice la digitalización y publicación de este trabajo en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Nombres y apellidos: Melanie Nicole Soria Peralta

Código: 00138016

Cédula de identidad: 1803905304

Lugar y fecha: Quito, diciembre de 2020

ACLARACIÓN PARA PUBLICACIÓN

Nota: El presente trabajo, en su totalidad o cualquiera de sus partes, no debe ser considerado como una publicación, incluso a pesar de estar disponible sin restricciones a través de un repositorio institucional. Esta declaración se alinea con las prácticas y recomendaciones presentadas por el Committee on Publication Ethics COPE descritas por Barbour et al. (2017) Discussion document on best practice for issues around theses publishing, disponible en <http://bit.ly/COPETHeses>.

UNPUBLISHED DOCUMENT

Note: The following capstone project is available through Universidad San Francisco de Quito USFQ institutional repository. Nonetheless, this project – in whole or in part – should not be considered a publication. This statement follows the recommendations presented by the Committee on Publication Ethics COPE described by Barbour et al. (2017) Discussion document on best practice for issues around theses publishing available on <http://bit.ly/COPETHeses>.

RESUMEN

La Isla San Cristóbal cuenta con 17 encañadas que acumulan escorrentía especialmente durante la época lluviosa, comprendida entre los meses de enero y junio. Específicamente la ciudad de Puerto Baquerizo Moreno posee 3 encañadas principales denominadas: “Barrio Frío”, “Divino Niño” y “Escuela Alvear”. Estas encañadas presentan inundaciones en época de lluvia afectando a la población de esta ciudad.

Por este motivo, este documento presenta una modelación computacional para simular las inundaciones en base a registros históricos de precipitaciones en la isla y así determinar las zonas inundables en Puerto Baquerizo Moreno. Para dar solución a estas inundaciones, se proponen las siguientes alternativas: canalización con hidrotornillos, canalización con micro reservorios, desvío de encañadas con hidrotornillos y desvío de encañadas con micro reservorios.

En base a un análisis económico de valor presente, la alternativa más viable económicamente fue el desvío de encañadas con la implementación de hidrotornillos.

Palabras clave: Puerto Baquerizo Moreno, inundación, precipitaciones, valor presente, hidrotornillos, micro reservorios.

ABSTRACT

San Cristobal Island has 17 ravines that accumulate runoff especially during the rainy season, between the months of January and June. Specifically, Puerto Baquerizo Moreno city has 3 main ravines called: “Barrio Frío”, “Divino Niño” and “Escuela Alvear”. These ravines present floods in the rainy season affecting the population of this city. For this reason, this document presents a computational modeling to simulate floods based on historical rainfall records on the island and thus determine the flood zones in Puerto Baquerizo Moreno. To provide a solution to flooding caused by rainfall, the alternatives are channeling with Archimedes Screw Turbines, stream channeling with small reservoirs, diversion of ravines with Archimedes Screw Turbines and diversion of ravines with small reservoirs. Based on an economic analysis of present value, the most economically viable alternative was the diversion of ravines with Archimedes Screw Turbines.

Key words: Puerto Baquerizo Moreno, flooding, rainfall, present value, Archimedes Screw Turbines, small reservoirs.

ÍNDICE

CAPÍTULO I: Introducción.....	12
1.1. Antecedentes.....	12
1.2. Justificación e importancia del Proyecto	13
1.3. Ubicación del Proyecto	14
1.4. Objetivo General.....	15
1.5. Objetivos Específicos	15
CAPÍTULO II: Características de la zona de estudio.	17
2.1. Clima.....	17
2.2. Suelo	17
CAPÍTULO III: Marco Teórico	18
3.1. Escorrentía	18
3.2. Curvas de Intensidad-Duración-Frecuencia, IDF	19
3.3. Método Racional	19
3.4. Sistemas de información geográfica, SIG.....	20
3.5. Software HEC-GeoRAS	20
3.6. Software HEC RAS	20
CAPÍTULO IV: Análisis Topográfico.....	22
4.1. Terreno	22
4.2. Área de drenaje.....	22

CAPÍTULO V: Estudio hidrológico.	25
5.1. Intensidad de lluvia.....	25
5.2. Precipitaciones	26
5.3. Coeficientes de escorrentía.....	28
5.4. Caudales.....	29
5.5. Pendiente	31
5.6. Tiempo de concentración	31
CAPÍTULO VI: Modelo Hidráulico	33
6.1. Secciones Transversales	33
6.2. Coeficiente de Mannings	34
6.3. Zonas Inundables.....	35
CAPÍTULO VII: Soluciones de mitigación de inundaciones y control de encañadas	37
7.1. Soluciones de mitigación y control	37
7.1.1. <i>Desvío de encañadas</i>	37
7.1.2. <i>Canalización de encañadas</i>	39
7.1.3. <i>Micro-reservorios</i>	39
7.1.4. <i>Hidrotornillos</i>	39
CAPÍTULO VIII: Impacto de las soluciones planteadas	41
8.1. Impacto ambiental	41
8.2. Impacto socio-económico	44
8.2.1. <i>Desvío de encañadas</i>	45

8.2.2.	<i>Canalización de encañadas</i>	45
8.2.3.	<i>Hidrotornillos</i>	45
8.2.4.	<i>Micro reservorios</i>	47
8.2.5.	<i>Componente social</i>	47
8.3.	Análisis del Valor Presente	48
8.4.	Beneficio para los pobladores de la zona	52
	CAPÍTULO IX: Conclusiones	54
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	56
	ANEXOS	60
	ANEXO A: Coeficientes de Manning	60
	ANEXO B: Nomograma de velocidad para flujo poco profundo.	63
	ANEXO C: Análisis de costos unitarios para un canal trapezoidal de 500m.	64
	ANEXO D: Tabla de potencia instalada para hidrotornillos.	65
	ANEXO E: Secciones transversales HEC RAS	65
	ANEXO F: Perfil de inundación del río.	67

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Tabla de intensidades máximas de lluvia.....	25
Tabla 2. Precipitaciones máximas.....	28
Tabla 3. Coeficientes de escorrentía	28
Tabla 4. Coeficiente de Escorrentía ponderado.	29
Tabla 5. Caudales para el área de drenaje de la encañada Barrio Frío.	30
Tabla 6. Caudales para el área de drenaje de la encañada Divino Niño.	30
Tabla 7. Caudales para el área de drenaje de la encañada Escuela Alvear.	30
Tabla 8. Pendiente de las encañadas	31
Tabla 9. Tiempo de concentración.....	32
Tabla 10. Intensidad de lluvia.....	32
Tabla 11. Caudales para distintos períodos de retorno.	32
Tabla 12. Coeficientes de Mannings.....	35
Tabla 13. Costos para un canal trapezoidal.....	44
Tabla 14. Índice de precios de la construcción (IPCO)	45
Tabla 15. Costos y potencia instalada de hidrotornillos.	46
Tabla 16. Composición media de los costos para construcción de centrales hidroeléctricas nuevas	46
Tabla 17. Costos de construcción de micro-reservorios.	47
Tabla 18. Costos de inversión.....	49
Tabla 19. Costos de Operación y mantenimiento de hidrotornillos y micro reservorios.....	49
Tabla 20. Costos de Operación y Mantenimiento.....	49
Tabla 21. Valor presente de las alternativas propuestas.	51

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de la Isla San Cristóbal, Galápagos.	12
Figura 2. Vista aérea de la ciudad de Puerto Baquerizo Moreno y sus encañadas principales.	15
Figura 3. MDT de la Isla San Cristóbal.	22
Figura 4. Área de drenaje 1 y curvas de nivel de la encañada Barrio Frío. ARC MAP.	23
Figura 5. Área de drenaje 2 y curvas de nivel de la encañada Divino Niño. ARC MAP.	23
Figura 6. Área de drenaje 3 y curvas de nivel (1 m) de la encañada Escuela Alvear. ARC MAP.	24
Figura 7. Ecuaciones de intensidad de lluvia, estación M0221 San Cristóbal.	25
Figura 8. Distribución de uso de suelo.	29
Figura 9. Secciones transversales HEC Geo-RAS encañada Barrio Frío.	33
Figura 10. Secciones transversales encañada Divino Niño.	34
Figura 11. Secciones transversales Encañada Escuela Alvear.	34
Figura 12. Zonas inundables de Puerto Baquerizo Moreno.	35
Figura 13. Hidrotornillo.	40
Figura 14. Sistema de zonificación del Parque Nacional Galápagos.	41
Figura 15. Desvío propuesto para las encañadas.	42
Figura 16. Canalización propuesta para las encañadas.	43

CAPÍTULO I: Introducción

1.1. Antecedentes

Las Islas Galápagos o Región Insular del Ecuador es un archipiélago de origen volcánico reciente, conformado por 13 islas, 6 islas de menor tamaño y aproximadamente por 107 islotes y rocas; las que están ubicadas en el Océano Pacífico a una distancia de 972 kilómetros del continente ecuatoriano. Su capital es Puerto Baquerizo Moreno, localizado en la costa al sur oeste de la Isla San Cristóbal.



Figura 1. Mapa de la Isla San Cristóbal, Galápagos.
Fuente. Promotora Turismo Ecuador 2020.

Las Islas Galápagos fueron declaradas Parque Nacional (1959), Patrimonio Nacional de la humanidad (1978) y Reserva de Biósfera (1985), por su gran diversidad de especies endémicas de flora y fauna propias de las islas, por lo que estas islas son una fuente de investigación de los procesos evolutivos hasta la actualidad. Además, el mar que rodea las Islas Galápagos fue declarado como Reserva Marina en 1986.

El agua dulce es un recurso natural que escasea con mayor frecuencia en este tipo de islas y su obtención a partir de arroyos, manantiales o fuentes subterráneas cada día es más compleja, como es también el caso de las Islas Galápagos, que no poseen este recurso en abundancia. La Isla San Cristóbal, por su parte, presenta una realidad distinta al contar con 17 encañadas que proporcionan agua dulce especialmente las encañadas “La Policía” y “Cerro Gato”, que disponen suficiente caudal durante todo el año (Oviedo, 2015).

Sin embargo, estas mismas encañadas provocan que la zona urbana de la ciudad de Puerto Baquerizo Moreno, específicamente en la zona central de la urbe resulte susceptible a inundaciones cuando ocurren precipitaciones fuertes.

Usualmente, la escorrentía fluye naturalmente desde las zonas altas, desembocando en el mar. No obstante, dependiendo de la intensidad de la lluvia, el flujo puede acarrear materiales rocosos que ocasionan inconvenientes al llegar a la zona urbana.

1.2. Justificación e importancia del Proyecto

Las inundaciones son la acumulación o desborde accidental de agua en una zona generalmente seca. Estas se dan como consecuencia de: exceso de precipitaciones, desborde de ríos, deshielos y tsunamis.

A pesar que la Isla San Cristóbal no posee ríos, la misma está conformada por varias encañadas que tienen su origen en las zonas altas, la escorrentía producto de las lluvias desemboca en el océano a través de las encañadas. Esta isla posee precipitaciones concentradas y de gran intensidad desde enero hasta marzo, mismas que pueden prolongarse hasta el mes de julio. En situaciones normales, las precipitaciones varían entre 250 a 500 mm; sin embargo, en presencia del fenómeno de “El Niño”, pueden alcanzar los 1200mm (Oviedo, 2015).

Al existir fuertes precipitaciones, las encañadas presentan desbordamientos que ocasionan graves problemas en las zonas urbanas. Esto puede ocasionar daños en

infraestructuras, vías, e incluso puede causar la interrupción del sistema eléctrico, poniendo en riesgo a los pobladores de la zona y afectando su calidad de vida. A su vez, estos inconvenientes inciden negativamente en el turismo y las cosechas, que son las fuentes económicas de la isla.

1.3.Ubicación del Proyecto

La zona de interés del proyecto en estudio está ubicada en la cabecera cantonal de San Cristóbal, Puerto Baquerizo Moreno.

La Isla San Cristóbal está ubicada en la zona más oriental del Archipiélago de las Islas Galápagos. Esta isla cuenta con una extensión de 558 km², de los cuales solo el 15% corresponde a las áreas urbanas y rurales, el resto es parte del Parque Nacional Galápagos.

La ciudad de Puerto Baquerizo Moreno, está atravesada por encañadas cuyo caudal aumenta con las fuertes lluvias, que pueden llegar a provocar inundaciones en las zonas urbanas.

Las encañadas principales que cruzan y afectan a Puerto Baquerizo Moreno son:

- Barrio Frío (1)
- Divino Niño (2)
- Escuela Alvear (3)

Como se puede observar en la Figura 2.

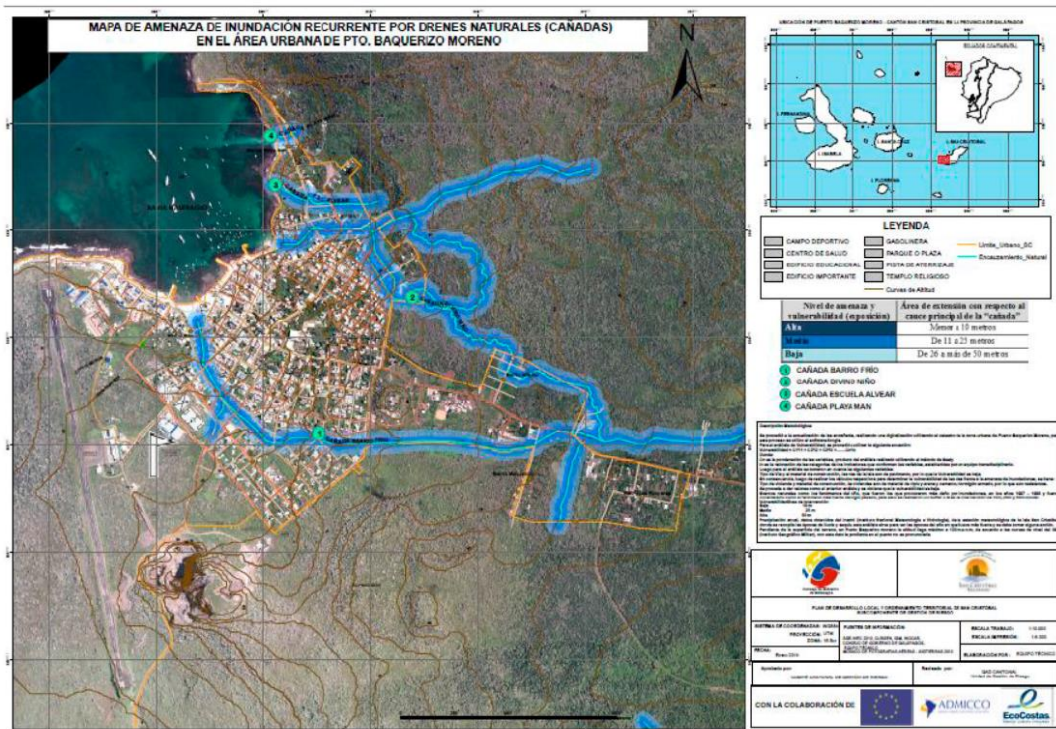


Figura 2. Vista aérea de la ciudad de Puerto Baquerizo Moreno y sus encañadas principales.

Fuente. Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Cantón San Cristóbal 2014-2019

1.4. Objetivo General

Realizar un modelo hidráulico de flujo fluvial de las encañadas que cruzan la ciudad de Puerto Baquerizo Moreno, ubicada en la Isla San Cristóbal, provincia de Galápagos.

1.5. Objetivos Específicos

- Realizar un estudio hidrológico que permita determinar la probabilidad de precipitaciones extremas en la ciudad de Puerto Baquerizo Moreno.
- Desarrollar un análisis topográfico con el propósito de determinar y delimitar el área de drenaje de las 3 encañadas principales que cruzan la ciudad de Puerto Baquerizo Moreno.
- Efectuar un modelo hidráulico con la utilización de paquetes informáticos especializados, como ARC GIS y HEC-RAS, con la finalidad de simular el flujo fluvial de las encañadas.

- Proponer las posibles soluciones con el objetivo de mitigar las inundaciones debido a la alta pluviosidad presente durante la temporada seca de la isla.
- Efectuar una evaluación del impacto que tendrían las soluciones y alternativas propuestas.

CAPÍTULO II: Características de la zona de estudio.

2.1. Clima

Las Islas Galápagos poseen un clima subtropical, seco en comparación con otras regiones del país causado por las corrientes oceánicas, afloramientos de aguas frías en el océano y vientos alisios, que parten desde zonas subtropicales hasta la zona ecuatorial. A su vez, está influenciado por el fenómeno del niño y corriente de Humboldt.

Por su ubicación, San Cristóbal presenta una mayor cantidad de vientos alisios con un gran contenido de humedad, que se traduce en una mayor cantidad de lluvia suave y prolongada (garúa).

La Isla San Cristóbal tiene dos temporadas climáticas, la primera corresponde a una temporada húmeda-calurosa, con temperaturas que oscilan entre los 22°C y 31°C, y precipitaciones moderadas, esta temporada se desarrolla desde el mes enero hasta mediados del mes junio. La segunda temporada corresponde a una temporada seca y fría, con temperaturas que fluctúan entre los 18°C y 25°C, con presencia de vientos fuertes y lloviznas (Oviedo, 2015).

2.2. Suelo

La Isla San Cristóbal al igual que el resto de las islas del Archipiélago de Galápagos tienen un origen volcánico. Por tanto, la mayor parte de vegetación depende del tipo de suelo, existiendo por lo general plantas de baja y mediana altura, así como los árboles frutales en la zona agrícola de la isla.

La Isla San Cristóbal, presenta los suelos más profundos de la región, debido a su antigüedad, producto de la meteorización de las rocas por efecto de las precipitaciones. Esto hace que sus tierras sean ricas en nutrientes y por consiguiente buenas para el cultivo.

CAPÍTULO III: Marco Teórico

3.1. Escorrentía

La escorrentía es el flujo de agua sobre la superficie de un terreno, producto de las precipitaciones.

La magnitud de la escorrentía está relacionada con los siguientes factores:

- Pendiente: a menor pendiente, el flujo transita a menor velocidad, provocando menores caudales de escorrentía.
- Orientación: la dirección y cantidad de viento pueden incidir en el patrón de escorrentía.
- Forma de la cuenca de drenaje: puede incidir en el tiempo de concentración, es decir, el tiempo que le toma al flujo de agua viajar desde el lugar hidráulicamente más lejano hasta el punto de análisis.
- Humedad del suelo: cuando el suelo está saturado, no ocurre infiltración, de manera que todo el caudal de la lluvia se convierte en escorrentía superficial.
- Uso del terreno: el coeficiente de escorrentía depende del uso del terreno, por ejemplo, si este es impermeable por tratarse de una zona urbana, el coeficiente se aproxima a 1 y en consecuencia mayor caudal de escorrentía.
- Intensidad de lluvia: a mayor intensidad, mayor caudal debido a que existe menor cantidad de tiempo para que se el agua se infiltre, además de que el suelo puede saturarse con mayor rapidez.

El caudal de escorrentía se divide en dos: (1) flujo base, comúnmente en suelos permeables, las aguas subterráneas aportan al caudal de escorrentía, y (2) escorrentía directa, que proviene directamente de las precipitaciones (Chereque, 2016).

3.2. Curvas de Intensidad-Duración-Frecuencia, IDF

Las curvas IDF, son gráficas obtenidas a partir de este análisis estadístico de precipitaciones, que son empleadas para la obtención de duración e intensidades de lluvia para diferentes períodos de retorno.

El período de retorno, es el tiempo promedio entre dos eventos de precipitación iguales o mayores, por lo general se emplean períodos de retorno de: 10, 25, 50 y 100 años (Gribbin, 2006).

Como resulta complejo determinar la cantidad y duración de las precipitaciones debido a que ocurren en intervalos de tiempo aleatorios, es necesaria la recopilación de intensidad, duración y frecuencia de las lluvias para realizar estimaciones estadísticas de estos componentes, necesarios para el diseño de obras hidráulicas.

3.3. Método Racional

Es un método para el cálculo del caudal pico de escorrentía, a diferencia de los otros métodos empíricos, que requieren factores adicionales, como el tiempo de concentración y precipitación, este método surge a partir del puro razonamiento, siendo necesario solo el área de drenaje, intensidad de lluvia y el coeficiente de escorrentía.

El coeficiente de escorrentía es un valor adimensional que puede tomar valores entre 0 y 1, este considera las pérdidas de flujo debidas a la infiltración y evapotranspiración.

$$Q = \frac{\zeta IA}{360} \quad (1)$$

Donde:

Q: es la escorrentía pico medida en metros cúbicos por segundo (m^3/s).

ζ : coeficiente de escorrentía adimensional.

I: intensidad de lluvia medida en milímetros por hora (mm/hr).

A: Área de drenaje medida en hectáreas (ha).

3.4. Sistemas de información geográfica, SIG.

Históricamente el ser humano ha visto la necesidad de desarrollar mapas que le permitan llevar un registro para localizar zonas de gran importancia, con el paso del tiempo, el registro geoespacial fue tomando mayor preponderancia, no solo en zonas particularmente relevantes, sino a lo largo de todo el territorio debido a su amplio espectro de aplicación.

El software ArcGIS es una plataforma que permite la representación y análisis cartográfico, esta integra varias aplicaciones como: ArcMap, ArcGlobe, ArcToolbox y ArcCatalog que son compatibles entre sí.

Para el presente proyecto se utiliza ArcMap para visualizar el terreno de interés y ArcToolbox para delimitar las cuencas hidrográficas y su acumulación de flujo.

3.5. Software HEC-GeoRAS

HEC-GeoRAS es un software de aplicación, que dispone de un grupo de herramientas desarrollado por el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de Estados Unidos (USACE) para procesar información geoespacial a partir de ArcGIS. Este permite preparar las secciones transversales para su posterior uso en HEC RAS y también para importar archivos desde este software para su visualización en ArcGIS.

3.6. Software HEC RAS

HEC RAS es un software de aplicación, desarrollado por el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de Estados Unidos (USACE), que permite predecir el flujo de agua en canales construidos o naturales. Además, este software está diseñado para realizar cálculos en una y dos dimensiones, de: perfil de flujo de agua, simulación de flujo inestable, transporte de sedimentos de flujo inestable y cuasi inestable.

Adicionalmente, todos estos componentes están relacionados con base a una representación geométrica común y pueden modelarse a partir de terreno obtenido mediante sistemas de información geográfica.

En el presente proyecto, se emplean las secciones creadas con HEC GeoRAS para realizar la simulación de flujo de las encañadas y determinar las zonas inundables para distintos períodos de retorno.

CAPÍTULO IV: Análisis Topográfico.

4.1. Terreno

El terreno empleado para el análisis topográfico es obtenido a partir del Sistema Nacional de Información y Gestión de Tierras Rurales e Infraestructura Tecnológica (SIGTIERRAS), programa perteneciente al Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca.

La Figura 3 muestra el MDT proporcionado, mismo que posee una escala 1: 5 000.

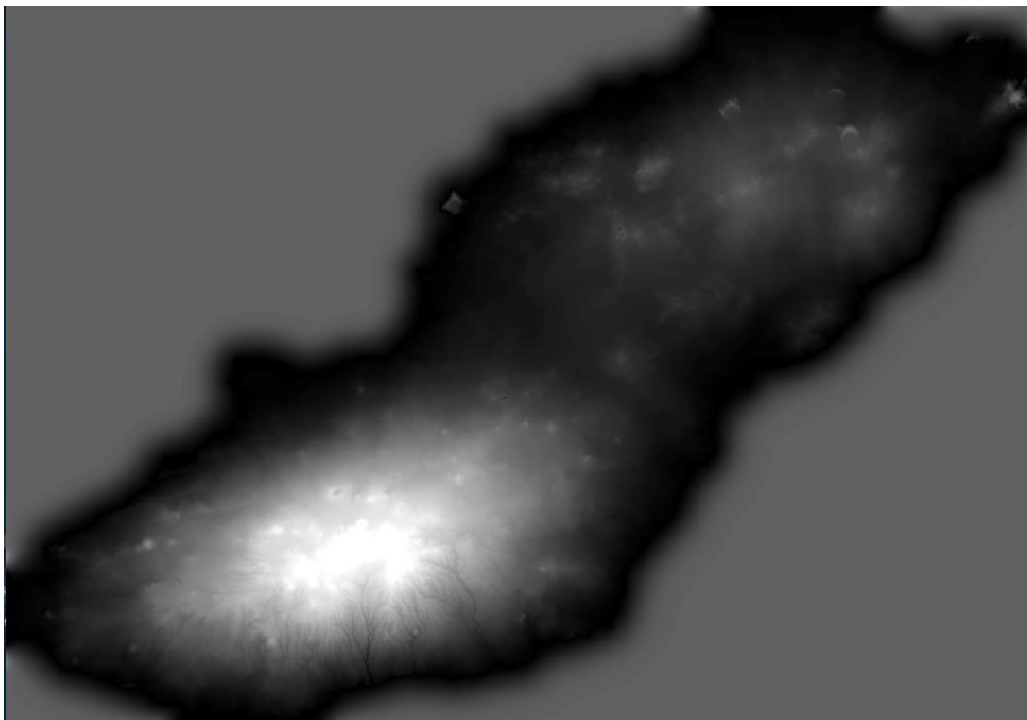


Figura 3. MDT de la Isla San Cristóbal.
Fuente. SIGTIERRAS

4.2. Área de drenaje

El área de drenaje de las encañadas, se determinó con base a la topografía del terreno mediante el software ARC MAP.

El área de drenaje para la Encañada “Barrio Frío”, tiene una extensión aproximada de 379.89 ha, dividido en zona urbana y reserva ecológica, como se muestra en la Figura 4.

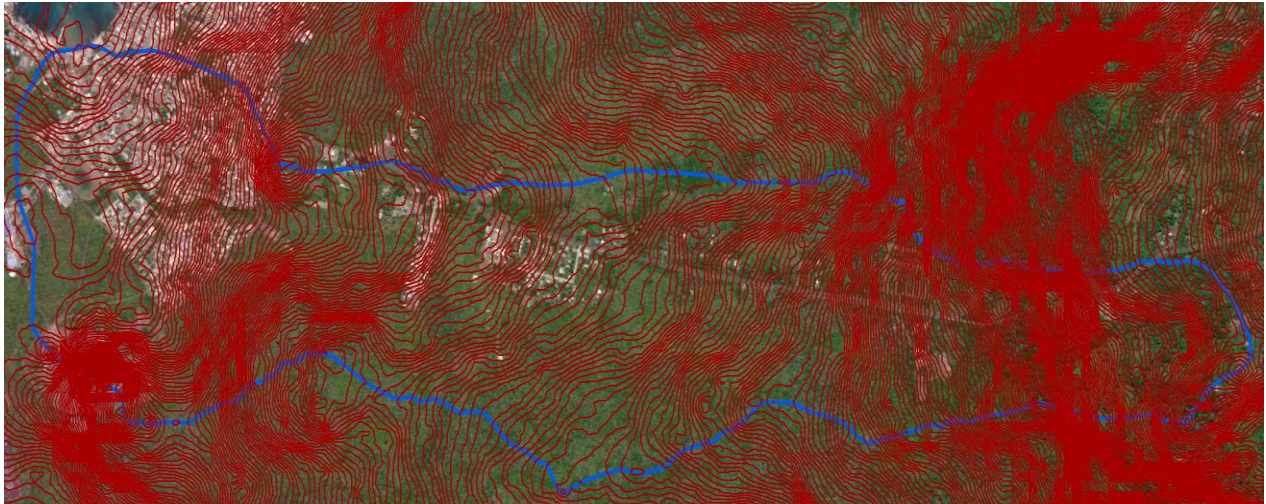


Figura 4. Área de drenaje 1 y curvas de nivel de la encañada Barrio Frío. ARC MAP.

Fuente. Elaboración propia.

El área de drenaje para la encañada “Divino Niño”, tiene una extensión aproximada de 334.61 ha, compuesto mayoritariamente por reserva ecológica del Parque Nacional Galápagos, como se muestra en la Figura 5.



Figura 5. Área de drenaje 2 y curvas de nivel de la encañada Divino Niño. ARC MAP.

Fuente. Elaboración propia.

El área de drenaje para la encañada “Escuela Alvear”, tiene una extensión aproximada de 26.98 ha, compuesto mayoritariamente por reserva ecológica del Parque Nacional Galápagos y zona urbana en la parte inferior, como se muestra en la Figura 6.

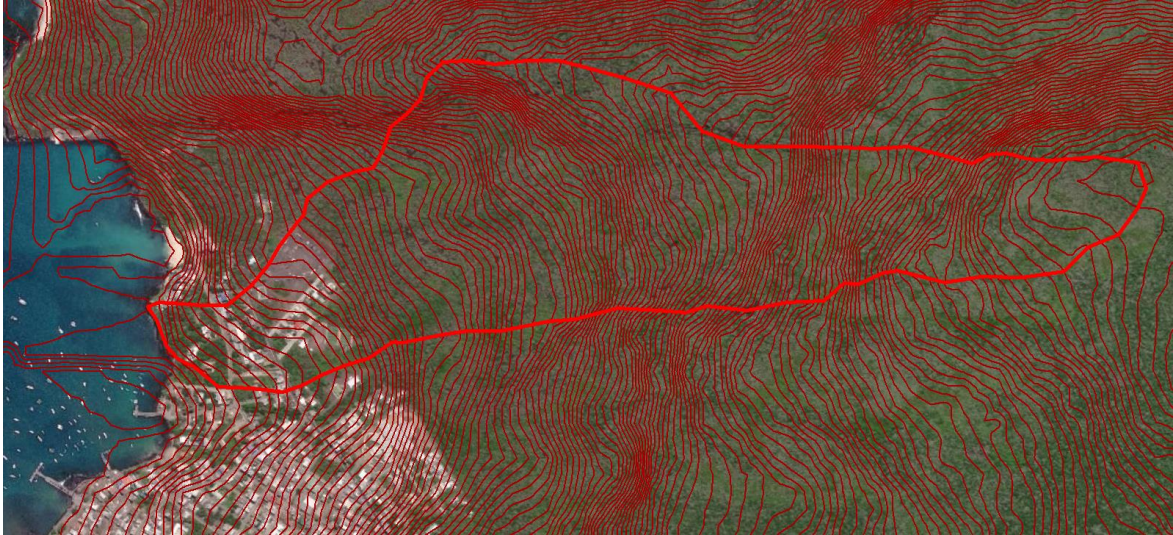


Figura 6. Área de drenaje 3 y curvas de nivel (1 m) de la encañada Escuela Alvear. ARC MAP.

Fuente. Elaboración propia.

CAPÍTULO V: Estudio hidrológico.

5.1. Intensidad de lluvia

A partir de los datos proporcionados por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología, INAMHI, se tienen las siguientes ecuaciones para determinar las intensidades máximas de lluvia en (mm/h), para intervalos de tiempo entre 5 y 1440 minutos.

ESTACIÓN		INTERVALOS DE TIEMPO (minutos)	ECUACIONES	R	R ²
CÓDIGO	NOMBRE				
M0221	SAN CRISTOBAL	5 <120	$i = 99.7843 * T^{0.2536} * t^{-0.3417}$	0.9836	0.9675
		120 < 1440	$i = 734.3316 * T^{0.3077} * t^{-0.7719}$	0.9920	0.9841

Figura 7. Ecuaciones de intensidad de lluvia, estación M0221 San Cristóbal.

Fuente. INAMHI 2019

Donde:

i: intensidad máxima de precipitación (mm/hr).

T: período de retorno (años).

t: intervalo de tiempo (min).

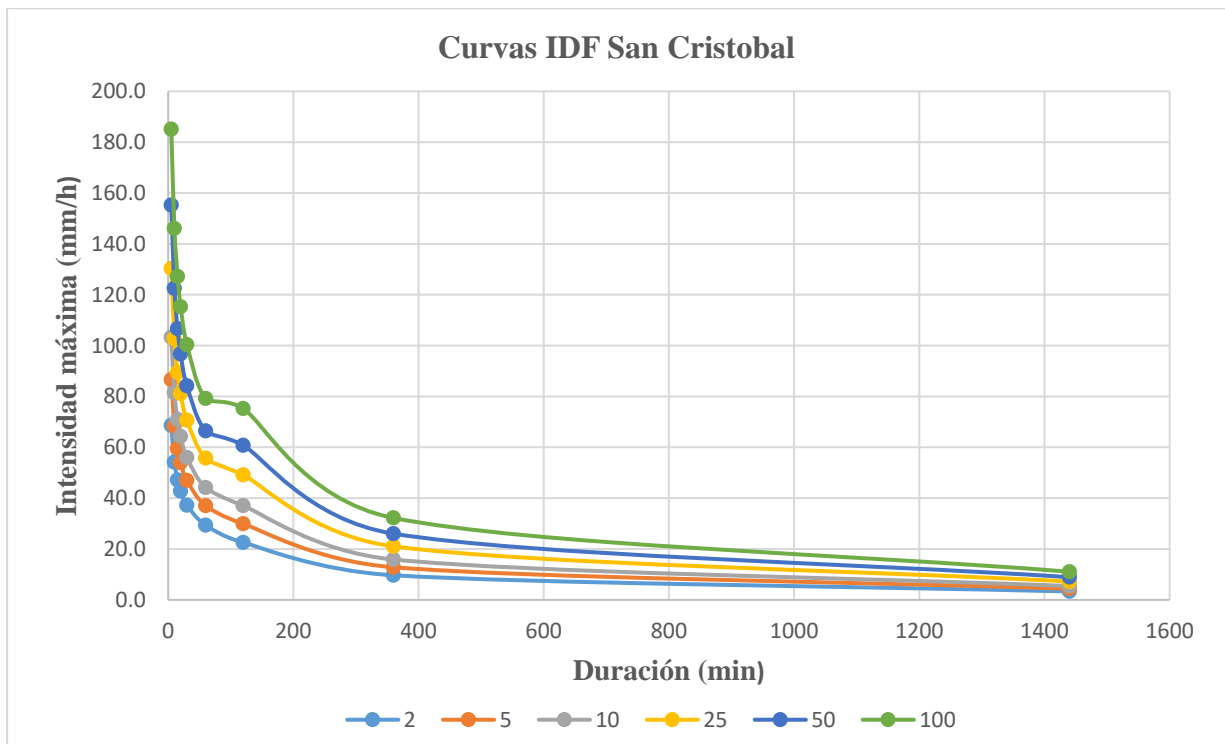
A partir de estas ecuaciones, la intensidad máxima de precipitación obtenida para períodos de retornos de 2, 5, 10, 25, 50 y 100 años, son los siguientes:

Tabla 1. Tabla de intensidades máximas de lluvia

Intensidad máxima (mm/h)						
t (min)	Período de Retorno T (años)					
	2	5	10	25	50	100
5	68.6	86.6	103.2	130.2	155.3	185.1
10	54.2	68.3	81.5	102.8	122.5	146.1
15	47.2	59.5	70.9	89.5	106.7	127.2
20	42.7	53.9	64.3	81.1	96.7	115.3
30	37.2	46.9	56.0	70.6	84.2	100.4
60	29.4	37.0	44.2	55.7	66.4	79.2
120	22.6	29.9	37.0	49.1	60.8	75.2
360	9.7	12.8	15.9	21.0	26.0	32.2
1440	3.3	4.4	5.4	7.2	8.9	11.0

Nota. Obtenido de INAMHI 2019

Las curvas IDF para San Cristóbal a partir de los datos e intensidad y duración son las siguientes:



Gráfica 1: Curvas de Intensidad Duración y Frecuencia de San Cristóbal

5.2. Precipitaciones

La siguiente ecuación es empleada para determinar la probabilidad de ocurrencia de un evento de precipitación igual o mayor en función del período de retorno:

$$p = \frac{1}{T} \times 100 \quad (2)$$

Donde:

T: es el período de retorno en años.

Por tanto, la probabilidad de ocurrencia de lluvia con período de retorno de 10 años, para el próximo año es de:

$$p = \frac{1}{10 \text{ años}} \times 100 = 10\%$$

Por tanto, la probabilidad de ocurrencia de lluvia con período de retorno de 25 años, para el próximo año es de:

$$p = \frac{1}{25\text{años}} \times 100 = 4\%$$

Para determinar la probabilidad de ocurrencia de un evento de precipitación dentro de un intervalo de tiempo, se emplea la siguiente ecuación:

$$p = 1 - \left(1 - \frac{1}{T}\right)^n \quad (3)$$

Por ejemplo, la probabilidad de ocurrencia de lluvia con período de retorno de 10 años durante los próximos 10 años es de:

$$p = 1 - \left(1 - \frac{1}{10}\right)^{10} = 65\%$$

De igual manera, la probabilidad de ocurrencia de lluvia con período de retorno de 25 años durante los próximos 25 años es de:

$$p = 1 - \left(1 - \frac{1}{25}\right)^{25} = 64\%$$

La siguiente ecuación, establece la relación entre la intensidad de lluvia, precipitación y duración:

$$i = \frac{P}{d} \quad (4)$$

Donde:

- i: es la intensidad de lluvia en mm/h.
- d: es la duración del evento de precipitación medido en horas (h).
- P: es la cantidad de precipitación en milímetros (mm).

A partir de la Ecuación 3, se calcularon las siguientes precipitaciones:

Tabla 2. *Precipitaciones máximas.*

Precipitaciones máximas (mm)						
t (min)	Período de Retorno T (años)					
	2	5	10	25	50	100
5	5.7	7.2	8.6	10.9	12.9	15.4
10	9.0	11.4	13.6	17.1	20.4	24.3
15	11.8	14.9	17.7	22.4	26.7	31.8
20	14.2	18.0	21.4	27.0	32.2	38.4
30	18.6	23.5	28.0	35.3	42.1	50.2
60	29.4	37.0	44.2	55.7	66.4	79.2
120	45.1	59.9	74.1	98.2	121.6	150.5
360	58.0	76.9	95.2	126.2	156.2	193.3
1440	79.6	105.5	130.6	173.1	214.3	265.2

Nota. Elaboración propia

5.3. Coeficientes de escorrentía

Teniendo en cuenta la morfología y uso del terreno, se emplearán los siguientes coeficientes de escorrentía:

Tabla 3. *Coeficientes de escorrentía*

Coeficientes de Escorrentía		
Zona Edificada / Techos	0.85	0.85
Concreto	0.70 - 0.95	0.95
Arbustos	0.10 - 0.30	0.30
Terreno plano - arenoso	0.05	0.05

Nota. Adaptado del libro "Introduction to hydraulics and hydrology with applications for storm water management"

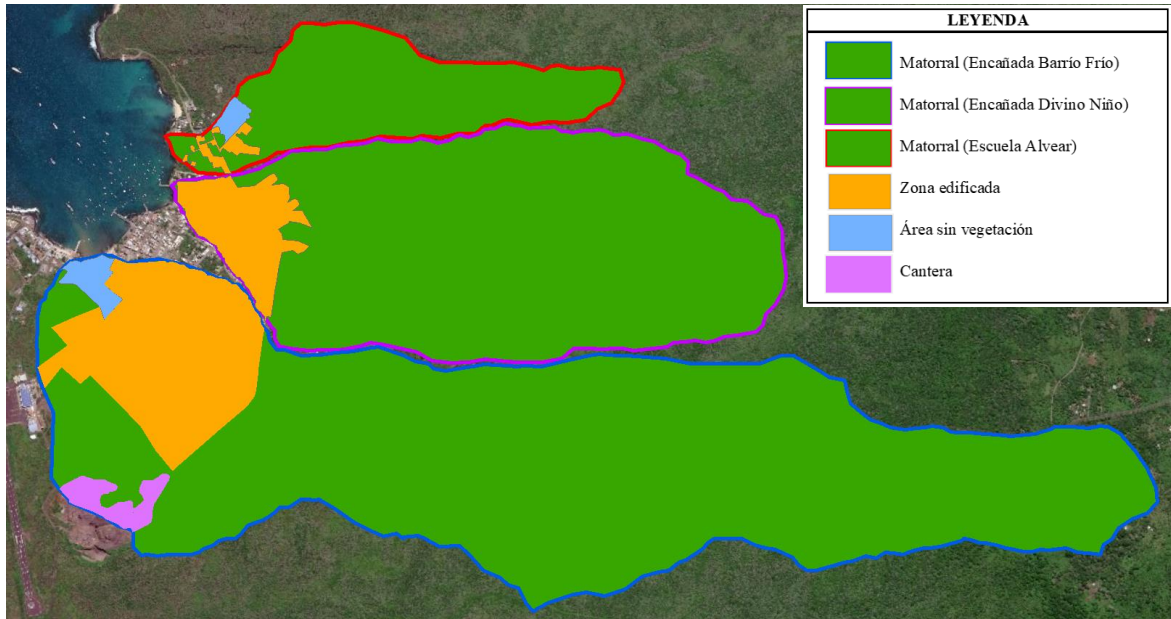


Figura 8. Distribución de uso de suelo.
Fuente. Elaboración propia

A partir de estos coeficientes, se obtiene un coeficiente de escorrentía ponderado para cada área de drenaje, a partir de la siguiente ecuación:

$$c = \frac{\sum(A_n \times c_n)}{A_T} \quad (5)$$

De esta manera se obtienen los siguientes coeficientes de escorrentía:

Tabla 4. Coeficiente de Escorrentía ponderado.

	Coeficiente de escorrentía ponderado			
	2-10 años	25 años	50 años	100 años
Área Drenaje 1	0.368	0.423	0.441	0.460
Área Drenaje 2	0.348	0.400	0.417	0.435
Área Drenaje 3	0.313	0.360	0.375	0.391

Nota. Elaboración propia

5.4.Caudales

A partir del uso del método racional, se obtiene caudal para los siguientes períodos de retorno (2, 5, 10, 25, 50 y 100 años), a partir de la Ecuación 1.

De esta manera, se obtienen los siguientes caudales:

Tabla 5. Caudales para el área de drenaje de la encañada Barrio Frío.

Área Drenaje 1 - Caudal (Q) [m ³ /s]						
Período de Retorno (años)						
t (min)	2	5	10	25	50	100
5	36.34	45.85	54.66	79.30	98.65	122.51
10	28.68	36.18	43.13	62.58	77.84	96.67
15	24.97	31.50	37.55	54.48	67.77	84.16
20	22.63	28.55	34.04	49.38	61.43	76.28
30	19.70	24.86	29.63	42.99	53.48	66.41
60	15.55	19.61	23.38	33.92	42.20	52.41
120	11.95	15.84	19.61	29.90	38.61	49.79
360	5.12	6.79	8.40	12.80	16.54	21.32
1440	1.76	2.33	2.88	4.39	5.67	7.31

Nota. Elaboración propia

Tabla 6. Caudales para el área de drenaje de la encañada Divino Niño.

Área Drenaje 2 - Caudal (Q) [m ³ /s]						
Período de Retorno (años)						
t (min)	2	5	10	25	50	100
5	18.32	23.12	27.56	39.99	49.74	61.77
10	14.46	18.24	21.75	31.55	39.25	48.75
15	12.59	15.88	18.94	27.47	34.17	42.44
20	11.41	14.40	17.16	24.90	30.98	38.47
30	9.93	12.53	14.94	21.68	26.97	33.49
60	7.84	9.89	11.79	17.11	21.28	26.43
120	6.03	7.99	9.89	15.08	19.47	25.10
360	2.58	3.42	4.24	6.46	8.34	10.75
1440	0.89	1.17	1.45	2.21	2.86	3.69

Nota. Elaboración propia

Tabla 7. Caudales para el área de drenaje de la encañada Escuela Alvear.

Área Drenaje 3 - Caudal (Q) [m ³ /s]						
Período de Retorno (años)						
t (min)	2	5	10	25	50	100
5	5.16	6.51	7.76	11.26	14.00	17.39
10	4.07	5.14	6.12	8.88	11.05	13.72
15	3.54	4.47	5.33	7.73	9.62	11.95
20	3.21	4.05	4.83	7.01	8.72	10.83
30	2.80	3.53	4.21	6.10	7.59	9.43
60	2.21	2.78	3.32	4.82	5.99	7.44
120	1.70	2.25	2.78	4.24	5.48	7.07
360	0.73	0.96	1.19	1.82	2.35	3.03
1440	0.25	0.33	0.41	0.62	0.81	1.04

Nota. Elaboración propia

5.5. Pendiente

La pendiente se requiere para estimar la velocidad del flujo y de esta manera obtener el tiempo de concentración para cada encañada, necesario para calcular los caudales de escorrentía para tormentas analizadas (10, 25, 50 y 100 años de período de retorno).

Las pendientes (S) de las encañadas son calculadas a partir de la siguiente ecuación:

$$S = \frac{h_2 - h_1}{L} \quad (6)$$

Donde:

h_2 : es la elevación de la encañada aguas arriba.

h_1 : es la elevación de la encañada aguas abajo.

L: es la longitud de las encañadas.

Aplicando la Ecuación 4, se obtiene las siguientes pendientes:

Tabla 8. Pendiente de las encañadas

	Unidades	Encañada 1	Encañada 2	Encañada 3
H2	m	88	84.5	21
H1	m	3	5	7
Longitud	m	2900	1750	540
Pendiente	m/m	0.0293	0.0454	0.0259

Nota. Elaboración propia

5.6. Tiempo de concentración

Para determinar el tiempo de concentración, primero se obtiene la velocidad a partir del nomograma de velocidad para flujo poco profundo del Anexo B. El tiempo de concentración se obtiene a partir de la siguiente ecuación:

$$Tiempo (s) = \frac{Longitud (m)}{Velocidad \left(\frac{m}{s}\right)} \quad (7)$$

Tabla 9. *Tiempo de concentración*

	Longitud (m)	Pendiente (%)	v (m/s)	tc (s)	tc (min)
Encañada Barrio Frío	2900.0	2.9%	0.56	5178.6	86.31
Encañada Divino Niño	1750.0	4.5%	0.445	3932.6	65.543
Encañada Escuela Alvear	540.0	2.6%	0.425	1270.6	21.176

Nota. Elaboración propia.

Utilizando las ecuaciones del INHAMI de la Figura 7, se obtienen las intensidades de lluvia para los tiempos de concentración obtenidos:

Tabla 10. *Intensidad de lluvia.*

	Intensidad de lluvia (mm/hr)			
	10 años	25 años	50 años	100 años
Encañada Barrio Frío	39.00	49.21	58.66	69.94
Encañada Divino Niño	42.85	54.06	64.45	76.83
Encañada Escuela Alvear	63.04	79.53	94.81	113.04

Nota. Elaboración propia.

Con estas intensidades de lluvia, se obtienen los caudales de escorrentía para la simulación de inundación de las tres encañadas.

Tabla 11. *Caudales para distintos períodos de retorno.*

	Caudal (m³/s)			
	10 años	25 años	50 años	100 años
Encañada Barrio Frío	20.65	29.96	37.27	46.29
Encañada Divino Niño	11.44	16.60	20.65	25.64
Encañada Escuela Alvear	4.74	6.87	8.55	10.62

Nota. Elaboración propia.

CAPÍTULO VI: Modelo Hidráulico

6.1. Secciones Transversales

Con la finalidad de obtener el modelo hidráulico fluvial en el área de estudio, es necesario establecer tanto la trayectoria del flujo como sus secciones transversales en cada una de las encañadas. Para esto, se usa el software HEC Geo-RAS, que es parte del software de ArcMap.

En el software HEC Geo-RAS, se utiliza la elevación digital del terreno (MDT), que se puede ver en la Figura 3, lo que permitirá determinar la trayectoria del flujo (Flow Path), la línea central de flujo del río (Stream Centerline) y los márgenes del río (Bank Lines).

Para que los canales naturales de cada encañada tengan una forma adecuada para la modelación, se modifica la orientación y espaciamiento de las secciones transversales (XSCut Lines) con el propósito de evitar errores.

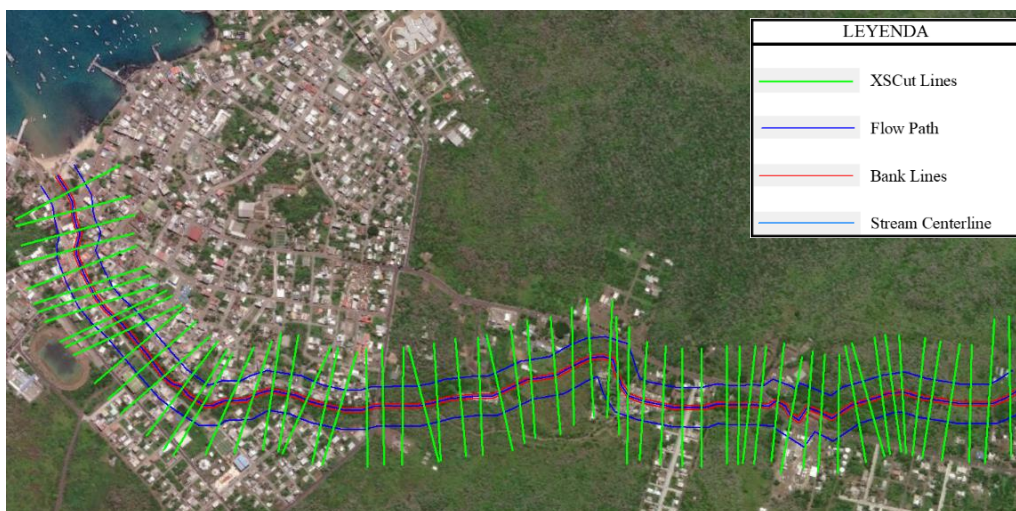


Figura 9. Secciones transversales HEC Geo-RAS encañada Barrio Frío.
Fuente. Elaboración propia

En el caso de la encañada Barrio Frío, el ancho de canal considerado para la simulación fue de 10 m, con secciones transversales de 300 m de ancho, y espaciadas en su mayoría 50 m, como se puede ver en la Figura 9.

Para el caso de la encañada Divino Niño, el ancho de canal considerado fue de 6 m., con secciones transversales que en su mayoría son de 200 m de ancho y espaciadas 50 m, como se puede ver en la Figura 10.



Figura 10. Secciones transversales encañada Divino Niño.
Fuente. Elaboración propia

Igualmente, en el caso de la encañada Escuela Alvear, se consideró un ancho de canal de 6 m, con secciones transversales de 100 m de ancho, y un espaciamiento de 50 m.

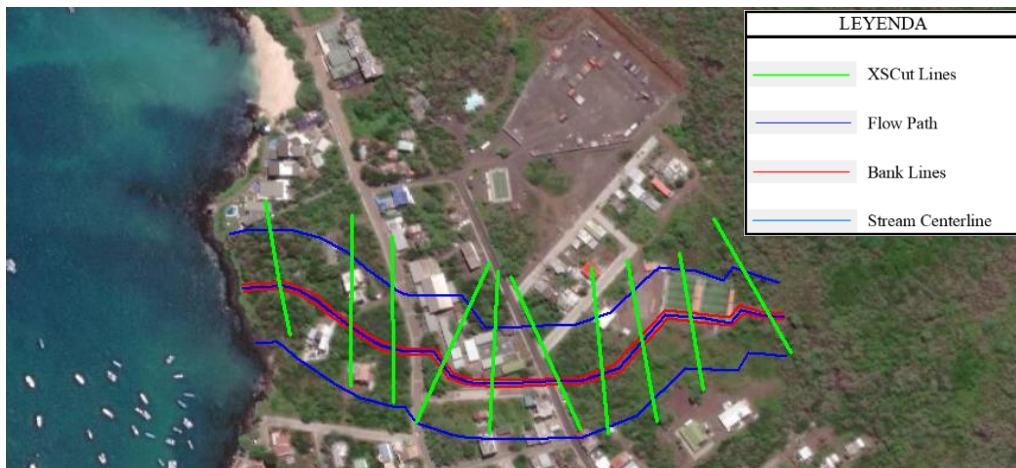


Figura 11. Secciones transversales Encañada Escuela Alvear.
Fuente. Elaboración propia

6.2. Coeficiente de Mannings

Los coeficientes de Mannings empleados para la simulación, se determinaron a partir de la morfología del terreno. Al ser encañadas cercanas entre sí, poseen terrenos con

características similares, de manera que se emplearon las siguientes combinaciones para las tres encañadas (sus valores se obtuvieron en base al Anexo A):

Tabla 12. *Coefficientes de Mannings.*

	Borde izquierdo	Canal	Borde derecho
Canal de concreto	0.015	0.013	0.015
Canal natural con	0.05	0.035	0.05
Canal excavado	0.033	0.03	0.033

Nota. Adaptado de HEC RAS Hydraulic Reference Manual, US Army Corps of Engineers. (2016)

6.3.Zonas Inundables

Para determinar las zonas inundables de cada una de las encañadas para cada período de retorno establecido en el Capítulo 5, se utiliza el software HEC RAS para efectuar su simulación, para lo cual se utiliza las secciones transversales creadas con HEC Geo-RAS y los coeficientes de Mannings establecidos anteriormente.

A continuación, en la Figura 12 consta el mapa de las zonas inundables de cada una de las encañadas debido a precipitaciones para un período de retorno de 25 años.

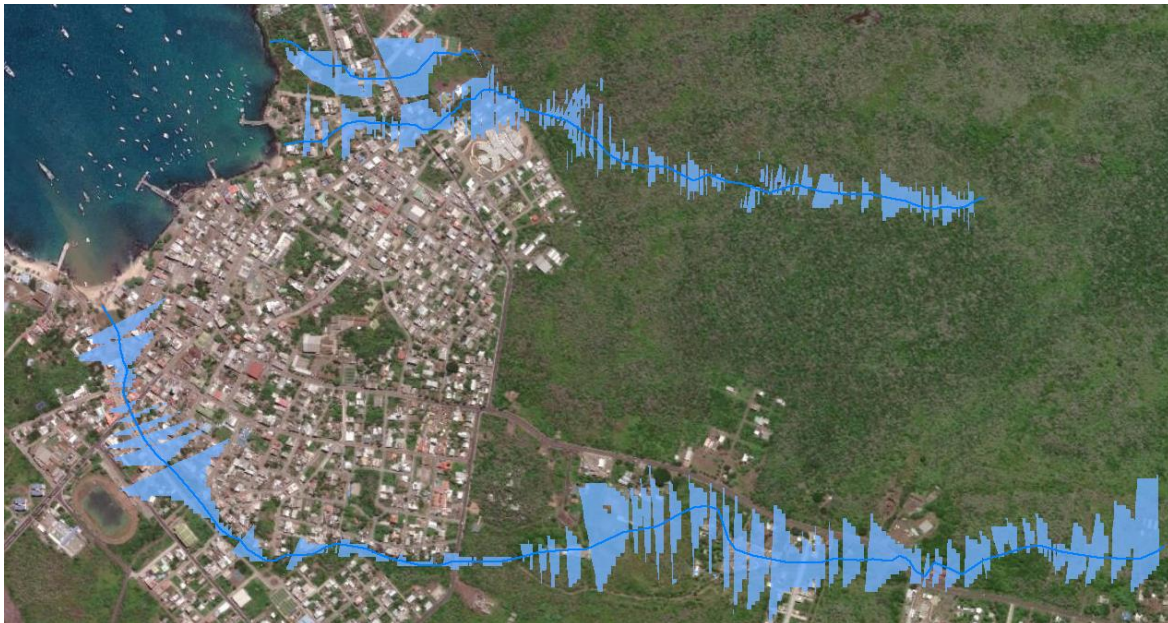


Figura 12. Zonas inundables de Puerto Baquerizo Moreno.
Fuente. Elaboración propia.

La Figura 12 muestra un área total inundable de 30.6 Ha y área inundable de 11.6 Ha dentro de la ciudad de Puerto Baquerizo Moreno. La discontinuidad en las zonas inundables que se muestra en esta figura es producto de la resolución del archivo de elevación digital del terreno (MDT) empleado para el análisis.

CAPÍTULO VII: Soluciones de mitigación de inundaciones y control de encañadas

7.1. Soluciones de mitigación y control

En esta sección se efectuará un análisis de las posibles soluciones con la finalidad de mitigar las inundaciones debido al caudal transportado por las encañadas. También se establecerán los métodos que puedan ser implementados para realizar el control del caudal en las encañadas del estudio.

7.1.1. Desvío de encañadas

Las obras de desvío tienen el objeto de evitar el paso de aguas fluviales por zonas de interés donde naturalmente pasaría su cauce. Esto puede usarse como obras preliminares a la construcción de infraestructuras o en este caso para proteger zonas susceptibles a inundación en el área urbana de Puerto Baquerizo Moreno.

La conducción del flujo de agua puede realizarse de dos formas: por gravedad o por bombeo. En el caso del estudio, el agua lluvia va a fluir desde la zona alta hasta el océano, no hay necesidad de utilizar un sistema de bombeo. Por tanto, la conducción del caudal de las encañadas será siempre por gravedad. Esto presenta ventajas porque no requieren un alto nivel de mantenimiento. Tampoco es necesario incurrir en gastos adicionales con el propósito de suministrar energía eléctrica al sistema de bombeo.

El estudio efectuado considera como solución para efectuar el desvío del agua que discurre por las encañadas el empleo de canales. Por tanto, en la construcción de los canales de desvío es necesario tener en cuenta los siguientes factores:

- *Velocidad:* para evitar la acumulación de sedimentos, la velocidad mínima aconsejable es de 0.6 m/s. Por otro lado, las velocidades máximas para evitar la erosión del canal, dependen del recubrimiento del mismo; para canales sin revestir,

la velocidad máxima es de 0.9 m/s y en canales de hormigón la velocidad puede ser hasta de 3.0 m/s (Blásquez, 2008).

- Asegurar que el caudal fluya en flujo subcrítico, es decir, que su número de Froude sea menor a 1, para que el caudal fluya en régimen lento para evitar el desarrollo de sobreelevaciones que son difíciles de controlar.
- Asegurar su mantenimiento periódico para la adecuada conservación de la infraestructura. Para canales, los aspectos de mayor importancia a la hora del mantenimiento son los siguientes:
 - *Control de vegetación:* debido al flujo de agua, en las zonas adyacentes al canal existe la tendencia de proliferar vegetación que debe retirarse de manera periódica. Con el objetivo de retener los sedimentos como vegetación, piedras, desechos sólidos urbanos, etc., es necesaria el empleo de rejillas a lo largo del canal, lo cual permite efectuar acciones de limpieza de forma periódica, esto es aplicable tanto en canales revestidos como no revestidos.
 - *Filtraciones:* pueden detectarse por medio de revisiones de charcos y vegetación en las zonas contiguas al canal, especialmente en sus juntas, en el caso de canales revestidos.

En cuanto a la sección transversal del canal, la más favorable en términos de eficiencia es el canal semicircular, sin embargo, debido a su complejidad constructiva una buena alternativa son los canales trapezoidales.

De esta manera, como alternativa para evitar las inundaciones debidas a las fuertes precipitaciones en Puerto Baquerizo Moreno, una de las alternativas en la construcción de canales abiertos de sección trapezoidal de hormigón con un dimensionamiento adecuado de manera que tenga la capacidad de transportar todo el caudal de escorrentía y a su vez generar el menor impacto ambiental.

7.1.2. Canalización de encañadas

Las tres encañadas poseen una canalización parcial localizada en la zona urbana de Puerto Baquerizo Moreno, de manera que una de las alternativas consideradas constituye la continuidad de estas encañadas desde la parte alta hasta su desfogue en el océano. Con el propósito de detener los sedimentos y materiales grandes aguas arriba para que no ingresen en la zona urbana. Por cuanto estos sedimentos pueden resultar perjudiciales al flujo de agua que transporta y por consiguiente causar obstrucciones que resulten en inundaciones en áreas pobladas.

Al igual que los canales para el desvío de las encañadas, la propuesta consiste en el uso de un canal trapezoidal por los motivos expuestos anteriormente.

7.1.3. Micro-reservorios

Los micro-reservorios son estructuras destinadas al almacenamiento de aguas lluvia, por lo general, están relacionadas al almacenamiento de agua para su uso en riego.

De esta manera, la implementación de micro-reservorios supone el aprovechamiento del recurso hídrico para el riego, especialmente en época de sequía, lo que incrementa el potencial agrícola de la isla debido a la posibilidad de incrementar las áreas de riego.

Además, es posible aprovechar la instalación de estas estructuras para vincular este proyecto con la comunidad, generando de esta manera concientización para promover el cuidado y mantenimiento del mismo para que siempre esté en condiciones óptimas.

7.1.4. Hidrotornillos

Además, la implementación de la infraestructura de desvío del flujo de las encañadas, permitiría incorporar plantas de generación hidroeléctrica mediante turbinas tipo “hidrotornillos” en su recorrido, en especial en la zona de alta de las encañadas más grandes

(“Barrio Frío” y “Divino Niño”). Con lo cual se conseguiría el objetivo de efectuar el desvío del flujo de las encañadas, evitando las inundaciones de Puerto Baquerizo Moreno y además obteniendo energía eléctrica.

El uso de turbinas tipo “hidrotornillos” en lugar de otro tipo de turbinas para la generación de energía eléctrica, presenta varias ventajas como:

- Mínimos gastos de mantenimiento e inversión intermedia.
- Buen rendimiento incluso en caudales pequeños.
- Largo período de vida útil y buena resistencia al desgaste.
- Mínima intervención en el cauce.
- No posee huella ecológica al fin de su vida útil.



Figura 13. Hidrotornillo.

Fuente. Catálogo de Turbinas hidráulicas de micro generación. HIDROTOR

CAPÍTULO VIII: Impacto de las soluciones planteadas

8.1. Impacto ambiental

Con el fin de garantizar la protección de la flora y fauna endémicas de las Islas Galápagos, existe una zonificación del terreno perteneciente al Parque Nacional Galápagos, que se divide de la siguiente manera:

1. *Zona de Protección absoluta:* esta zona debe permanecer libre de cualquier impacto ambiental inducido por el ser humano, solo están permitidas actividades de observación y monitoreo.
2. *Zona de conservación y restauración de ecosistemas:* esta zona admite un pequeño grado de alteración al ecosistema y están permitidas actividades de medio impacto, como turismo guiado e investigación.
3. *Zona de reducción de impacto:* ubicadas cerca de zonas urbanas y agropecuarias, con el propósito de aislar las zonas de conservación.

A continuación, la Figura 14 muestra la distribución de estas zonas:



Figura 14. Sistema de zonificación del Parque Nacional Galápagos.

Fuente. Ministerio del Ambiente (2006)

Con el propósito de minimizar el impacto ambiental en las zonas protegidas, el desvío de las encañadas debe realizarse como máximo en el límite entre las zonas agropecuarias y urbanas, y la zona de reducción de impactos que se muestran en la Figura 14.



Figura 15. Desvío propuesto para las encañadas.

Fuente. Elaboración propia.

La Figura 15, muestra el desvío propuesto para las encañadas (línea roja), el cual inicia aguas arriba próximo al límite de los cantones “El Progreso” y “San Cristóbal”, tomando los caudales de las encañadas “Barrio Frío” y “Divino Niño” para posteriormente incorporar el caudal de inicio de la encañada “Escuela Alvear”.

Por otro lado, la canalización de encañadas representa una mayor intervención en el terreno en comparación con el desvío, debido a que se necesita un canal para cada encañada, como se puede observar en la Figura 16.



Figura 16. Canalización propuesta para las encañadas.

Fuente. Elaboración propia.

La implementación de hidrotornillos, aprovecha el recurso hídrico para la generación eléctrica, disminuyendo en un porcentaje la generación de energía térmica que se genera a partir de combustibles fósiles importados desde el continente, provocando un grave impacto ambiental a un costo elevado. De esta manera se evita la emisión de gases de efecto invernadero, lo que contribuye al lograr los objetivos de desarrollo sustentable.

Los micro-reservorios podrían tener complicaciones debidas a la cantidad de área de intervención necesaria para su construcción, de manera que se requiere realizar un estudio más detallado para determinar su ubicación evitando las zonas pertenecientes al Parque Nacional Galápagos.

Existen también impactos ambientales negativos que deben considerarse a la hora de realizar una obra civil de cualquier tipo, como: deforestación, alteración del paisaje natural, contaminación por ruido durante la construcción.

Con el objetivo de minimizar este impacto ambiental durante y después de la construcción de la obra civil, es necesario realizar reforestación con especies nativas de la isla, reducir en lo posible el tránsito de vehículos en las zonas de reducción de impactos, tener

un plan para el manejo de desperdicios generados durante la realización de actividades constructivas.

8.2. Impacto socio-económico

La construcción de los canales puede significar una gran inversión, teniendo en cuenta la necesidad de importar los materiales necesarios desde el continente. Con el propósito de establecer costos referenciales para la construcción de canales trapezoidales de hormigón, a continuación, se presentan costos referenciales para la construcción de canales de similares características tomadas a partir de un análisis de precios unitarios realizados para la construcción de 500 m de canal trapezoidal de hormigón en la Machala Provincia de El Oro para el año 2015:

Tabla 13. *Costos para un canal trapezoidal.*

Costo Total	102 006.17	USD
Unidades	500	m
Costo Unitario	204.01	USD/m

Nota. Adaptado de: Diseño de un canal trapezoidal a gravedad con abscisado 0+000 hasta 0+500 ubicado en el cantón Machala provincia de El Oro. (Carchi, 2015)

Para el año 2015, la relación de precios establecida entre Galápagos y el continente (IPCEG) es de 1.803 (Instituto Nacional de Estadísticas y Censos , 2015). De manera que el precio de construcción del canal de hormigón en Galápagos para el año 2015, se obtiene a partir de la siguiente ecuación.

$$CU \text{ Galápagos } 2015 = CU \text{ Continental} \times IPCEG \quad (8)$$

$$\text{Costo unitario Galápagos } 2015 = 205 \text{USD/m} \times 1.803 = 369.62 \text{ USD/m}$$

Para el ajuste por tiempo, el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC), publicó los siguientes índices de precios, se optó por los índices de obras de riego por ser los más aproximados a la canalización de encañadas:

Tabla 14. Índice de precios de la construcción (IPCO)

Índice de Precios de la construcción	
Noviembre 2015	288.05
Septiembre 2020	246.38

Nota. Obtenido de datos históricos INEC.

Para obtener el costo unitario de un canal trapezoidal de hormigón en Galápagos, se usa la siguiente ecuación:

$$CU_{Galápagos\ 2020} = CU_{Galápagos\ 2015} \times \frac{IPCO_{Sep\ 2020}}{IPCO_{Nov\ 2015}} \quad (9)$$

Reemplazando los índices de precios de la construcción de la Tabla 14 en la ecuación 9, se obtiene el siguiente costo unitario para un canal trapezoidal de hormigón en Galápagos para el año 2020.

$$CU_{Galápagos\ 2020} = \frac{369.62\text{USD}}{m} \times \frac{246.38}{288.05} = 316.15\ \text{USD}/m$$

8.2.1. Desvío de encañadas

Para la primera alternativa, la longitud del canal para el desvío de encañadas es de aproximadamente 2 370 m. Por tanto, se obtiene un costo total referencial de USD 750 000.

8.2.2. Canalización de encañadas

Para el caso de la canalización de las encañadas, se toma como referencia el costo unitario del canal trapezoidal calculado anteriormente, esta vez para una longitud de: 3050m, por tanto, el costo total aproximado de canalización es de: USD 965 000.

8.2.3. Hidrotornillos

Con el propósito de analizar la implementación de hidrotornillos, se considera que se construirá un reservorio de una elevación de 2.75 m, para la instalación de este tipo de turbina, para un caudal de 5 m³/s, los datos relevantes se presentan en la Tabla 15.

Tabla 15. Costos y potencia instalada de hidrotornillos.

Costo Hidrotornillo	3.63 a 6.05	USD/W
Costo energía eléctrica	0.1335	USD/kWh
Potencia instalada	100	kW

Nota. Valores obtenidos de HIDROTOR y ARCONEL.

Para la determinación de la potencia a ser instalada es obtenida por los datos que constan en el Anexo D.

Para el análisis energético, se considera que la planta de generación operará el 60% del año, y que tiene un rendimiento del 92%; por tanto, la energía eléctrica generada será:

$$\text{Generación para 1 hidrotornillo} = 100\text{kW} \times 0.92 \times 0.6 \times 8760 \frac{h}{\text{año}} = 483.55 \text{ MWh/año}$$

$$\text{Ingreso por venta de energía} = \frac{\text{USD } 0.1335}{\text{kWh}} \times \frac{620.56 \text{ MWh}}{\text{año}} = \frac{\text{USD } 64\,554}{\text{año}}$$

$$\text{Costo de inversión} = \frac{6.05\text{USD}}{W} \times 100\,000 \text{ W} = 605\,000 \text{ USD}$$

Esta generación de energía requiere una inversión inicial de USD 605 000 y un ahorro de USD 64 554 al año para un “Hidrotornillo” instalado, en el caso de instalar dos “Hidrotornillos”, las cantidades se duplicarán.

Para establecer si la implementación de estas plantas de generación eléctrica, se considera el siguiente desglose de costos en función del costo total de inversión para la instalación de las mismas:

Tabla 16. Composición media de los costos para construcción de centrales hidroeléctricas nuevas

Descripción	Porcentaje del costo total
Planeamiento, ingeniería, diseño, aprobaciones y administración del proyecto	12%
Equipos electromecánicos	35%
Obras civiles	45%

Descripción	Porcentaje del costo total
Obras eléctricas	8%

Nota. Obtenido de Unión Europea "Comparative study of small hydropower stations", Bulgaria-Serbia Cross-Border Programme CCI No 2007CB16IPO006 Enero 2014 y elaboración propia en las hidrocinéticas.

8.2.4. Micro reservorios

En el caso de micro-reservorios, la propuesta es la construcción de 4 estructuras de 300 m³, los costos referenciales se exponen a continuación:

Tabla 17. Costos de construcción de micro-reservorios.

No.	Rubro	Unidades	Cantidad	Costo unitario	Costo Total
1	Excavación Mecánica Material sin clasificar	m ³	333.33	1.12	373.33
2	Relleno compactado con máquina con material del sitio	m ³	64.17	1.29	82.78
3	Geomembrana 750 micras	m ²	239.00	3.70	884.30
4	Sum., Instalación Tubo E-C 200 mm x 6m (0.5MPa)	m	24.00	13.62	326.88
5	Sum., Inst., PVC Codo de 200 mm x 45°	u	2.00	26.58	53.16
6	Transporte de maquinaria	u	1.00	81.78	81.78
7	Kit de riego por goteo	u	1.00	933.71	933.71
8	Fichas Ambientales	u	1.00	97.75	97.75
				Total	2 833.69

Nota. Adaptado de: Oferta técnica para la construcción de micro-reservorios con capacidad de 865 m³ con sistema de riego para cultivo de maíz.

Por tanto, el costo referencial de la construcción de 1 micro reservorio es de USD 2800, dando un costo total de USD 11 200 para cuatro micro-reservorios, a ubicarse en la parte superior de las encañadas “Barrio Frío” y “Divino Niño”.

8.2.5. Componente social

La construcción de cualquiera de las alternativas no va a solucionar el problema de inundación por sí sola, porque se generan también por el bloqueo y falta de mantenimiento de alcantarillas en la ciudad. Por este motivo, es necesaria la concientización de la población respecto a la protección de la infraestructura y su importancia. Para esto, se pueden crear

proyectos de vinculación con la sociedad para la construcción, operación y mantenimiento de los micro reservorios e hidrotornillos. De esta manera, la comunidad es parte de la solución y como tal comprende la importancia de mantener estos elementos de la mejor manera posible para su propio uso y beneficio.

8.3. Análisis del Valor Presente

Para determinar la alternativa más viable, se optó por realizar el análisis de valor presente para establecer la alternativa menos costosa en base a la inversión, operación y mantenimiento de las siguientes alternativas:

A: Canalización de encañadas + Hidrotornillos

B: Canalización de encañadas + Micro reservorios

C: Desvío de encañadas + Hidrotornillos

D: Desvío de encañadas + Micro reservorios

Estas alternativas son mutuamente excluyentes y de servicio igual, es decir, solo puede escogerse una alternativa a la vez y su beneficio (control de inundaciones) considerado para todas las alternativas es el mismo.

Consideraciones adoptadas en el análisis:

- Período de 25 años para todas las alternativas.
- Tasa de descuento tiene un rango entre el 6% y 11% (CanmetENERGY Varennes Research Centre, 2019), por tanto, se consideró una tasa de 9% para el análisis.
- Tasa de inflación de 3.4% (Consejo de Gobierno del Régimen Especial de Galápagos, 2016)

A continuación, se muestran los costos de inversión estimados para las diferentes alternativas a nivel de estudios de prefactibilidad.

Tabla 18. *Costos de inversión*

	Cantidad	Unidades	Costo Total Estimado (USD)
Hidrotornillos	2	u	1210000
Micro-reservorios	4	u	11200
Canalización	3050	m	965000
Desvío de encañadas	2370	m	750000

Nota. Fuente propia.

Los costos de operación y mantenimiento, para el caso de hidrotornillos se consideró un 5% del costo de generación eléctrica (Villanueva, 2019) y 0.5% del costo de la obra civil para los micro- reservorios (Departamento de Proyectos de la Universidad de Piura, 2011).

Tabla 19. *Costos de Operación y mantenimiento de hidrotornillos y micro reservorios.*

	% Costo Total	Costo Estimado (USD)
Hidrotornillos	5.00%	7000
Micro-reservorios	0.50%	60

Nota. Porcentaje de costos obtenido de Villanueva (2019) y Departamento de Proyectos de la Universidad de Piura (2011).

En el caso de los canales, se considera la limpieza manual de la estructura en función de la distancia del canal para estimar los costos de operación y mantenimiento, como se muestra en la tabla a continuación:

Tabla 20. *Costos de Operación y Mantenimiento.*

	Cantidad (m)	Costo u. (USD)	Costo Total (USD)	Costo Estimado (USD)
Canalización	3 050	2.54	7 747	8 000
Desvío de encañadas	2 370	2.54	6 020	7 000

Nota. Costo unitario obtenido de INSUCONS.

Como puede observarse en la Tabla 20, el costo total se redondea para obtener el costo estimado, por tratarse de un estudio a nivel de pre-factibilidad.

Para el cálculo del valor presente de los valores anuales, se emplea la siguiente ecuación:

$$P = \frac{A \left[1 - \left(\frac{1+g}{1+i} \right)^n \right]}{i-g} \quad (10)$$

Donde:

A: anualidad (USD/año)

P: valor presente (USD)

i: tasa de descuento (%)

g: tasa de inflación (%)

Además, se estimó un costo referencial por daños en inundaciones obtenido a partir del plan de recuperación de inundaciones en el litoral ecuatoriano, donde se considera un costo total de 242 millones de dólares que permitió al Gobierno ecuatoriano cubrir los daños de 275 000 personas afectadas por la temporada invernal (Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo, 2014). De esta manera, el costo referencial de daños obtenido por persona es de USD 880; considerando que la relación de precios entre el continente y Galápagos es de 1.803, se obtiene un costo de USD 1587 por persona que habitan las islas.

Para determinar el área de inundación, se consideró como referencia la imagen satelital de la ciudad de Puerto Baquerizo Moreno. En base a ésta imagen, se calculó el área de las edificaciones que están dentro de la zona inundable (obtenida a partir de la modelación en el software HEC RAS), obteniendo un área residencial de 39 877 m² (0.039877 km²).

Con la finalidad de determinar el costo total estimado de daño por inundaciones, es necesario considerar la densidad poblacional de Puerto Baquerizo Moreno que es de 904.8 personas/ km² (Consejo de Gobierno del Régimen Especial de Galápagos, 2016), de esta manera, se obtiene el siguiente costo de daños:

$$\text{Costo Daños} = 0.039877 \text{ km}^2 \times 904.8 \frac{\text{personas}}{\text{km}^2} \times \frac{1587\text{USD}}{\text{persona}} = \text{USD } 57\,260$$

Este costo por daños al ser una estimación, es redondeado a USD 58 000. Este costo se trae a valor presente utilizando la Ecuación 10, considerando un período de 25 años al igual que las alternativas propuestas.

$$P = \frac{USD\ 5800 \left[1 - \left(\frac{1 + 3.4\%}{1 + 9\%} \right)^{25} \right]}{9\% - 3.4\%} = USD\ 758\ 643$$

Este costo anual por daños estimado es redondeado a USD 759 000.

Asimismo, se trae a valor presente el costo anual de operación y mantenimiento de cada una de las alternativas y el costo de la generación de energía eléctrica.

Para determinar qué alternativas son factibles, se divide el costo por daños para el costo total de cada alternativa. Las alternativas que presenten un valor superior a 1, se consideran económicamente viables porque su costo es menor al costo que afronta la ciudad de Puerto Baquerizo Moreno por daños debidos a inundaciones.

Tabla 21. Valor presente de las alternativas propuestas.

Alternativas	Valor presente (USD)					Factibilidad
	Inversión	Operación y Mantenimiento	Inversión + Operación y Mantenimiento	Generación de Energía	Costo Total	
A	2 175000	196201	2371201	1688745	683000	1.11
B	976200	105425	1081625	N/A	1090000	0.70
C	1 960000	183121	2143121	1688745	455000	1.67
D	761200	92345	853545	N/A	854000	0.89

Nota. Elaboración propia

En la Tabla 21, se observa que el costo de las alternativas con hidrotornillos disminuye por la venta de la energía eléctrica generada. Y al obtener valores superiores a 1, las alternativas A y C son viables económicamente.

Además, la alternativa de menor costo total traído a valor presente corresponde a la alternativa C, con un costo total estimado de USD 455 000.

Por otro lado, debido a que la extensión necesaria para la canalización de las encañadas es superior a la longitud necesaria para el desvío de encañadas, resultaría mejor desviar las encañadas que canalizarlas.

8.4. Beneficio para los pobladores de la zona

A pesar de que los costos por inundaciones estén clasificados como bajos en los eventos de inundación por precipitaciones ocurridos en San Cristóbal, estos pueden tener graves implicaciones a futuro, especialmente en términos de reputación para el turismo de la isla, puesto que varios turistas presentaron quejas debido a los inconvenientes ocasionados producto de la última inundación, especialmente tomando en cuenta que varios hostales turísticos se encuentran próximos a las zonas inundables (El Universo, 2019).

De acuerdo al análisis de la población económicamente activa en la Isla San Cristóbal, una de las ocupaciones con mayor porcentaje es el sector agropecuario con 10.2%, dividido entre el Puerto Baquerizo Moreno con 58% y El Progreso 38.6%, mismas que se pueden beneficiar del aprovechamiento del agua de las precipitaciones para riego (Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del Cantón San Cristóbal, 2012).

Como ya se ha mencionado, a pesar de que la Isla San Cristóbal no posee ríos, en épocas de fuertes lluvias, las encañadas que drenan el flujo de agua desde la parte superior de la isla generan pequeñas inundaciones que ocasionan graves daños en las infraestructuras y en la calidad de vida de sus pobladores.

Por tanto, los aspectos sociales que beneficiarían a la población de Puerto Baquerizo Moreno a través de las soluciones propuestas son:

- Turismo, el aeropuerto de San Cristóbal recibe un promedio de 400 personas diariamente y su cierre por motivo de inundación acarrea una interrupción del transporte de personas, tanto de los turistas que llegan como los que salen de la isla.
- Educación, instituciones como la Escuela Alejandro Alvear, de donde recibe el nombre la tercera encañada, pueden verse obligadas a cerrar durante este tipo de eventos.

- Salud, ante un evento de inundación, se pone en riesgo la salud de las personas, lo que hay que evitar en la medida de lo posible debido a que los profesionales de la salud en la isla son escasos.
- Servicio de energía eléctrica, la generación eléctrica de los hidrotornillos puede traer consigo la provisión de este servicio básico a partir de fuentes de energía limpia que protegen el medio ambiente y a menor costo en comparación con las fuentes de energía convencionales.
- Sector agrícola, en caso de implementar los micro-reservorios para riego, el sector agrícola puede beneficiarse de la provisión de agua para cultivo, tomando en cuenta la escasez de agua dulce en esta región.

CAPÍTULO IX: Conclusiones

El estudio efectuado se realizó con base a la información del modelo de elevación digital del terreno (MDT) disponible actualmente. La modelación permitió determinar un área total inundable de 30.6 ha y un área de 11.6 ha dentro de la ciudad de Puerto Baquerizo Moreno, lo que representa un 38% del área inundable total; debido a la presencia de las encañadas: Barrio Frío, Divino Niño y Escuela Alvear que cruzan la ciudad y que pueden provocar daños debido a los sedimentos que acarrea el flujo fluvial.

El análisis económico de valor presente de las alternativas propuestas para mitigar inundaciones por precipitaciones en Puerto Baquerizo Moreno, arrojó como resultado que la alternativa más viable económicamente es el desvío de encañadas con hidrotornillos. Sin embargo, se requieren estudios más detallados para descartar la implementación de micro reservorios.

Con la finalidad de profundizar este estudio a futuro, es recomendable realizar un levantamiento topográfico del terreno con mayor detalle (topografía con drones), de ser posible cada 0.5 m, para tener una topografía con mayor definición. Esto permitirá llevar a cabo una simulación más precisa, que considere las alteraciones en el terreno y las nuevas obras de infraestructura de Puerto Baquerizo Moreno.

Asimismo, este documento puede considerarse como referencia para la implementación de un proyecto de vinculación con la población de San Cristóbal, destinado a la generación de energía eléctrica para autoconsumo a partir de hidrotornillos o micro reservorios para riego o agua potable.

El aporte científico del presente trabajo de titulación, se basa en la modelación de precipitaciones a partir del software HEC RAS. Además, del análisis de pre factibilidad para implementación de nuevas tecnologías para la generación de energía renovable en la Isla San Cristóbal a partir de una fuente hídrica, considerando que las islas que conforman el

Archipiélago de Galápagos no poseen las características adecuadas para la generación de energía hidroeléctrica convencional.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARCONEL. (2019). *Costos de servicios de distribución* .
- Blásquez, F. (2008). *Canales. Generalidades. Obras y Elementos*.
- CanmetENERGY Varennes Research Centre. (2019). *Discount rate* .
- Carchi, M. (2015). *Diseño de un canal trapezoidal a gravedad con abscisado 0+000 hasta 0+500 ubicado en el cantón Machala provincia El Oro*. Universidad Técnica de Machala, Machala.
- Chereque, W. (2016). Relaciones Precipitación-Escorrentía. En *Hidrología*. Lima. Obtenido de http://repositorio.pucp.edu.pe/index/bitstream/handle/123456789/28689/hidrologia_cap07.pdf?sequence=13&isAllowed=y
- Chow, V. T. (2004). *Hidráulica de Canales Abiertos* . Santa Fé de Bogotá: McGraw-Hill Interamericana S.A.
- Consejo de Gobierno del Régimen Especial de Galápagos. (2016). *Plan de Desarrollo Sustentable y Ordenamiento Territorial del Régimen Especial de Galápagos 2015-2020*. Puerto Baquerizo Moreno: Plan Galápagos. Obtenido de https://www.gobiernogalapagos.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2017/04/Plan-Galapagos-2015-2020_12.pdf
- Consejo de Gobierno del Régimen Especial de Galápagos. (2016). *Plan de inversión 2016*. Puerto Baquerizo Moreno. Obtenido de https://www.gobiernogalapagos.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2016/05/Proyecto-Restauracion-red-vial-Galapagos_OP.pdf

Departamento de Proyectos de la Universidad de Piura. (2011). *Educación Sanitaria: Recomendaciones de estilos de vida saludables*. Piura.

El Universo. (24 de febrero de 2018). Fuerte lluvia en San Cristóbal provocó inundaciones .

El Universo. (03 de abril de 2019). Fuertes lluvias anegaron varias zonas de San Cristóbal en Galápagos. Obtenido de

<https://www.eluniverso.com/noticias/2019/04/03/nota/7267634/fuertes-lluvias-anegaron-varias-zonas-san-cristobal>

ESRI. (s.f.). Obtenido de

<https://www.arcgis.com/apps/MapSeries/index.html?appid=198f8f069eb249688ab350cf3072b106>

Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del Cantón San Cristóbal. (2012). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial 2012-2016*.

Gribbin, J. (2006). *Introduction to Hydraulics and Hydrology with Applications for Stormwater Management*. Thomson.

Gribbin, J. (2007). *Introduction to Hydraulics and Hidrology with Applications for Stormwater Management*. New York: Thomson Delmar Learning.

HIDROTOR. (2019). *Turbinas hidráulicas de microgeneración*.

INAMHI. (2019). *Determinación de ecuaciones para el cálculo de intensidades máximas de precipitación. Versión 2*. Obtenido de

http://www.serviciometeorologico.gob.ec/Publicaciones/Hidrologia/ESTUDIO_DE_INTENSIDADES_V_FINAL.pdf

Instituto Nacional de Estadísticas y Censos . (2015). *Índice de precios al consumidos espacial Galápagos*.

Legarda, L., & Viveros, M. (1996). La importancia de la hidrología en el manejo de cuencas hidrográficas. *Revista de Ciencias Agrícolas*. Obtenido de

<https://revistas.udenar.edu.co/index.php/rfacia/article/view/1163/1398>

McCuen. (2004). *Upland method, graphical velocity estimation*.

Meader, C. (30 de diciembre de 2015). *CivilGEO*. Obtenido de

<https://www.civilgeo.com/blog/the-road-to-hec-ras/>

Ministerio del Ambiente y Agua. (2014). Obtenido de

<https://www.ambiente.gob.ec/galapagos-celebra-36-anos-como-patrimonio-natural-de-la-humanidad/>

Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuicultura y Pesca. (2014). *Contratación de*

construcción de 78 micro reservorios recubiertos de geomembrana e implementación de un kit de riego tecnificado por goteo.

Ministerio del Ambiente. (2006). *Sistema de zonificación Parque Nacional Galápagos y Reserva Marina de Galápagos*. Obtenido de

http://www.carlospi.com/galapagospark/documentos/galapagos_zonificacion.pdf

Oviedo, M. (2015). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Cantón san Cristóbal*

2014-2019. Puerto Baquerizo Moreno. Obtenido de http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PORTAL_SNI/data_sigad_plus/sigadplusdiagnostico/2060000230001_Diagn%C3%B3stico%20SC_27-10-2015_10-32-46.pdf

Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo . (2014). *Aprendiendo de la experiencia para planificar la recuperación* .

Promotora Turismo Ecuador. (2020). Obtenido de <https://www.proturec.com/san-cristobal/tours-san-cristobal/>

Survey and Mapping Department. (11 de noviembre de 2019). *GIS, Then and Now* . Obtenido de <https://storymaps.arcgis.com/stories/21ece26b1a404bf2917c25b04fee072e>

US Army Corps of Engineers. (2016). HEC RAS Hydraulic Reference Manual. *Versión 5.0*.

Villanueva, D. (2019). *Criterios hidráulicos para proyectos de tecnologías de microgeneración en infraestructura de riego*. Santiago de Chile.

Villanueva, D. (2019). *Criterios hidráulicos para proyectos de tecnologías de microgeneración en infraestructura de riego*. Santiago de Chile.

ANEXOS

ANEXO A: Coeficientes de Manning

Fuente: HEC RAS Hydraulic Reference Manual, US Army Corps of Engineers. (2016)

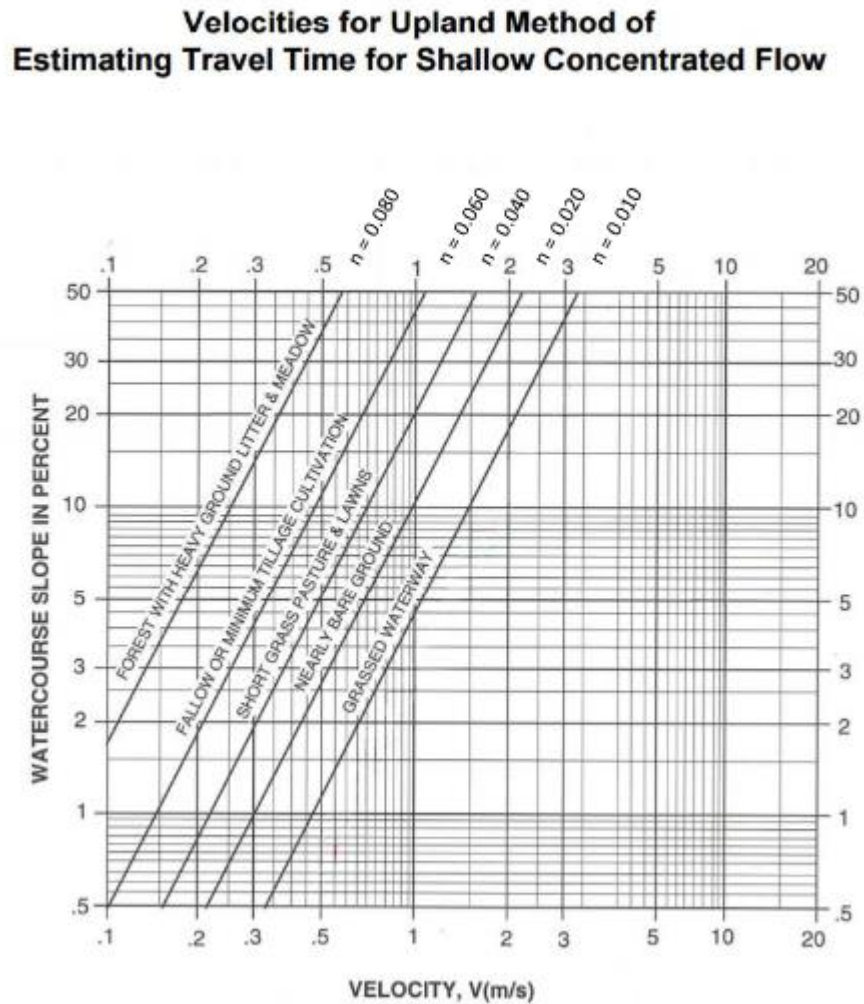
Type of Channel and Description	Minimum	Normal	Maximum
<i>A. Natural Streams</i>			
1. Main Channels			
a. Clean, straight, full, no rifts or deep pools	0.025	0.030	0.033
b. Same as above, but more stones and weeds	0.030	0.035	0.040
c. Clean, winding, some pools and shoals	0.033	0.040	0.045
d. Same as above, but some weeds and stones	0.035	0.045	0.050
e. Same as above, lower stages, more ineffective slopes and sections	0.040	0.048	0.055
f. Same as "d" but more stones	0.045	0.050	0.060
g. Sluggish reaches, weedy, deep pools	0.050	0.070	0.080
h. Very weedy reaches, deep pools, or floodways with heavy stands of timber and brush	0.070	0.100	0.150
2. Flood Plains			
a. Pasture no brush	0.025	0.030	0.035
1. Short grass	0.030	0.035	0.050
2. High grass			
b. Cultivated areas	0.020	0.030	0.040
1. No crop	0.025	0.035	0.045
2. Mature row crops	0.030	0.040	0.050
3. Mature field crops			
c. Brush	0.035	0.050	0.070
1. Scattered brush, heavy weeds	0.035	0.050	0.060
2. Light brush and trees, in winter	0.040	0.060	0.080
3. Light brush and trees, in summer	0.045	0.070	0.110
4. Medium to dense brush, in winter	0.070	0.100	0.160
5. Medium to dense brush, in summer			
d. Trees	0.030	0.040	0.050
1. Cleared land with tree stumps, no sprouts	0.050	0.060	0.080
2. Same as above, but heavy sprouts	0.080	0.100	0.120
3. Heavy stand of timber, few down trees, little undergrowth, flow below branches	0.100	0.120	0.160
4. Same as above, but with flow into branches			
5. Dense willows, summer, straight	0.110	0.150	0.200
3. Mountain Streams, no vegetation in channel, banks usually steep, with trees and brush on banks submerged			
a. Bottom: gravels, cobbles, and few boulders	0.030	0.040	0.050
b. Bottom: cobbles with large boulders	0.040	0.050	0.070

Type of Channel and Description	Minimum	Normal	Maximum
B. Lined or Built-Up Channels			
1. Concrete			
a. Trowel finish	0.011	0.013	0.015
b. Float Finish	0.013	0.015	0.016
c. Finished, with gravel bottom	0.015	0.017	0.020
d. Unfinished	0.014	0.017	0.020
e. Gunit, good section	0.016	0.019	0.023
f. Gunit, wavy section	0.018	0.022	0.025
g. On good excavated rock	0.017	0.020	
h. On irregular excavated rock	0.022	0.027	
2. Concrete bottom float finished with sides of:			
a. Dressed stone in mortar	0.015	0.017	0.020
b. Random stone in mortar	0.017	0.020	0.024
c. Cement rubble masonry, plastered	0.016	0.020	0.024
d. Cement rubble masonry	0.020	0.025	0.030
e. Dry rubble on riprap	0.020	0.030	0.035
3. Gravel bottom with sides of:			
a. Formed concrete	0.017	0.020	0.025
b. Random stone in mortar	0.020	0.023	0.026
c. Dry rubble or riprap	0.023	0.033	0.036
4. Brick			
a. Glazed	0.011	0.013	0.015
b. In cement mortar	0.012	0.015	0.018
5. Metal			
a. Smooth steel surfaces	0.011	0.012	0.014
b. Corrugated metal	0.021	0.025	0.030
6. Asphalt			
a. Smooth	0.013	0.013	
b. Rough	0.016	0.016	
7. Vegetal lining	0.030		0.500

Type of Channel and Description	Minimum	Normal	Maximum
<i>C. Excavated or Dredged Channels</i>			
1. Earth, straight and uniform			
a. Clean, recently completed	0.016	0.018	0.020
b. Clean, after weathering	0.018	0.022	0.025
c. Gravel, uniform section, clean	0.022	0.025	0.030
d. With short grass, few weeds	0.022	0.027	0.033
2. Earth, winding and sluggish			
a. No vegetation	0.023	0.025	0.030
b. Grass, some weeds	0.025	0.030	0.033
c. Dense weeds or aquatic plants in deep channels	0.030	0.035	0.040
d. Earth bottom and rubble side	0.028	0.030	0.035
e. Stony bottom and weedy banks	0.025	0.035	0.040
f. Cobble bottom and clean sides	0.030	0.040	0.050
3. Dragline-excavated or dredged			
a. No vegetation	0.025	0.028	0.033
b. Light brush on banks	0.035	0.050	0.060
4. Rock cuts			
a. Smooth and uniform	0.025	0.035	0.040
b. Jagged and irregular	0.035	0.040	0.050
5. Channels not maintained, weeds and brush			
a. Clean bottom, brush on sides	0.040	0.050	0.080
b. Same as above, highest stage of flow	0.045	0.070	0.110
c. Dense weeds, high as flow depth	0.050	0.080	0.120
d. Dense brush, high stage	0.080	0.100	0.140

ANEXO B: Nomograma de velocidad para flujo poco profundo.

Fuente: Upland method, graphical velocity estimation. McCuen (2004).



ANEXO C: Análisis de costos unitarios para un canal trapezoidal de 500m.

Fuente: Diseño de un canal trapezoidal a gravedad con abscisado 0+000 hasta 0+500 ubicado en el cantón Machala provincia El Oro. Universidad Técnica de Machala. Carchi, M. (2015)



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MACHALA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

PRESUPUESTO REFERENCIAL

PROYECTO: De Riego

UBICACIÓN: Cantón Machala

OBRA : DISEÑO DE UN CANAL TRAPEZOIDAL A GRAVEDAD

RUBRO No.	DESCRIPCIÓN	UNID.	CANT.	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
1,1	Desbroce y Limpieza	M2	375,00	0,89	333,75
1,2	Replanteo, nivelación y colocación de laterales	M	500,00	0,88	440,00
1,3	Excavación a mano, incluye desalojo y perfilada.	M3	868,28	11,38	9.881,03
1,4	Relleno compactado a mano con material en capas de 20 cm	M3	309,40	13,24	4.096,46
1,5	Transporte de material de relleno	M3/Km	12.500,00	0,23	2.875,00
1,6	Encofrado metálico	M2	950,00	9,13	8.673,50
1,7	Hormigón simple Clase A, F'c=280 Kg/cm ² . para obras de arte y revestimiento de canal secundario	M3	170,00	259,32	44.084,40
1,8	Suministro e Instalación de malla electrosoldada de 20X20Cm D=8,5mm , Fy=6000Kg/Cm2.	M2	1.700,00	9,17	15.589,00
1,9	Suministro de Cinta PVC de 10 cm. y colocación	M	425,00	11,51	4.891,75
1,10	Implementos de seguridad industrial	U	1,00	212,05	212,05
				SUB TOTAL	91.076,94
				12% de IVA	10.929,23
				TOTAL	102.006,17

ANEXO D: Tabla de potencia instalada para hidrotornillos.

Fuente: Turbinas hidráulicas de microgeneración. HIDROTOR. (2019).

DISEÑOS OPTIMIZADOS PARA CADA APLICACIÓN

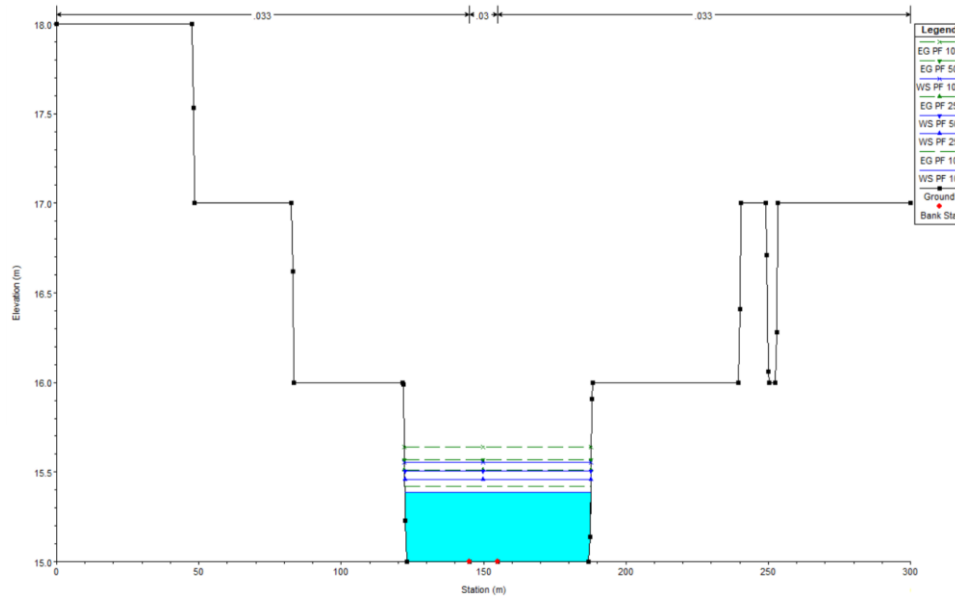
Nuestro **Hidrotornillo** es capaz de generar entre 1 y 100kW por cada unidad. Pudiendo diseñar la turbina para cada necesidad de aplicación. Para conseguir más potencia, sumamos turbinas en serie o paralelo siendo capaces de alcanzar cualquier potencia necesaria.

H(m)/Q(m ³ /s)	1,00	1,25	1,50	1,75	2,00	2,25	2,50	2,75	3,00	3,25	3,50	3,75	4,00	4,25	4,50	4,75	5,00
1,00	7	9	11	13	15	17	18	20	22	24	26	28	29	31	33	35	37
1,25	9	11	14	16	18	21	23	25	28	30	32	34	37	39	41	44	46
1,50	11	14	17	19	22	25	28	30	33	36	39	41	44	47	50	52	55
1,75	13	16	19	23	26	29	32	35	39	42	45	48	51	55	58	61	64
2,00	15	18	22	26	29	33	37	40	44	48	51	55	59	62	66	70	74
2,25	17	21	25	29	33	37	41	45	50	54	58	62	66	70	74	79	83
2,50	18	23	28	32	37	41	46	51	55	60	64	69	74	78	83	87	92
2,75	20	25	30	35	40	45	51	56	61	66	71	76	81	86	91	96	101
3,00	22	28	33	39	44	50	55	61	66	72	77	83	88	94	99	105	110
3,25	24	30	36	42	48	54	60	66	72	78	84	90	96	102	107	113	119
3,50	26	32	39	45	51	58	64	71	77	84	90	96	103	109	116	2x61	2x64
3,75	28	34	41	48	55	62	69	76	83	90	96	103	110	117	2x62	2x65	2x69
4,00	29	37	44	51	59	66	74	81	88	96	103	110	118	2x62	2x66	2x70	2x74
4,25	31	39	47	55	62	70	78	86	94	102	109	117	2x62	2x66	2x70	2x74	2x78
4,50	33	41	50	58	66	74	83	91	99	107	116	2x62	2x66	2x70	2x74	2x78	2x82
4,75	35	44	52	61	70	79	87	96	105	113	2x61	2x65	2x70	2x74	2x78	2x83	2x87
5,00	37	46	55	64	74	83	92	101	110	119	2x64	2x69	2x73	2x78	2x82	2x87	2x92

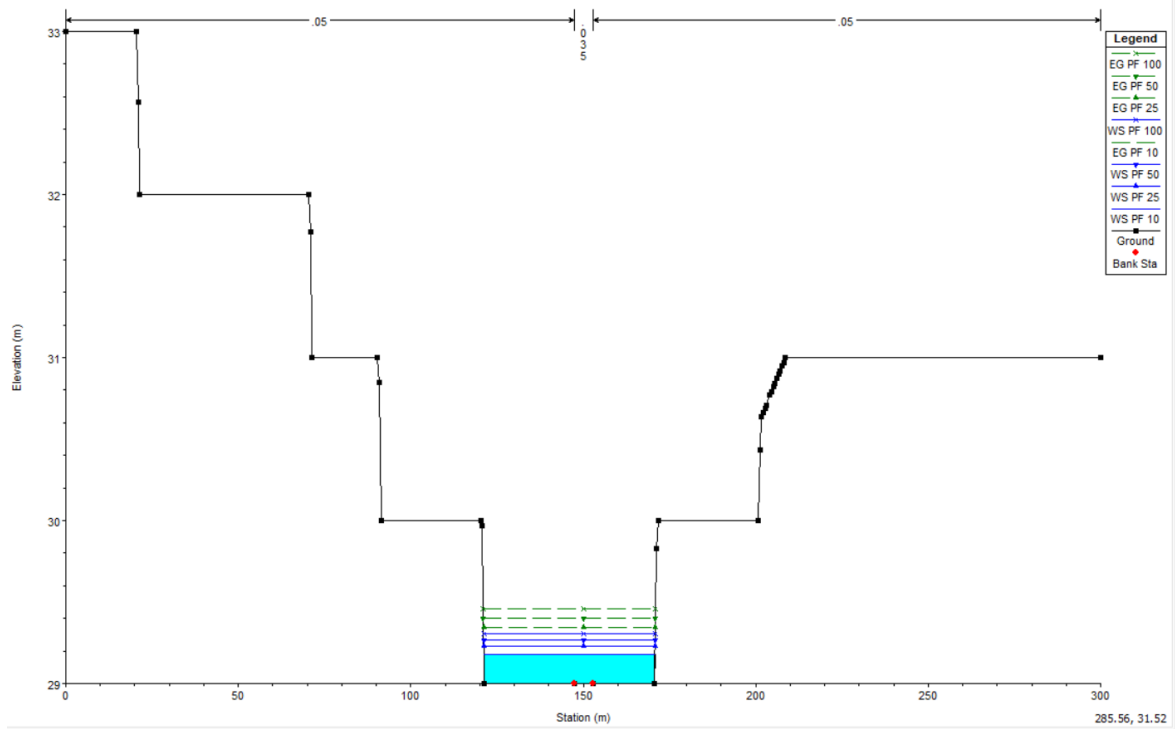
Potencia del Hidrotornillo en kW, en función de la altura y el caudal disponibles.

ANEXO E: Secciones transversales HEC RAS

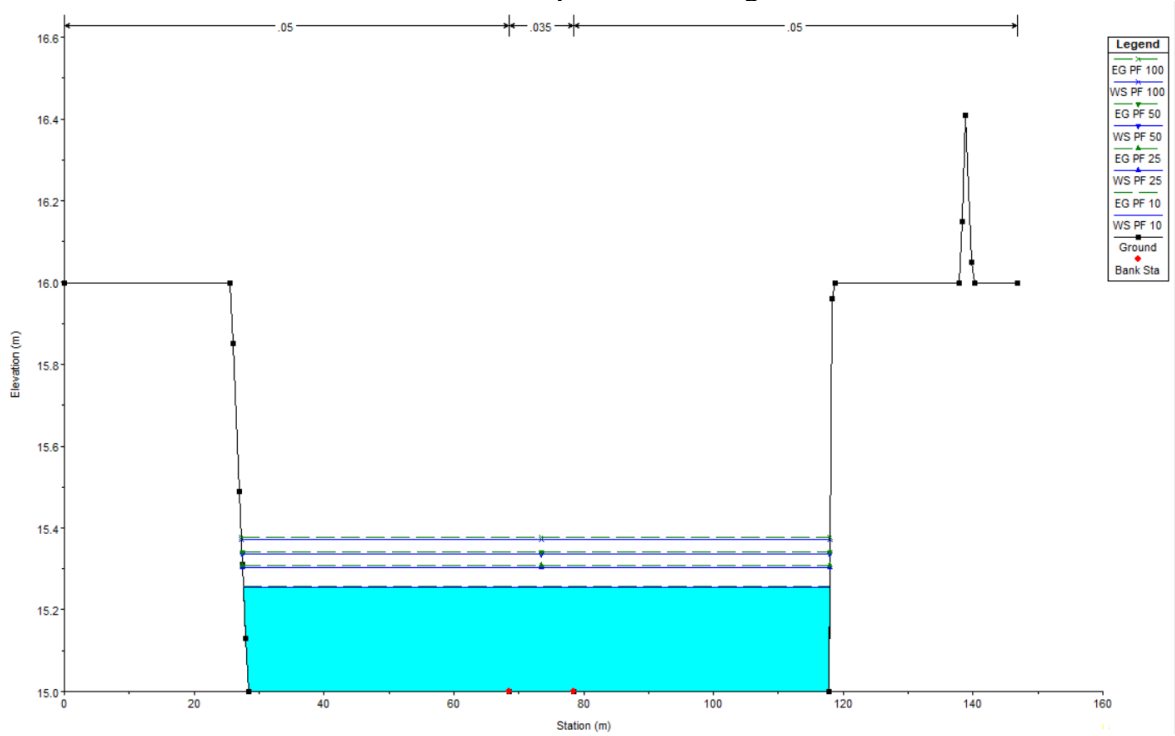
Encañada Barrio Frío, a 500 m desde el punto de desfogue.



Encañada Divino Niño, a 660 m desde el punto de desfogue.



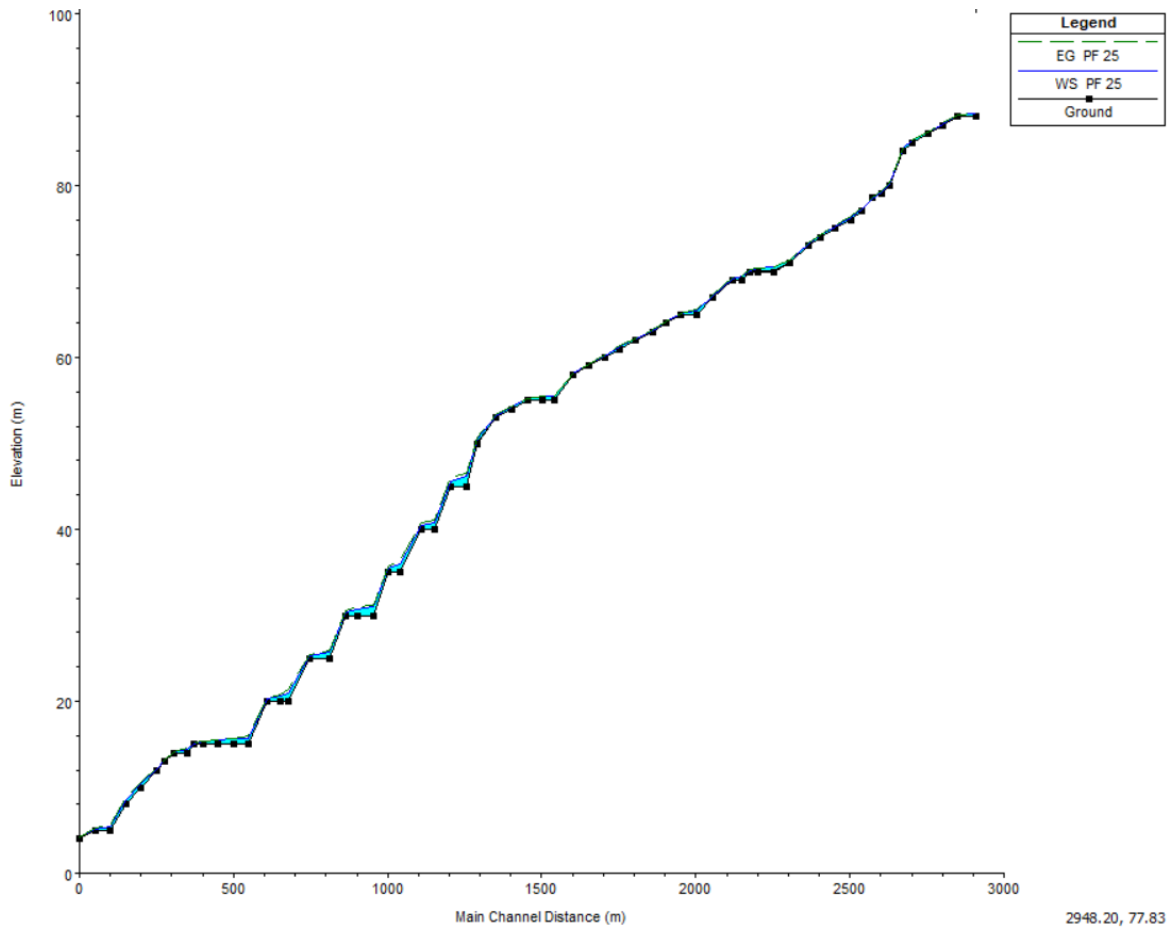
Encañada Escuela Alvear, a 397 m desde el punto de desfogue

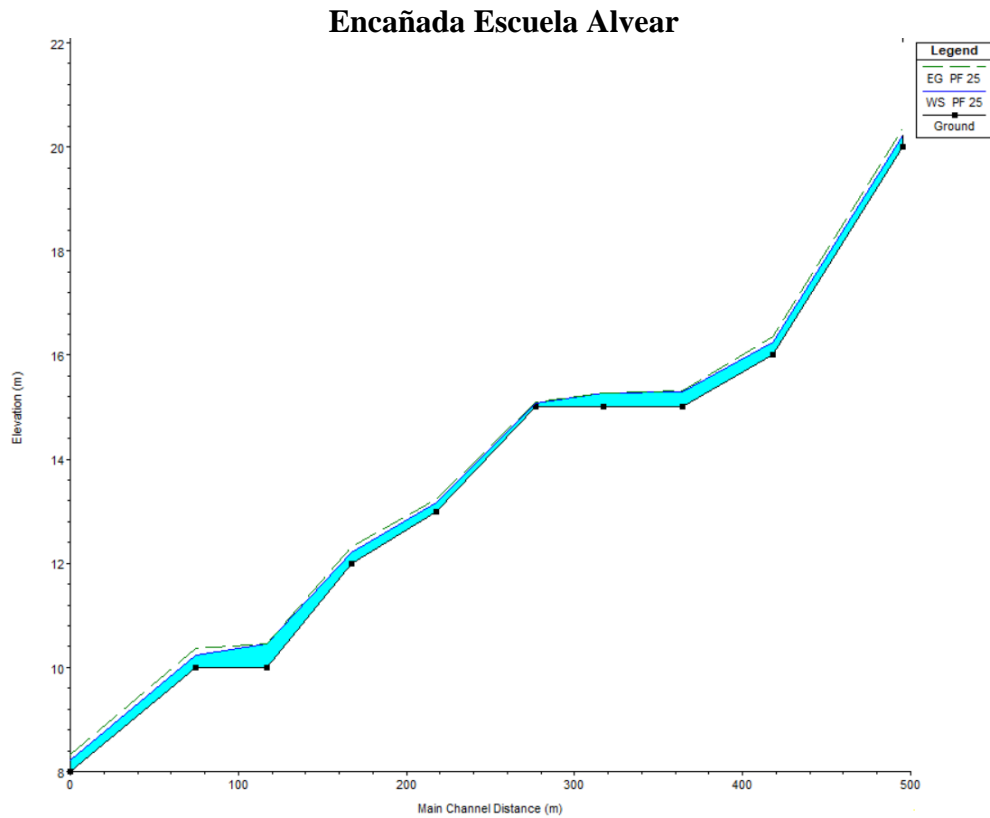
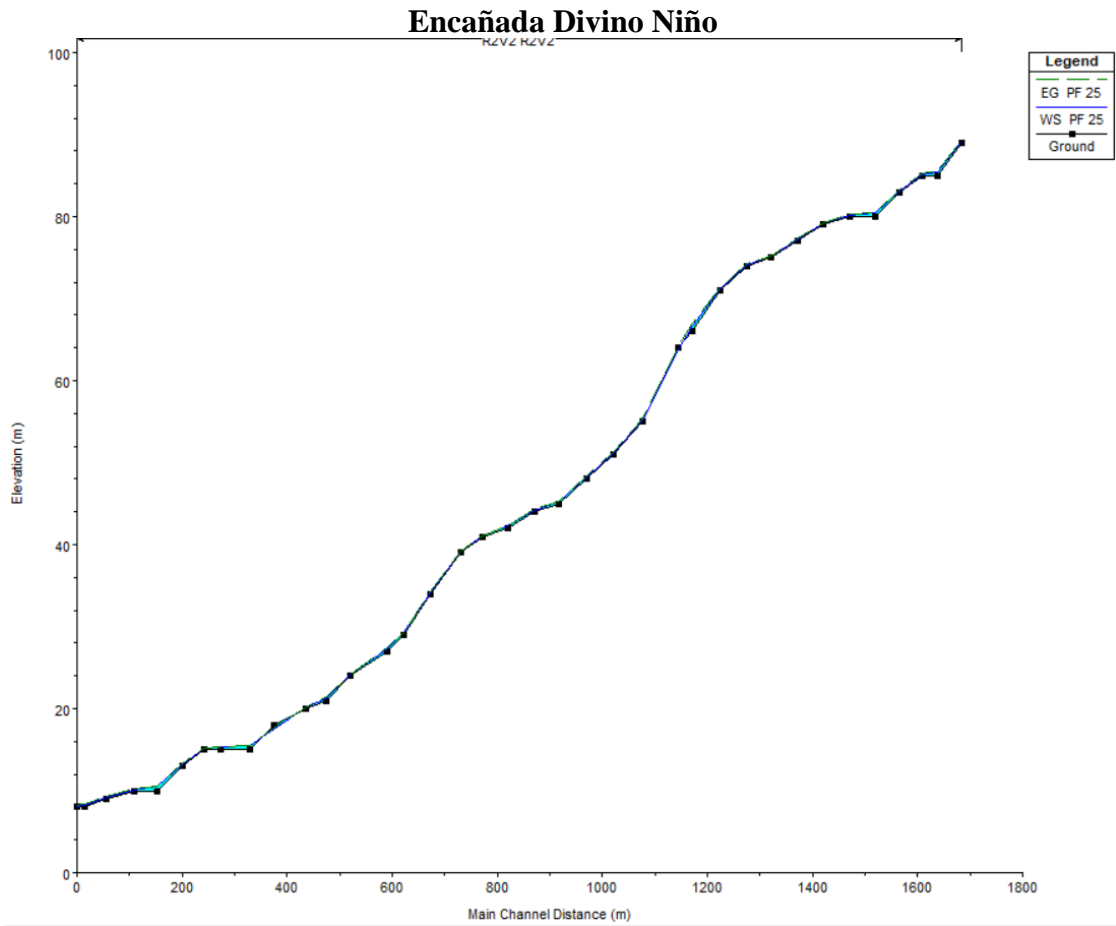


ANEXO F: Perfil de inundación del río.

Empleando el software HEC RAS, se obtuvieron los siguientes perfiles de inundación de río:

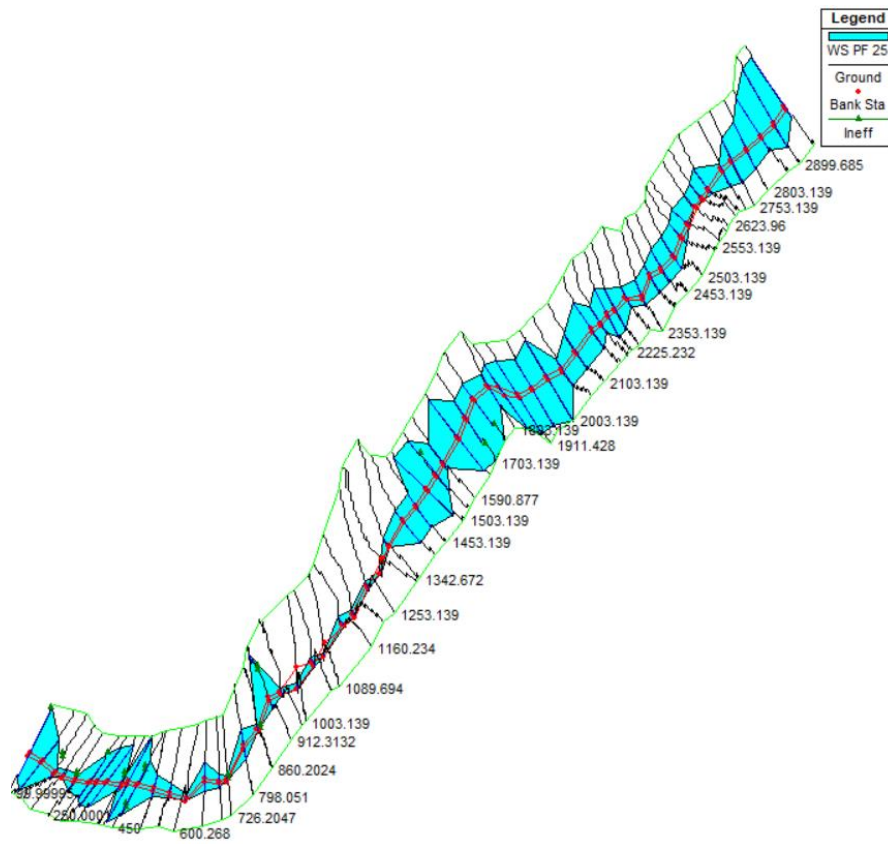
Encañada Barrio Frío



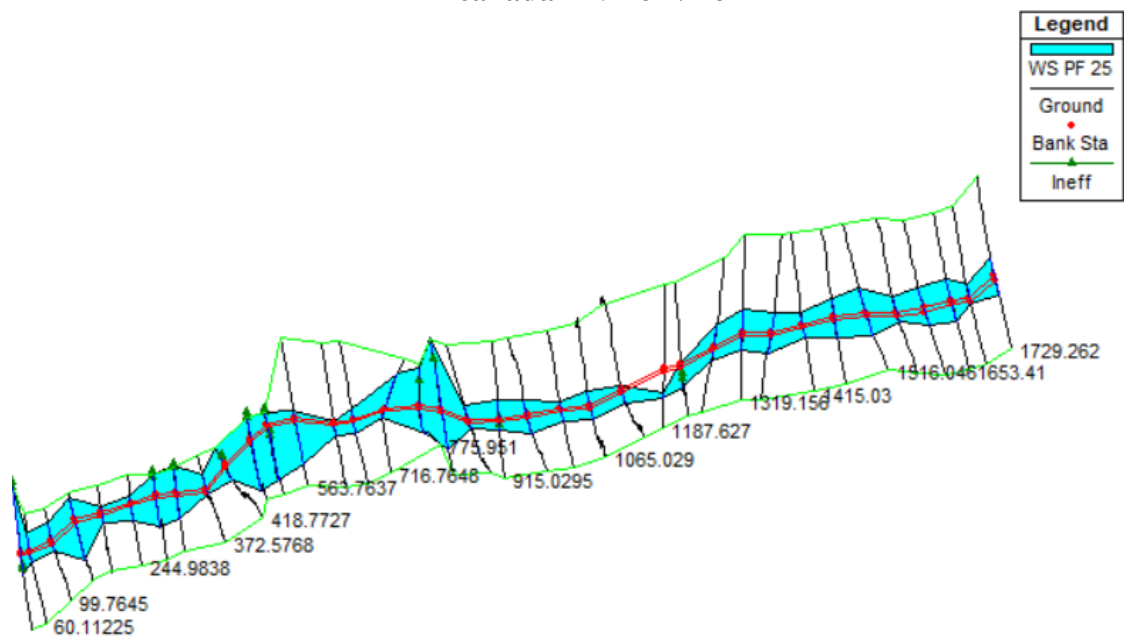


Vista de las secciones transversales de cada encañada, obtenida a partir del software HEC RAS después de la simulación para 25 años de período de retorno.

Encañada Barrio Frío



Encañada Divino Niño



Encañada Escuela Alvear