

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería Marítima y Ciencias del Mar

MODELACION HIDRICA DE UNA CUENCA PARA EL
ESTABLECIMIENTO DE UN SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA ANTE
INUNDACIONES USANDO FUENTES DE INFORMACION LOCAL Y
SENSORES REMOTOS. CASO DE ESTUDIO SALIMA, PROVINCIA
ESMERALDAS

PROYECTO INTEGRADOR

Previo la obtención del Título de:

Ingeniera Oceanográfica

Presentado por:

Nelly Gisella Díaz Yaguachi

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2020

DEDICATORIA

Con amor dedicado a mis padres...

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios, a mis padres y hermanos por apoyarme en cada momento, sin duda alguna éste logro es para ustedes.

A mis amigos, que tuve la oportunidad de conocer durante esta etapa de mi vida, me quedé con los mejores.

A Espol por la formación profesional impartida gracias a sus profesores de calidad que me formaron.

A todas las personas que contribuyeron con su tiempo para poder realizar este proyecto a pesar de todas dificultades que vivimos durante la pandemia del Covid-19.

DECLARACIÓN EXPRESA

"Los derechos de titularidad y explotación, me corresponden conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución;

Los derechos de titularidad y explotación, me corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; Nelly Gisella Díaz Yaguachi y doy mi consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual"



Nelly Gisella Díaz Yaguachi
CC. 0705975068
ngdiaz528@gmail.com

EVALUADORES



Firmado electrónicamente por:
**LUIS MIGUEL
ALTAMIRANO
PEREZ**

MSc. Luis Altamirano

PROFESOR DE LA MATERIA



Firmado electrónicamente por:
**MERCY JULIA
BORBOR
CORDOVA**

Ph.D. Mercy Borbor Cordova

PROFESOR TUTOR

RESUMEN

El objetivo de esta tesis es, generar escenarios de inundación con simulaciones numéricas del caudal en el río Salima ubicado en la localidad de Muisne de la provincia de Esmeraldas, para evaluar áreas vulnerables y de riesgo de inundación por lluvias intensas e inviernos extremos, en 2, 5 , 10 y 25 años de periodos de retorno, conociendo las condiciones morfológicas y climatológicas de la microcuenca. Esto es parte del componente de Monitoreo y Alerta de un Sistema de Alerta Temprana. Este proyecto se desarrolló en tres fases: (i) Obtención de información, (ii) Procesamiento de la información, (iii) Modelización hidrológica con software Iber. Se utilizó como información inicial un modelo de elevación digital con una resolución espacial de 3 [m] y una imagen satelital de resolución espacial de 12 [m], que permite caracterizar el área de estudio mediante SIG, definir condiciones de contorno, definir condiciones hidrodinámicas y rugosidad del suelo . A partir de los resultados del modelado, se elaboran mapas de las zonas de inundación, que muestran la profundidad y los niveles de agua. Finalmente, se identifica la zona de riesgo de inundación, debido al desbordamiento del río.

Palabras Clave: Inundaciones, Imagen Satelital, Iber, Sistema de Alerta Temprana

ABSTRACT

The objective of this thesis is, to generate flooding scenarios with numerical simulations of the flow in the Salima River located in Muisne town of the Esmeraldas province, to evaluate vulnerable and risk areas of flooding due to heavy rains and extreme winters, in 2, 5, 10 and 25 years of returns periods , knowing the morphological and climatological conditions of the micro-basin.

This is part of the Monitoring and Alert component of an Early Warning System. This project was developed in three phases: (i) Information Obtaining, (ii) Information Processing, (iii) Hydrological Modeling with Iber software. A digital elevation model with a spatial resolution of 3[m] and a 12[m] spatial resolution satellite image were used as initial information, which allows to characterise the area of study using GIS, define boundary conditions, define hydrodynamic conditions and soil roughness. From the results of the modeling, maps of the flood zones are made, showing the depth and water levels. Finally, the area the flood risk are identified, due to the overflowing of the river.

Key Words: *Floods, Satellite Image, Iber, Early Warning System*

INDICE GENERAL

RESUMEN.....	I
<i>ABSTRACT</i>	II
INDICE GENERAL.....	III
ABREVIATURAS	V
SIMBOLOGÍA	VI
ÍNDICE DE FIGURAS.....	VII
ÍNDICE DE TABLAS	VIII
CAPÍTULO 1	1
1. INTRODUCCION.....	1
1.1 Descripción del problema	2
1.2 Justificación del problema.....	2
1.3 Objetivos.....	3
1.3.1 Objetivo General	3
1.3.2 Objetivos Específicos	3
1.4 Marco teórico	3
1.4.1 Area de Estudio.....	4
1.4.2 Sistemas de Alerta Temprana.....	7
1.4.3 Teledetección para la prevención y evaluación de inundaciones.....	9
1.4.4 Caracterización de Cuenca Hidrográficas	10
1.4.5 Relación Precipitación - Escorrentía	11
1.4.6 Modelación Hidrológica para determinar áreas de inundaciones	12
CAPÍTULO 2	14
2. METODOLOGIA	14
2.1 Etapa 1: Obtención de Información	15
2.1.1 Modelo De Elevación Digital	15

2.1.2	Precipitaciones	15
2.2	Etapa 2: Procesamiento de Información	16
2.2.1	Caracterización Morfológica de la Microcuenca del Rio Salima	17
2.2.2	Relación Precipitación-Escorrentía	24
2.3	Etapa 3: Modelación Hidrica con Software Iber	27
2.3.1	Datos de Entrada para Iber 2.5	29
2.3.2	Generación de Escenarios de Inundaciones	33
CAPÍTULO 3		34
3.	RESULTADOS Y ANÁLISIS	34
3.1	Etapa 1: Obtención de Información	34
3.1.1	Modelo de Elevación Digital	34
3.1.2	Precipitaciones	36
3.2	Etapa 2: Procesamiento de Información	37
3.2.1	Caracterización Morfológica de la Microcuenca del Rio Salima	37
3.2.2	Relación Precipitación - Escorrentía	40
3.3	Etapa 3: Modelación Hídrica con Software Iber	45
CAPÍTULO 4		50
4.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	50
4.1	Conclusiones	50
4.2	Recomendaciones	52
5.	BIBLIOGRAFIA	54
ANEXOS		58

ABREVIATURAS

ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
FIMCM	Facultad de Ingeniería Marítima y Ciencias del Mar
GIZ	Sociedad Alemana de Cooperación Internacional
DISATS	Diseño e Implementación del Sistema de Alerta Temprana en Salima
MAGAP	Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca
SENAGUA	Secretaría Nacional del Agua
SAT	Sistema de Alerta Temprana
DEM	Modelo de Elevación Digital
OMM	Organización Mundial Meteorológica
IDF	Intensidad – Duración – Frecuencia
SIG	Sistema de Información Geográfica
PDOT	Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial
MSNM	Metros Sobre el Nivel Mar
ENSO	El Niño Southern Oscillation
MDT	Modelo Digital del Terreno

SIMBOLOGÍA

m	Metro
A	Área
Km	Kilometros
Kc	Indice de Compacidad
F	Factor de Forma
P	Perímetro
L	Longitud
l_a	Índice de alargamiento
Lm	Longitud Maxima
I	Ancho Maximo
E	Altitud Media
Km	Coeficiente de masividad
Co	Coeficiente Orográfico
Dd	Densidad de Drenaje
S	Pendiente del Cauce Principal
Tc	Tiempo de Concentración
\bar{x}	Media
Sx ²	Varianza
Cvx	Coeficiente de Variación
PH	Precipitación Aceptable
gx	Coeficiente de Asimetría
Q	Caudal Máximo
C	Coeficiente de Escorrentía
I	Intensidad Máxima de Lluvia

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Localización de Salima, Cantón Muisne - Esmeraldas.	5
Figura 1.2 Elementos Principales de los Sistemas de Alerta Temprana.....	7
Figura 2.1 Proceso de Diseño de French.	14
Figura 2.2 Ubicación de la Estación Metereologica M0156 Quininde.	16
Figura 2.3 Proceso de delimitación de Cuencas.....	17
Figura 2.4 Proceso para la obtención de Áreas Parciales.	18
Figura 2.5 Proceso para determinar características generales de una Cuenca.	19
Figura 2.6 Proceso para determinar la pendiente media de una Cuenca.	21
Figura 2.7 Proceso para determinar Perfil Longitudinal del Rio Salima	23
Figura 2.8 Módulos del Softwar Iber 2.5	27
Figura 2.9 Proceso Metodológico para el Modelamiento con Iber 2.5.	28
Figura 2.10 Imagen Georeferenciada en Qgis, delimitando secciones del poblado.	29
Figura 2.11 Registro de condiciones de contorno en la entrada y salida del rio.	29
Figura 2.12 Configuración de malla en el poblado y río de Salima.	30
Figura 2.13 Asignación de uso de suelo.	31
Figura 2.14 Generación de Topografía y Batimetría de la zona de estudio.	31
Figura 3.1 Área de Interés, para la descarga de datos TRMM.	36
Figura 3.2 Precipitación acumulada anual de la Multisatelite TRMM.....	37
Figura 3.3 Proceso de la Delimitación de la Microcuenca del Rio Salima	38
Figura 3.4 Orden de Rios de la Microcuenca del Río Salima.	39
Figura 3.5 Estimación de la pendiente del Rio Salima.....	40
Figura 3.6 Perfil Longitudinal del Rio Salima en la Microcuenca.	40
Figura 3.7 Precipitaciones Máximas en 24 horas del año 2000 al 2019.....	41
Figura 3.8 Curvas IDF de Salima con tiempos de recurrentes de 2 a 25 años	44
Figura 5.1 Distribución Frecuencia -Probabilidad De Excedencia	59
Figura 5.2 Cálculo de precipitaciones máximas en 24 horas	59
Figura 5.3 Prueba de bondad de ajustes de las diferentes distribuciones.	60
Figura 5.4 Estimación de parámetros de la Distribución Teórica de Pearson III.....	60
Figura 5.5 Estimación de precipitaciones utilizando coeficiente de relación OMM ...	61
Figura 5.6 Estimación de CURVAS IDF, Modelo Dick Peschke	61

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Prontuario Informacion Geográfica de la Parroquia Salima.	4
Tabla 1.2 Bibliografía sobre el Area de Estudio.	6
Tabla 1.3 Bibliografía sobre Sistemas de Alerta Temprana.	8
Tabla 1.4 Bibliografía sobre la Teledetección en la prevención y evaluación de inundaciones.	9
Tabla 1.5 Bibliografía sobre la caracterización de una cuenca hidrográfica.	10
Tabla 1.6 Bibliografía sobre Precipitación y Escorrentía.	12
Tabla 1.7 Bibliografía sobre Modelación Hidrológicas de Inundaciones.	13
Tabla 2.1 Comparación de resolución espacial de imágenes satelitales.	15
Tabla 2.2 Clasificación de los espacios hidrológicos según su área.	19
Tabla 2.3 Parámetros morfométricos relacionados con la forma de la Cuenca.	20
Tabla 2.4 Parámetros morfométricos relacionados con el relieve de la Cuenca.	20
Tabla 2.5 Clasificación de Cuencas según su pendiente media.	22
Tabla 2.6 Parámetros relacionados con la red de drenaje de la Microcuenca.	22
Tabla 2.7 Parametros Relacionados al calculo del perfil longitudinal.	23
Tabla 2.8 Proceso en la estimacion de valores de caudal.	25
Tabla 3.1 Configuración de parámetros en la página de ASF Data Search Vertex ..	34
Tabla 3.2 Característica de Modelo de elevación digital 12m.	35
Tabla 3.3 Característica de Modelo de elevación digital 3m.	35
Tabla 3.4 Características Geomorfológicas de la Microcuenca Rio Salima.	38
Tabla 3.5 Parametros estadisticos para estimacion de caudales maximos.	41
Tabla 3.6 Valores de precipitaciones acumuladas en diferentes intervalos.	43
Tabla 3.7 Intensidades de precipitacion para periodos de 2,5,10 y 25 años.	43
Tabla 3.8 Valores de caudales maximos usando Metodo Rcional.	45
Tabla 3.9 Mapas de nivel de agua, para los periodos de retorno 2,5,10 y 25 años. ...	46
Tabla 3.10 Mapas de Calado, para los periodos de retorno 2,5,10 y 25 años.	48
Tabla 5.1 Precipitaciones maximas del 2000 al 2019.	58
Tabla 5.2 Relación entre precipitación Máxima Verdadera e Intervalos Fijos.	60
Tabla 5.3 Coeficiente de Escorrentía Método Racional (Chow, 1994).	62

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCION

La comunidad de Salima es afectada cada año por eventos de inundaciones provocados por el desbordamiento del Rio Salima que esta aledaña a la zona de estudio, este desbordamiento a causa de las lluvias extremas, inviernos fuertes y el aumento del nivel del mar por el Estero Cojimfés, provoca que la comunidad este expuesta y sea vulnerable frente a esta amenaza. Según el PLAN DE DESARROLLO Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL DE LA PARROQUIA SALIMA-MUISNE las zonas con riesgo de inundación, se suscriben al área costera con una altitud bajo los 20 m.s.n.m, cuando se presentan eventos de inundación, provoca que las viviendas asentadas cerca a la orilla del Rio Salima corran el riesgo de ser arrastradas por las corrientes, lo que implica que familias enteras sean evacuadas, pérdida de cultivos y negocios, incomunicación del poblado, acumulación del agua y enfermedades.

Los datos e informacion bibliografica que se obtienen de la zonas de estudio permiten predecir de manera real o aproximada eventos que pueden ocurrir, es por eso la importancia de obtener datos con una resolucion espacial adecuada, nitida y actualizada.

La modelacion numérica es una herramienta que permite analizar eventos de riesgo como las inundaciones, dando un enfoque para la toma de decisiones en la implementacion de sistemas de alerta temprana, ordenamiento o planificacion territorial, modificacion hidrológica-forestal de las cuencas entre otras, como soluciones adaptandolas a las condiciones del ambientales del lugar.

El presente trabajo comparte una metodologia aplicable a zonas con riesgos de inundaciones dentro de cuencas o microcuencas hidrograficas con areas menores a los 45 m², que necesita obtener informacion y procesarla para una modelacion hidrica, partiendo de un analisis de amenazas, exposicion y vulnerabilidad, este proyecto se realizo usando la metodologia del Modelo de French y que utiliza The Society of Naval Architects & Marine Engineers (SNAME).

1.1 Descripción del problema

La falta de datos in situ sobre variables meteorológicas, oceanográficas e hidrológicas hace que sea imposible para el Poblado de Salima, predecir el grado de inundación en diferentes condiciones. Esto dificulta la identificación de las llanuras aluviales de alto riesgo, que provocan la pérdida en los sectores económicos, dejando a sus habitantes en extrema necesidad.

Las restricciones de este proyecto son:

- Escasa información bibliográfica sobre la zona de estudio.
- Base de datos de Modelo de Elevación Digital con una buena resolución espacial no disponibles en Ecuador.
- Restricciones de movilidad para el reconocimiento de la zona de estudio y la verificación de datos por estado de excepción decretado a nivel nacional, para combatir la propagación de la enfermedad Corona Virus Disease 2019 (Ministerio de Salud Pública, 2020).
- Salima no posee información de estaciones hidrometeorológicas in situ. Las estaciones de Inamhi se encuentran muy lejanas de la zona de estudio y los registros poseen información escasa.
- Para la Modelación Hidrológica, el modelo de la elevación digital fue del año 2011 y se elaboró una batimetría del río en base a descripciones visuales.

1.2 Justificación del problema

ProCamBío es un proyecto desarrollado por la Corporación Técnica Alemana – GIZ que en 2019 se propone como objetivo aumentar la resiliencia de poblaciones vulnerables frente a amenazas de riesgos climáticos y ecológicos en Ecuador, como el caso de un pequeño poblado al sur de la provincia de Esmeraldas conocido como Salima, estableciendo entre otras acciones un Sistema de Alerta Temprana Comunitario, el cual permitiría desarrollar una respuesta inmediata a los eventos de inundaciones que cada año debido a fuertes lluvias, inviernos extremos, el aumento del nivel mar y entre otros factores que golpean fuertemente a esta localidad. Inicialmente en el 2018, GIZ solicita a la Fundación Latinoamérica por medio de una consultoría, elaborar un Plan de Gestión de Riesgos Climáticos de Salima, que incluía un análisis de la amenaza, exposición y vulnerabilidad, con enfoque al género y participación, dando como resultado que no existe una equidad de género, desfavoreciendo a las mujeres en plazas laborales e ingresos económicos, ya que al quedarse en casa se concentran en el trabajo doméstico

y la responsabilidad de la familia, reduciendo su capacidad de liderazgo y habilidades para enfrentar situaciones de riesgo, siendo las más afectadas por los eventos de inundaciones mientras estas ocurren, (Araujo, Velasco, Vásquez, Rivadeneira, & Volker, 2018).

De acuerdo con los cuatro componentes que conforman un SAT, (i) Conocimiento del Riesgo, ii) Monitoreo y Alerta, iii) Difusión y Comunicación y iv) Capacidad de respuesta.) este proyecto se basa en realizar una metodología que permita obtener y procesar información para la modelación de inundaciones en la zona de estudio, alineado con el componente i y ii del SAT.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Desarrollar una metodología que permita obtener y procesar información satelital de la Microcuenca del Rio Salima, implementándolo en un modelo hidrológico para aplicarlo sobre escenarios de inundaciones.

1.3.2 Objetivos Específicos

1. Obtener Modelo de Elevación Digital y datos de precipitación usando fuentes de Información Satelital.
2. Caracterizar la Cuenca Hidrográfica de Muisne, utilizando herramientas hidrológicas a partir de un modelo de elevación digital para obtener parámetros morfométricos.
3. Realizar análisis estadístico con datos de precipitación máxima en 24 horas, empleando el método racional con diferentes duraciones y periodos de retorno, para determinar caudales de diseño en la zona de estudio.
4. Simular el transito del flujo en el cauce cercano a la población de Salima mediante el modelo numérico Iber para determinar zonas de inundaciones.

1.4 Marco teórico

Este proyecto parte de la investigación de estudios sobre Sistemas de Alerta Temprana, la Teledetección como herramienta en la identificación de la amenaza, la Caracterización Geomorfología de una Cuenca, el Análisis de la relación Precipitación-Escorrentía y la

Modelación Hidrológica para la identificación de zonas de inundaciones. Dentro de los proyectos de revisión que fueron necesarios para el desarrollo de éste fueron sobre:

1.4.1 Area de Estudio

Tabla 1.1 Prontuario Información Geográfica de la Parroquia Salima.

UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE LA PARROQUIA RURAL DE SALIMA	
Coordenadas	Zona 17 N 614979.23 m E 35799.82 m N
Limites	Limita al Norte con la parroquia Daule, al Sur con la parroquia San José de Chamanga, al Este con la parroquia San Gregorio y al Oeste con el Océano Pacífico. (Gobierno Autónomo Descentralizado de la Parroquia Rural de Sálima, 2016)
Otros datos	Creada el 3 de diciembre de 1962, tiene una extensión de 43.05 Km ² según el censo del 2010 cuenta con una población local de 1117. (Gobierno Autónomo Descentralizado de la Parroquia Rural de Sálima, 2016)
FISIOGRAFÍA	
Región	Costa
Provincia	Esmeraldas
Cantón	Muisne
Parroquia	Rural Sálima
Relieve	Medio Aluvial y Relieve Litoral Sedimentario y Fluvio-Marino
CLIMA	
Rango de temperatura	24 - 26° C
Rango de precipitación	1250-1500 mm anuales
Clima	Cálido Húmedo Tropical
GEOGRAFÍA	
Periodo	Mio plioceno
Roca	Arcillas tobáceas con capas de areniscas delgadas, lutitas, limolitas, conglomerados
EDAFOLOGÍA	
Suelo dominante	Según el sistema Soil Taxonomy en la zona existen suelos Alfisoles (Hapludalfs) y Inceptisoles (Eutrudepts) (Parreño & Coello, 2016)
HIDROGRAFÍA	
Sistema Hidrográfico	07 Muisne (área 3136 km ²)
Cuenca Hidrográfica	0720 Río Salima (179 km ²)
Subcuenca	072001 Río Salima
Vertiente	Océano Pacífico

USO DEL SUELO Y VEGETACIÓN	
Uso de suelo	Área poblada (0.34%), área sin cobertura vegetal (0.63%), mosaico agropecuario (10.06%), Infraestructura (24.95%)
Vegetación	Bosque Nativo (13.41%), Pastizal (44.17%), Cultivo Permanente (6.44%)
USO POTENCIAL DE LA TIERRA	
Bosque Nativo	Producción de madera
Pastizal	Pecuario
Infraestructura	Camaroneras
Mosaico Agropecuario	Cultivos varios de ciclo corto
Cultivo permanente	Cultivo cacao, palma africana
ZONA URBANA	
<p>La mayor parte de la zona urbana se encuentra en el recinto Cabecera Parroquial, que está asentada sobre suelos del periodo Mio plioceno sobre áreas de relieves litorales sedimentarios y fluvio-marinos donde existen suelos denominados Alfisoles e Inceptisoles; tiene un clima cálido tropical y está creciendo sobre terrenos previamente ocupados por pastizales, infraestructura, bosque nativo y agricultura (Parreño & Coello, 2016).</p>	

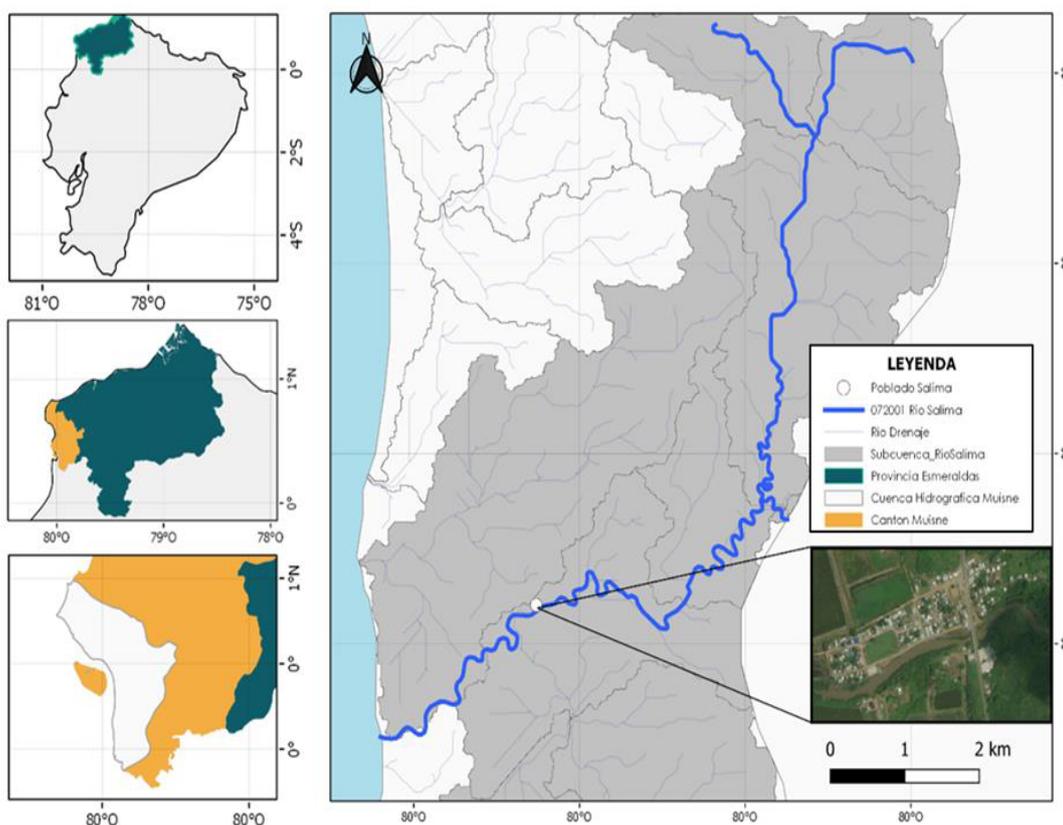


Figura 1.1 Localización de Salima, Cantón Muisne - Esmeraldas.

Tabla 1.2 Bibliografía sobre el Area de Estudio.

TITULO	AUTORES	DESCRIPCIÓN	APORTE AL PROYECTO	REFERENCIA
División Hidrográfica del Ecuador.	Consejo Nacional de Recursos Hídricos, Grupo Interinstitucional.	El CNRH realiza una actualización de documento elaborado de 1992, en el que se incluye la subdivisión de subcuencas hidrográficas.	Identificación del Sistema Hidrológica del Rio Salima	(Consejo Nacional de Recursos Hídricos, 2002).
Plan de desarrollo y ordenamiento territorial 2012-2022	Gobierno Autónomo Descentralizado de la Provincia de Esmeraldas	Se muestran mapas: de cuencas hidrográficas, usos de suelos y zonas de protección.	Información sobre la Cuenca Hidrográfica de Muisne.	(Esmeraldas, 2012)
Proyección de la Población 2007 por Provincias, Cantones y Parroquias según Grupos Programáticos.	Ministerio de Salud Publica	Documento útil para programar, fijar objetivos y metas, evaluar las coberturas de sus programas y considerar su planificación presupuestaria para obtener datos que permitan establecer indicadores capaces de modificar o mejorar sus actividades.	Estimacion de habitantes del Cantón Muisne.	(Ministerio de Salud Pública, 2008)
Censo de Población y Vivienda del Cantón Muisne	Instituto Nacional de Estadística y Censos	Resultados definitivos de algunas de las variables investigadas en el VI Censo de Población y V de Vivienda, realizado el 25 de noviembre del año 2001.	Informacion estadística de vivienda sobre el Cantón Muisne	(Inec, 2001)
Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial Parroquia Rural Sálima	Gobierno Autónomo Descentralizado de la Parroquia Rural de Sálima	“El plan de desarrollo y ordenamiento territorial es una herramienta vital para influir en la mitigación de la vulnerabilidad de manera anticipada y planificada”.	Usos de Suelo	(Gobierno Autónomo Descentralizado de la Parroquia Rural de Sálima, 2016)

Elements of Ocean Engineering	Robert E. Randall	Aborda temas relacionados a estructuras marinas, procesos costeros, hidrodinámica de cuerpos flotantes y sumergidos, sistemas submarinos y acústica marina.	Metodología de diseño del proyecto.	(Randall, 1997)
-------------------------------	-------------------	---	-------------------------------------	-----------------

1.4.2 Sistemas de Alerta Temprana

OEA (2010), menciona “Un sistema de alerta temprana, SAT, consiste en la transmisión rápida de datos que active mecanismos de alarma en una población previamente organizada y capacitada para reaccionar de manera temprana y oportuna” (UNESCO-CEPREDENAC, 2012).

Un sistema de alerta temprana consta de cuatro componentes:



Figura 1.2 Elementos Principales de los Sistemas de Alerta Temprana.

Conocimiento del Riesgo. – En el primer componente, la evaluación de riesgos requiere la recolección y análisis sistemático de información, y debe tener en cuenta la naturaleza dinámica de las amenazas y vulnerabilidades generadas por el proceso de urbanización, cambios de uso del suelo en las áreas rurales, degradación ambiental y cambio climático.

Monitoreo y Alerta. – Para este componente, además de monitorear continuamente los parámetros y características del evento, también debe contar con una base científica que

permita la provisión y prevención de amenazas, lo que ayudará a desarrollar alertas precisas y oportunas.

Difusión y Comunicación. – Permite generar alertas que ayuden a salvaguardar la vida y medios de sustento de las personas, requieren que sean claras, con información sencilla, que el receptor pueda interpretar hábilmente y sobre todo que los canales de comunicación estén previamente definidos.

Capacidad de respuesta. – Las comunidades, comprenden, respetan y reaccionan a las alertas emitidas, por lo que es importante que tengan un plan de gestión frente a desastres y que haya sido socializado y puesto en práctica.

Tabla 1.3 Bibliografía sobre Sistemas de Alerta Temprana.

TITULO	AUTORES	DESCRIPCIÓN	APORTE AL PROYECTO	REFERENCIA
Conceptos y herramientas Sistema de Alerta Temprana y Gestión del Riesgo para la comunidad educativa	Unesco Cepredenac	Brinda elementos y herramientas conceptuales para el manejo y desarrollo de comunidades resilientes para la reducción del riesgo de desastres estableciendo un sistema de alerta temprana.	Concepto sobre Sistema de alerta temprana. Componentes de un Sistema de Alerta Temprana.	(UNESCO-CEPREDENAC, 2012)
Desarrollo de Sistemas de Alerta Temprana: Lista de comprobación	International Strategy for Disaster Reduction. Federal Foreign Office	Informe de la conferencia EWC, donde se presentó varios e innovadores proyectos de alerta temprana, discusión de amenazas y los riesgos naturales en todo el mundo.	Principales Elementos de un Sistema de Alerta Temprana. Actores Principales	(International Strategy for Disaster Reduction., 2006)

Guía sobre los Sistemas de Alerta Temprana en apoyo al Plan de Protección Escolar (PPE)	Unesco Cepredenac	Guía educativa elaborada por medio del Plan Social Educativo “Vamos a la Escuela”, sobre los sistemas de alerta temprana para fortalecer el Plan de Protección Escolar.	Componentes de un Sistema de Alerta Temprana.	(Unesco - Cepredenac, 2012)
Manual Para el Diseño e Implementación de un Sistema de Alerta Temprana de Inundaciones en Cuencas Menores	Secretaria General de las Organizaciones de los Estados Americanos. Gobierno de Irlanda.	Reúne los aspectos clásicos de los programas de preparativos y respuesta a emergencias con propuestas para reducir la vulnerabilidad y el registro de los regímenes hídricos para alertar a la comunidad de las posibilidades de inundaciones.	Componentes de un Sistema de Alerta Temprana.	(Secretaria General de las Organizaciones de los Estados Americanos - Gobierno de Irlanda., 2001)

1.4.3 Teledetección para la prevención y evaluación de inundaciones.

El uso de satélites tiene como objetivo mejorar la calidad de la información y el funcionamiento de los centros de prevención, supervisión y mitigación de desastres naturales. Los datos deben obtenerse de manera fácil y oportuna. (Ponvert & Lau, 2018)

Tabla 1.4 Bibliografía sobre la Teledetección en la prevención y evaluación de inundaciones.

TITULO	AUTORES	DESCRIPCIÓN	APORTE AL PROYECTO	REFERENCIA
La teledetección como herramienta para la prevención, seguimiento y	C. Di Bella G. Posse M. Beget M. Fischer	En este trabajo se reseñan algunos de los principales avances logrados en el campo de	Sensores para la identificación de áreas afectadas por inundaciones.	(Di Bella, Posse, Beget, Fischer, & Veron, 2008)

evaluación de incendios e inundaciones.	N. Mari S. Veron	la teledetección de áreas quemadas e inundadas, y en el análisis de sus condiciones predisponentes y de su dinámica posterior a la perturbación.		
Introducción a los DEM a partir de Plataformas Espaciales con Fines Aeronáuticos	J. Taramona	Principales características de los Modelos de Elevación Digital de Plataformas STRM, ASTER, ALOS PALSAR.	Características de Modelos de Elevación Digital	(Taramona, 2017)
El Modelo Digital de Elevaciones	A. Felicísimos	El papel que desempeñan los MDT, MDE para la descripción de altimetría de una zona.	Estructura de Datos y Construcción de MDE	(Felicísimo)

1.4.4 Caracterización de Cuenca Hidrográficas

El análisis morfométrico de una Cuenca permite interpretar y predecir comportamientos hidrológicos, y se realiza mediante la determinación de índices morfométricos, a partir de la forma de la forma, relieve y red de drenaje de la Cuenca (Consortio Rio Garagoa, 2017).

Tabla 1.5 Bibliografía sobre la caracterización de una cuenca hidrográfica.

TITULO	AUTORES	DESCRIPCIÓN	APORTE AL PROYECTO	REFERENCIA
Guía básica para la caracterización morfométrica de cuencas hidrográficas.	A. Reyes F. Barroso Y. Carvajal	Permite integrar conocimientos para realizar análisis ingenieriles de las características morfométricas y la respuesta hidrológica de una cuenca.	Parámetros para la caracterización de una cuenca hidrográfica.	(Reyes, Barroso, & Carvajal, 2014)

Ajuste (Actualización) Plan de Ordenamiento y Manejo de la Cuenca Hidrográfica del Rio Garagoa	Consortio Rio Garagoa	Fase de Diagnostico. Caracterización Físico-Biótica de la Cuenca. Morfometría	Parámetros para la caracterización de una cuenca hidrográfica.	(Consortio Rio Garagoa, 2017)
¿Qué es cuenca hidrográfica?	J. Ordoñez SENAMHI	El agua es esencial para la salud, el desarrollo y la reducción de la pobreza, sin embargo, se ha utilizado desorbitadamente debido al crecimiento exponencial de la población mundial y la demanda de alimentos	Conceptos Básicos Características Morfométricas y Fisiográficas de la Cuenca	(Ordoñez, 2011)
“Elaboración de la base de información hidrometeorológica de la cuenca del río Guayas para el procesamiento con el modelo hydraccess ante inundaciones”.	J. Aguilar L. Naranjo	Los fenómenos climáticos históricamente desfavorables en la cuenca del río Guayas han afectado a la población y la economía del país porque representa el sistema fluvial más grande del país.	Caracterización del área de estudio por su forma, relieve, hidrología, clima, geología, suelos, vegetación entre otros.	(Aguilar & Naranjo, 2018)
Elementos metodológicos para el manejo de cuencas hidrográficas	F. Gaspari A. Rodríguez G. Senisterra M. Delgado S. Besteiro	Este manual se basa en el marco conceptual del manejo integrado de cuencas, permitiendo a los estudiantes avanzados desarrollar, elaborar, implementar e intervenir en la producción de proyectos adecuados a las condiciones prácticas.	Conceptos de Elementos Hidrológicos. Morfometría de Cuencas Hidrográficas.	(Gaspari, Rodríguez, Senisterra, Delgado, & Besterio, 2013)

1.4.5 Relación Precipitación - Escorrentía

La medición del caudal es una tarea importante para evaluar el balance hídrico de una cuenca hidrográfica, controlar la calidad del agua, diseñar estructuras de transporte y

verificar y calibrar modelos hidrológicos de lluvia, escorrentía, inundación y transporte de sólidos en suspensión. La medición en tiempo real es necesaria para la planificación y toma de decisiones relacionadas con la supervisión de las actividades industriales locales, el abastecimiento de agua de las poblaciones cercanas, el control de la descarga de aguas residuales, la operación y la gestión del embalse. Por lo tanto, para gestionar de manera sostenible los recursos hídricos relevantes, es necesario obtener datos hidrológicos confiables de manera continua y sistemática (Thomas & Marino, 2016).

Tabla 1.6 Bibliografía sobre Precipitación y Escorrentía.

TITULO	AUTORES	DESCRIPCIÓN	APORTE AL PROYECTO	REFERENCIA
“La Importancia de la medición del agua de lluvia”.	Instituto Mexicano de Tecnología del Agua	La importancia de la medición del agua lluvia para la prevención de desastres naturales.	Conceptos sobre registro de datos y su importancia frente a los desastres naturales.	(Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, 2019)
Comparación de Datos de Precipitación Obtenidos de TRMM con datos de estaciones Pluviométricas de Colombia y Perú	L. Martínez	Comparaciones de datos obtenidos del Satélite TRMM y de una estación Hidrometeorológica	Descripción, procesamiento de datos TRMM.	(Martínez, 2006)
“Elaboración de la base de información hidrometeorológica de la cuenca del río Guayas para el procesamiento con el modelo hydraccess ante inundaciones”.	J. Aguilar L. Naranjo	Los fenómenos climáticos históricamente desfavorables en la cuenca del río Guayas han afectado a la población y la economía del país porque representa el sistema fluvial más grande del país.	Análisis y relleno de información hidrometeorológica.	(Aguilar & Naranjo, 2018)

1.4.6 Modelación Hidrológica para determinar áreas de inundaciones

La Modelación hidrológica en una cuenca, puede representar el balance hídrico, que dependerá de la información que se maneje y ayude a diagnosticar la causa de las

inundaciones. Para la realización del modelo en Iber, es necesario considerar parámetros como rugosidad del suelo, humedad, permeabilidad, almacenamiento, condiciones hidrodinámicas, entre otros.

Tabla 1.7 Bibliografía sobre Modelación Hidrológicas de Inundaciones.

TITULO	AUTORES	DESCRIPCIÓN	APORTE AL PROYECTO	REFERENCIA
Modelación Hidrodinámica y morfológica del Río La Estrella, Limón.	Is. Guzmán F. Watson K. Villagra R. Casasola	En este proyecto se utilizan modelos matemáticos unidimensionales y bidimensionales (HEC-RAS e IBER) para evaluar el transporte hidrodinámico y de sedimentos en los tramos inferiores del río La Estrella.	Conceptos sobre Modelación en dos dimensiones.	(Guzmán, Watson, & Casasola, 2017)
El modelo Iber como herramienta docente de ayuda al aprendizaje y análisis de fenómenos de flujo bidimensionales.	M. Cueva J. Cañon L. Cea	El presente trabajo tiene como objetivo explorar la capacidad del programa Iber como soporte docente en el curso de Hidráulica de Canal, como complemento a la práctica docente experimental.	Características del Modelo Iber	(Cueva, Cañon, & Cea, 2018)
Evaluación de las condiciones hidráulicas en esteros y canales mediante modelamiento hidrodinámico 1d y 2d.	J. Aguilar M. Patiño	El propósito de este proyecto es utilizar HEC-RAS e IBER como modelos uni y bidimensional respectivamente, para evaluar las condiciones hidráulicas de estuarios y canales mediante el modelado matemático de los flujos de agua.	Construcción del Modelo. Asignación de Rugosidad. Condiciones de Borde.	(Aguilar & Patiño, 2017)
Modelización bidimensional del flujo en lámina libre en aguas poco profundas.	Equipo Creador de Iber	Este manual constituye una guía básica para el uso del programa Iber. Se proponen operaciones básicas para poder crear proyectos, realizar cálculos y visualizar los resultados.	Construcción del Modelo en Iber. Condiciones de Entrada.	(Iber, 2010)

CAPÍTULO 2

2. METODOLOGIA

La Metodología que se utilizó para desarrollar este proyecto, fue la del Modelo de French y que utiliza The Society of Naval Architects & Marine Engineers (SNAME), en esta se fundamenta, que el diseño puede expresarse en cuatro fases:

1. Analisis del Problema, es decir se realiza:
 - a) Un planteamiento del problema.
 - b) Un reconocimiento de las limitaciones que se imponen a la solución, como normas, restricciones y fechas límites.
 - c) Un criterio de excelencia hacia el que se va a dirigir el proyecto.

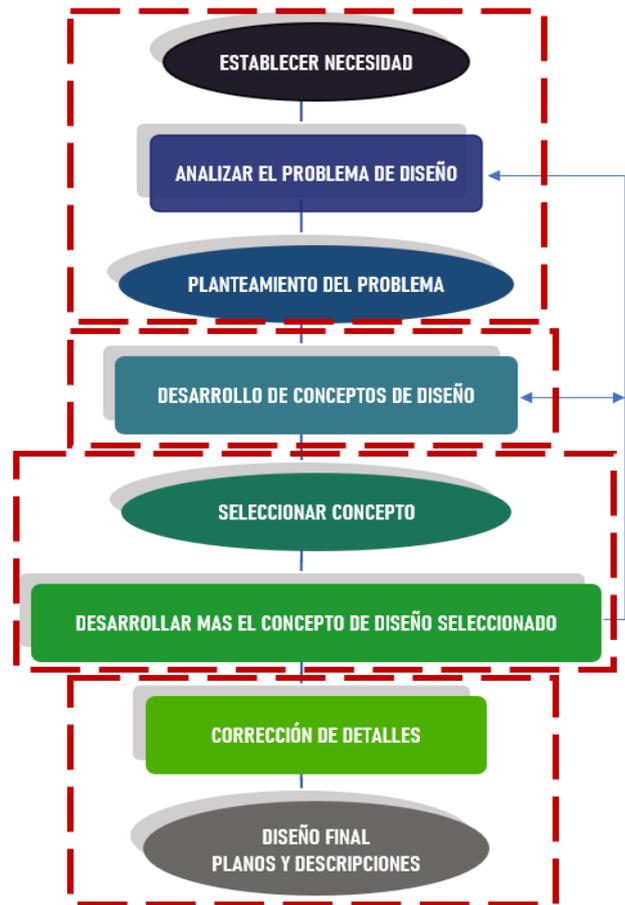


Figura 2.1 Proceso de Diseño de French.

Fuente: (Randall, 1997)

2. Desarrollo de conceptos de diseño, en éste, se generan amplias soluciones, basándose en la ciencia de la ingeniería y el conocimiento practico.
3. Selección y desarrollo de un concepto de diseño, es decir se realiza una selección de entre las diferentes opciones, en caso de que haya más de una solución.
4. Diseño Final, en esta última fase se corrigen detalles, y se presentan los resultados finales.
5. De acuerdo con el concepto de diseño seleccionado, se desarrollan las metodologías utilizadas, para el desarrollo de este proyecto, el cual se trabajó en cuatro etapas, las cuales se describen a continuación.

2.1 Etapa 1: Obtención de Información

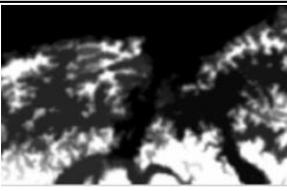
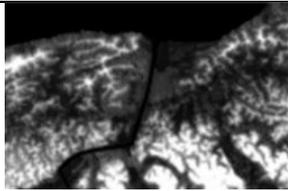
Para el desarrollo de este proyecto se necesitó trabajar con información que describa las características de superficie o relieve del terreno y también con información hidrometeorológica histórica de la zona de estudio.

2.1.1 Modelo De Elevación Digital

Una de las características principales que se buscaba en el proyecto, es poder obtener imágenes satelitales con una buena resolución espacial y temporal, es decir, las imágenes con una resolución temporal (tomada de los últimos dos años), podrán describir resultados reales de lo que está ocurriendo actualmente en la zona de estudio, por otra parte la finura de detalles visibles en una imagen, “cuanto menor es el área terrestre representada por cada píxel en una imagen digital, mayores son los detalles que pueden ser captados y mayor es la resolución espacial” (TELEDET, 2016).

Tabla 2.1 Comparación de resolución espacial de imágenes satelitales.

Fuente: (Taramona, 2017)

SATELITE	SRTM	ASTER GDEM	ALOS PALSAR
Imagen Satelital			
Resolución Espacial	90 m	30 m	12 m

2.1.2 Precipitaciones

“La importancia de la medición de precipitaciones que caen de forma irregular en tiempo y espacio, para ser parte del flujo del cauce de ríos mediante las escorrentías que delimitan una cuenca hidrográfica, permitirá establecer su lugar de destino con la finalidad de prevenir desastres naturales entre otras acciones”. (Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, 2019).

Actualmente, Salima no cuenta con estaciones meteorológicas que brinden datos reales para la localidad, sin embargo, al inicio del proyecto se trabajó con información brindada por INAMHI, la cual fue otorgada a través del proyecto DISATS que contaba con datos de precipitación diaria de la estación meteorológica M0156 Quininde, esta estación se ubica aproximadamente a 55 km del área de estudio, entre los cuales se observó que

existe un registro de 12 años de datos diarios de 2003 a 2015 y que la información estaba incompleta.

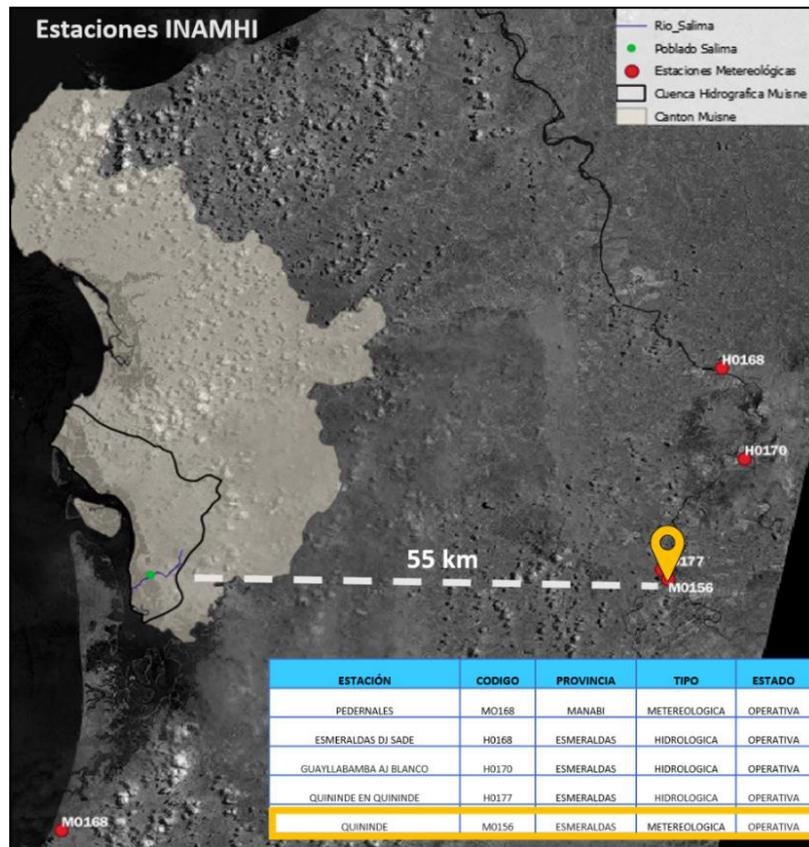


Figura 2.2 Ubicación de la Estación Metereologica M0156 Quininde.

Por lo tanto, se buscó información de precipitaciones y se encontró un registro de 20 años de información diaria del satélite TRMM en la plataforma de NASA GIOVANNI.

2.2 Etapa 2: Procesamiento de Información

En esta etapa se sigue una secuencia de procedimientos dentro del software ArcGis, a partir del archivo comprimido obtenido se debe trabajar con el producto cuyo formato es .dem.tif, e inicialmente georreferenciar a WGS 84 / UTM zona 17 N. El área se delimitó exclusivamente a la forma de la Cuenca del Muisne utilizando un shapefile del SENAGUA, de las Cuencas del Ecuador, escala 1: 25000 del año 2002. Con los datos de precipitación, se utilizó Microsoft Excel para filtrar, procesar y mostrar los resultados.

2.2.1 Caracterización Morfológica de la Microcuenca del Río Salima

Usando los Modelo de Elevación Digital previamente delimitado a la Cuenca Hidrográfica de Muisne, se procedió utilizar el software ArcGis, para la caracterización de la Microcuenca, desde la parte alta hasta su desembocadura.

A continuación, se muestra los diagramas y tablas con procedimientos realizados.

2.2.1.1 Delimitación de Microcuenca

El en el siguiente diagrama se muestra el proceso, mediante el uso de herramientas hidrológicas para identificar limites, áreas y redes de drenaje de la cuenca que encierra al Río Salima.

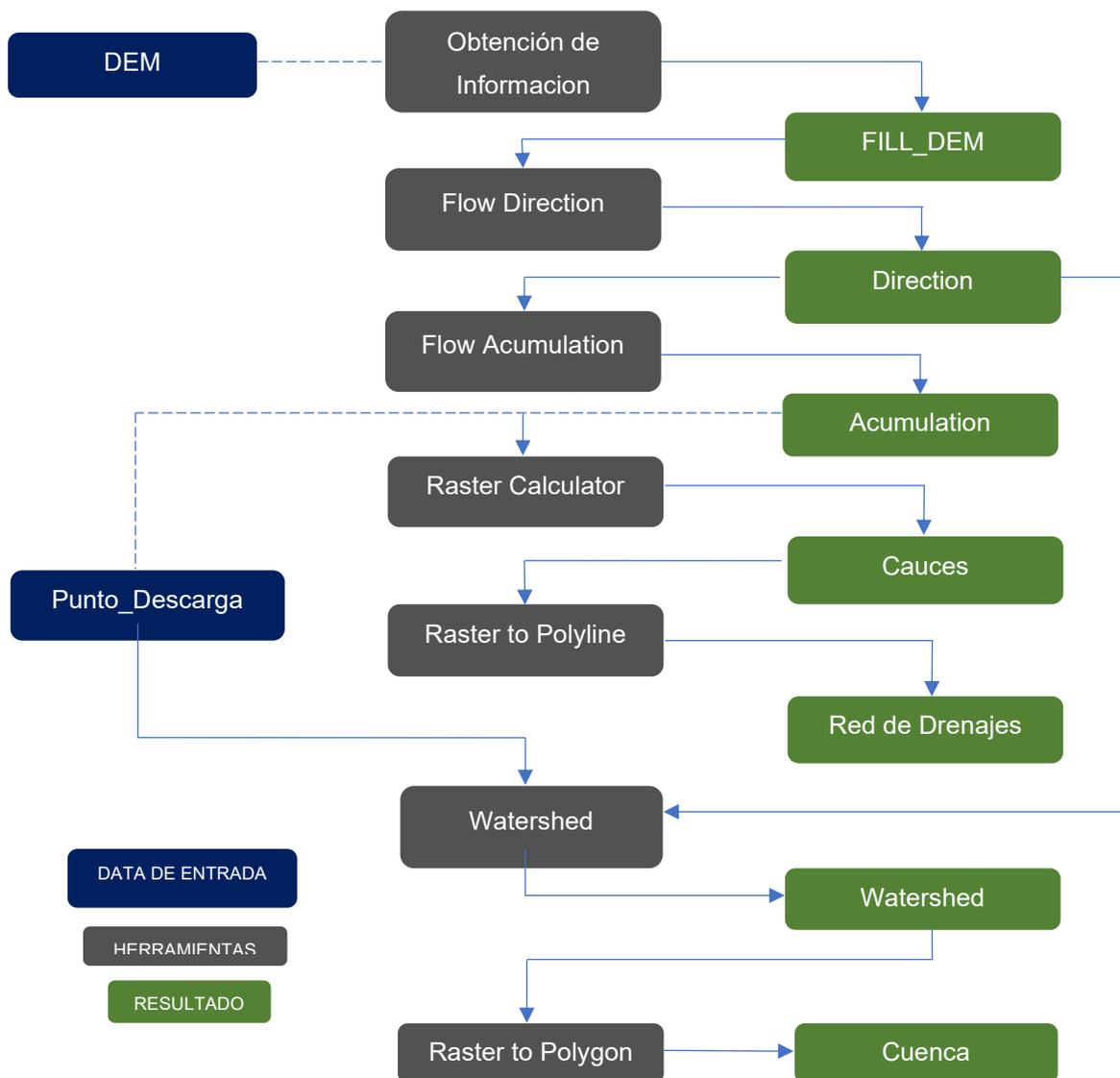


Figura 2.3 Proceso de delimitación de Cuencas.

Fuente: Adaptación de (MasterGIS, 2018)

2.2.1.2 Características Geomorfológicas de la Microcuenca del Rio Salima

Para el cálculo de los diferentes índices morfométricos relacionados a la forma y relieve de la Cuenca, se procedió a obtener entre curvas de nivel o cotas, sus áreas parciales. Se trabajo con el área que cubre únicamente a la Microcuenca del Rio Salima.

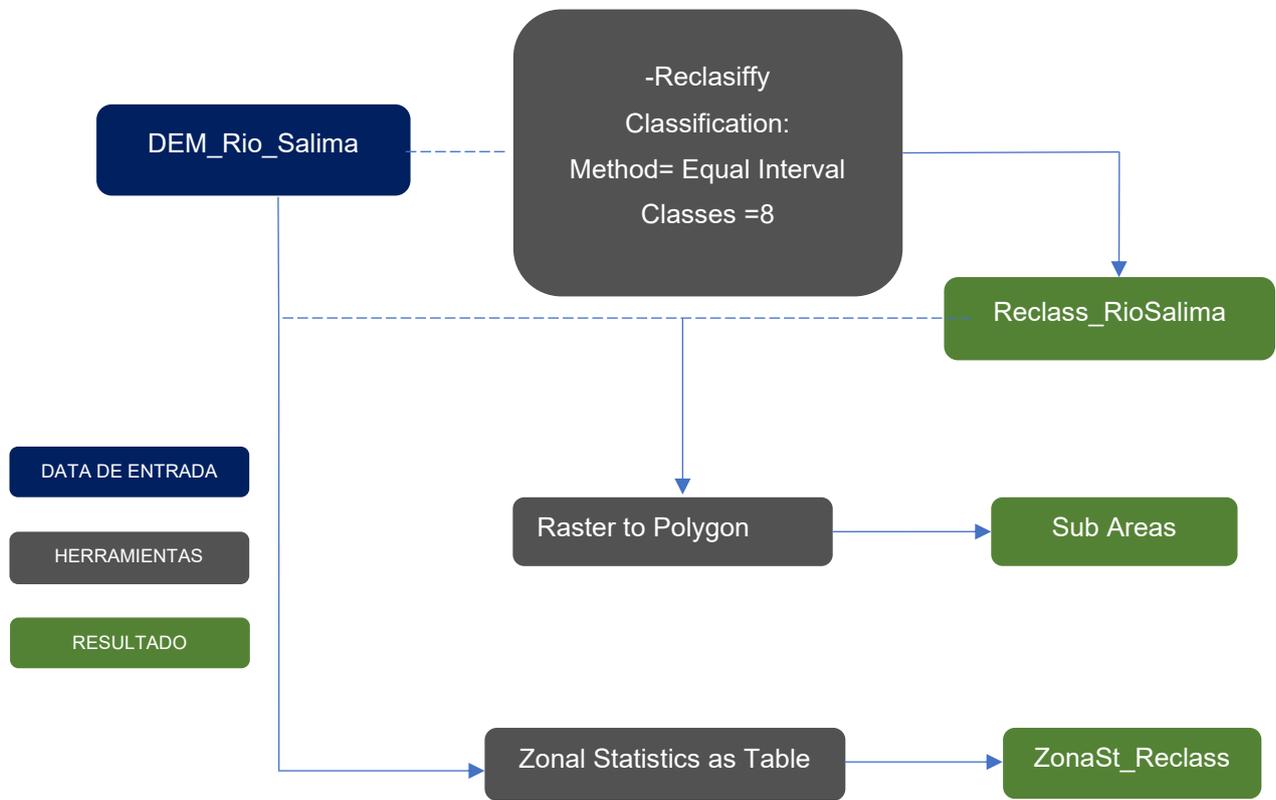


Figura 2.4 Proceso para la obtención de Áreas Parciales.

La tabla ZonaSt_Reclass, presenta las 8 clasificaciones de subáreas de la microcuenca, cotas y todo lo necesario para la creación de las curvas isométricas, la determinación los diferentes índices que permiten caracterizar una cuenca.

El siguiente esquema permitió obtener el área, perímetro y longitud de redes de drenaje, sus resultados se encuentran dentro de la tabla de atributos de cada de resultado (Shapefile).

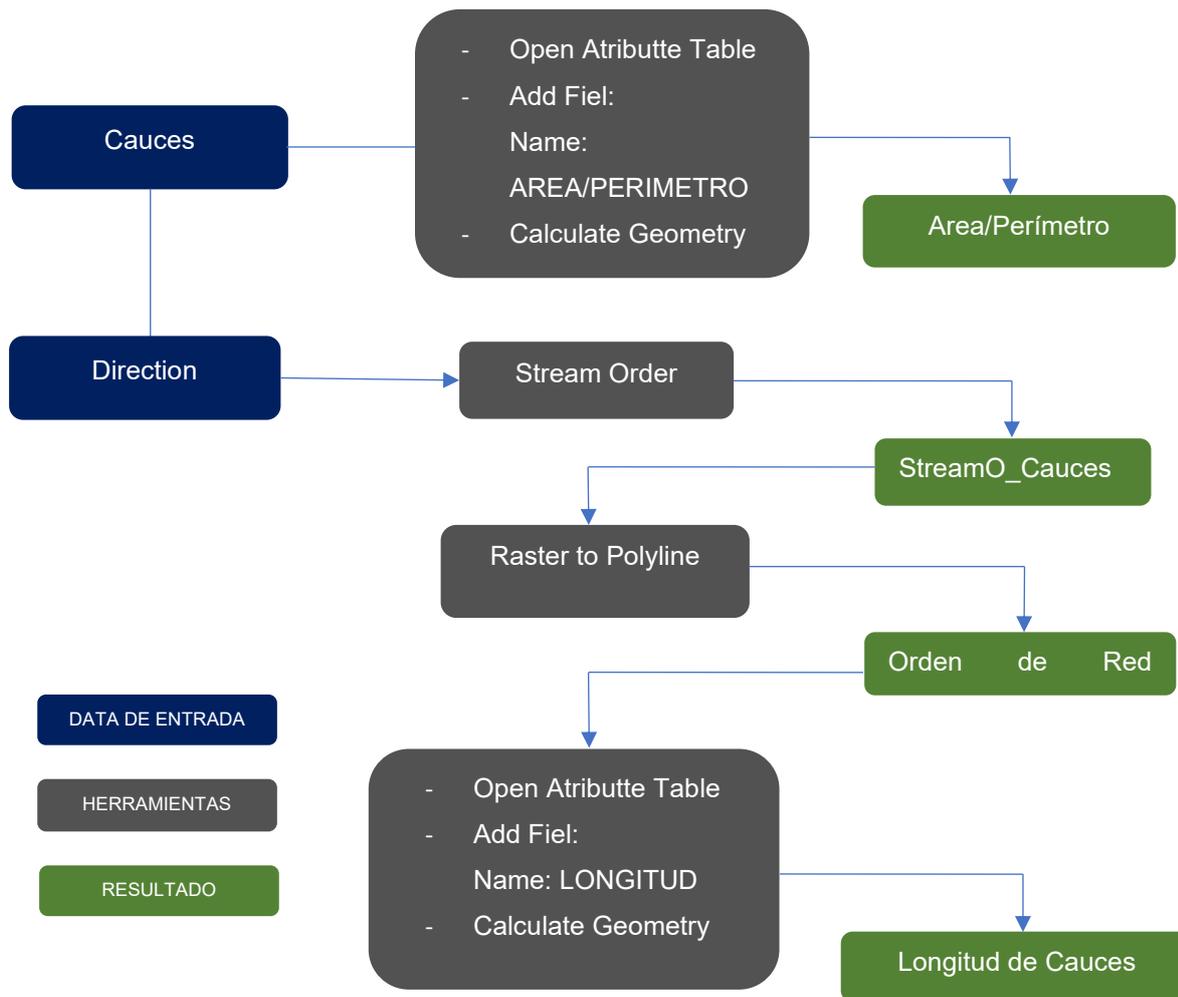


Figura 2.5 Proceso para determinar características generales de una Cuenca

Según Jiménez, Materón (1986), el tamaño relativo de estos espacios hidrológicos define o determina sus nombres (Reyes, Barroso, & Carvajal, 2014).

Tabla 2.2 Clasificación de los espacios hidrológicos según su área.

AREA (Km ²)	NOMBRE
< 5	Unidad
5 – 20	Sector
20 – 100	Microcuenca
100 – 300	Subcuenca
>300	Cuenca

2.2.1.2.1 Índices Morfométricos relacionados con la Forma de la Microcuenca.

Londoño (2001) señala que “Los factores geológicos, son los encargados principalmente de moldear la fisiografía de una región y particularmente la forma que tienen las cuencas

hidrográficas”, la forma de la Cuenca afecta los hidrogramas de escorrentía y las tasas de flujo máximo (Consortio Rio Garagoa, 2017).

Tabla 2.3 Parámetros morfométricos relacionados con la forma de la Cuenca.

PARÁMETRO	ECUACIÓN	INTERPRETACIÓN
Índice de Compacidad (Kc)	$K_c = 0,28 \times \left[\frac{P}{\sqrt{A}} \right]$ <p>P: Perímetro de la Cuenca (Km). A: Area de cuenca (Km²)</p>	<p>$< 1,25$ Redonda a Oval Redonda. $1,25 - 1,50$ De oval redonda a oblonga. $1,5-1,75$ De oval oblonga a rectangular oblonga.</p>
Factor de forma (F)	$F = \frac{A}{L^2}$ <p>A: Area de cuenca (Km²) L: Longitud axial de la corriente (Km)</p>	<p>F>1: Cuencas achatada, tendencia a ocurrencias de avenidas. F<1 Cuencas Alargadas, baja susceptibilidad a las avenidas.</p>
Índice de Alargamiento (l _a)	$l_a = \frac{L_m}{l}$ <p>Lm: Longitud Máxima (Km) l: Ancho máximo (Km)</p>	<p>$l_a \leq 1$ Cuencas un poco alargadas $l_a > 1$ Cuencas que tienden a ser rectangulares</p>

2.2.1.2.2 Índices Morfométricos relacionados con el Relieve de la Microcuenca.

El análisis altitudinal de una cuenca es una herramienta para identificar parámetros relacionados con el comportamiento de los caudales y determinar mediante curvas y figuras geométricas, el cubrimiento en superficie de los diferentes rangos altitudinales (Consortio Rio Garagoa, 2017).

Tabla 2.4 Parámetros morfométricos relacionados con el relieve de la Cuenca.

PARÁMETRO	ECUACIÓN	INTERPRETACIÓN
Altitud Media (E)	$E = \frac{\sum (a_i x e)}{A}$ <p>ai: Area entre dos curvas de nivel sucesiva. A: Area de cuenca (Km²)</p>	<p>Variación altitudinal que incide directamente sobre el clima y por tanto sobre el régimen hidrológico, además de brindar una base para caracterizar zonas climatológicas y ecológicas características dentro de la misma Cuenca (Reyes, Barroso, & Carvajal, 2014).</p>

Coeficiente de masividad (Km)	$k_m = \frac{E}{A}$	E: Altitud media (m.s.n.m.) A: Area de cuenca (Km ²)	0-35: Moderadamente montañosa 35-70: Montañosa 70 – 105: Muy Montañosa
Coeficiente Orográfico (Co)	$C_o = \frac{E^2}{A}$	E: Altitud media (Km.) A: Area de cuenca (Km ²)	Quintero (2003), menciona que si: Co < 6 Representa un relieve un poco accidentado propio de cuencas extensas y de baja pendiente. Co > 6 Es un relieve accidentado (Reyes, Barroso, & Carvajal, 2014)
PENDIENTE MEDIA DE LA CUENCA			

“Es la variación de la inclinación de una cuenca, su determinación es importante para definir el comportamiento de la cuenca respecto al desplazamiento de las capas de suelo (erosión o sedimentación), puesto que, en zonas de altas pendientes se presentan con mayor frecuencia los problemas de erosión; mientras que en regiones planas aparecen principalmente problemas de drenaje y sedimentación” (Reyes, Barroso, & Carvajal, 2014). A continuación, se muestra el proceso para la obtención de la pendiente media.

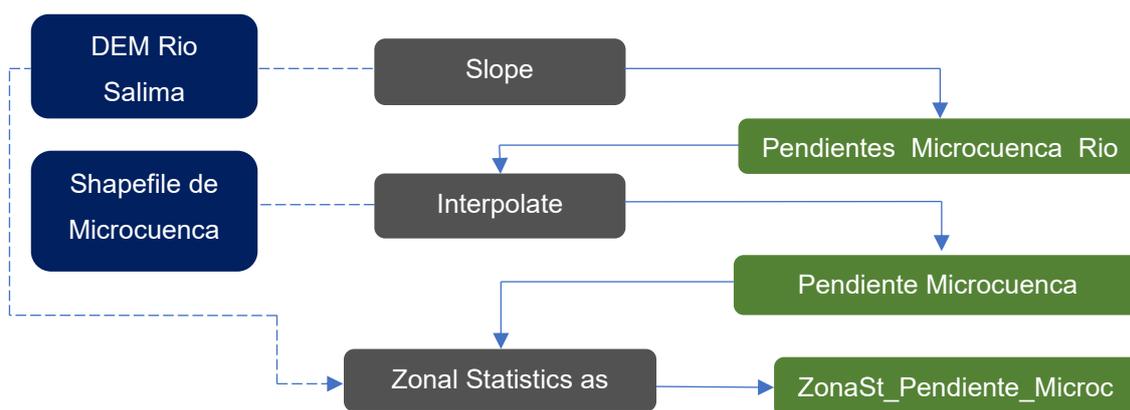


Figura 2.6 Proceso para determinar la pendiente media de una Cuenca.

En la tabla de atributos de ZonaSt_Pendiente_Microcuencasus se encuentran los valores de la pendiente media de la cuenca.

Según Ortiz (2004), establece una clasificación de cuencas de acuerdo con su pendiente media.

Tabla 2.5 Clasificación de Cuencas según su pendiente media.

Fuente: (Reyes, Barroso, & Carvajal, 2014)

PENDIENTE MEDIA (%)	TIPO DE RELIEVE
0 - 3	Plano
3 - 7	Suave
7 - 12	Medianamente Accidentado
12 - 20	Accidentado
20 - 35	Fuertemente Accidentado
35 - 50	Muy Fuertemente Accidentado
50 - 75	Escarpado
>75	Muy Escarpado

2.2.1.2.3 Índices Relacionados con la Red de Drenaje de la Cuenca.

Estos índices se relacionan con el tipo o patrón que forman la red de drenajes de una cuenca lo que permite relacionar con los tipos de suelo, vegetación y la pendiente (Consortio Rio Garagoa, 2017).

Tabla 2.6 Parámetros relacionados con la red de drenaje de la Microcuenca.

PARÁMETRO	ECUACIÓN	INTERPRETACIÓN
Densidad de Drenaje (Dd)	$D_d = \frac{L}{A}$ <p>L: Longitud total de las corrientes de agua (Km.) A: Area de cuenca (Km²)</p>	<p>“Refleja la influencia de la geología, topografía, suelos y vegetación en la cuenca hidrográfica, y está relacionado con el tiempo de salida del escurrimiento superficial de la cuenca”. (Reyes, Barroso, & Carvajal, 2014)</p> <p>0.1-1.8 Baja 1.9 – 3.6 Moderada 3.7 – 5.6 Alta</p>

Pendiente del
Cauce Principal (S)

$$S = \left[\frac{n}{\frac{1}{\sqrt{s_1}} + \frac{1}{\sqrt{s_2}} + \dots + \frac{1}{\sqrt{s_n}}} \right]$$

n: Número de cotas.
S=Relación entre el desnivel y la cota.

ORDEN DE LAS CORRIENTES

Los ríos portadores de aguas de nacimientos y que no tienen afluentes son considerados ríos de primer orden, cuando dos corrientes de primer orden se unen dan como resultado una corriente de segundo orden, en general dos ríos de orden n dan lugar a otro de orden n+1 (Reyes, Barroso, & Carvajal, 2014).

PERFIL LONGITUDINAL DEL CAUCE PRINCIPAL

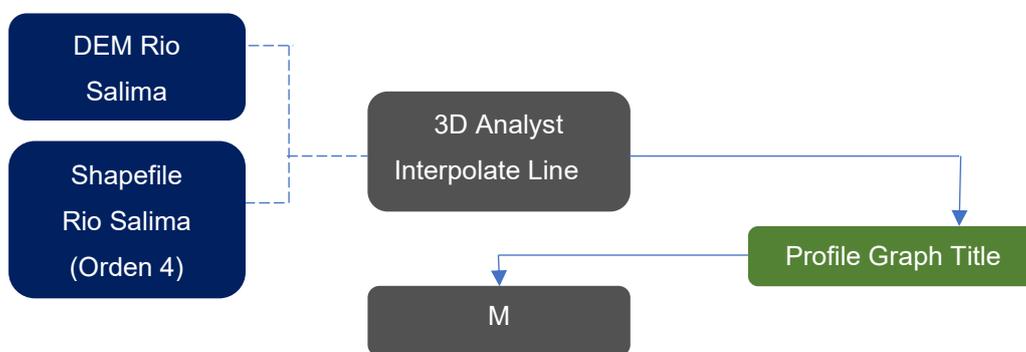


Figura 2.7 Proceso para determinar Perfil Longitudinal del Rio Salima

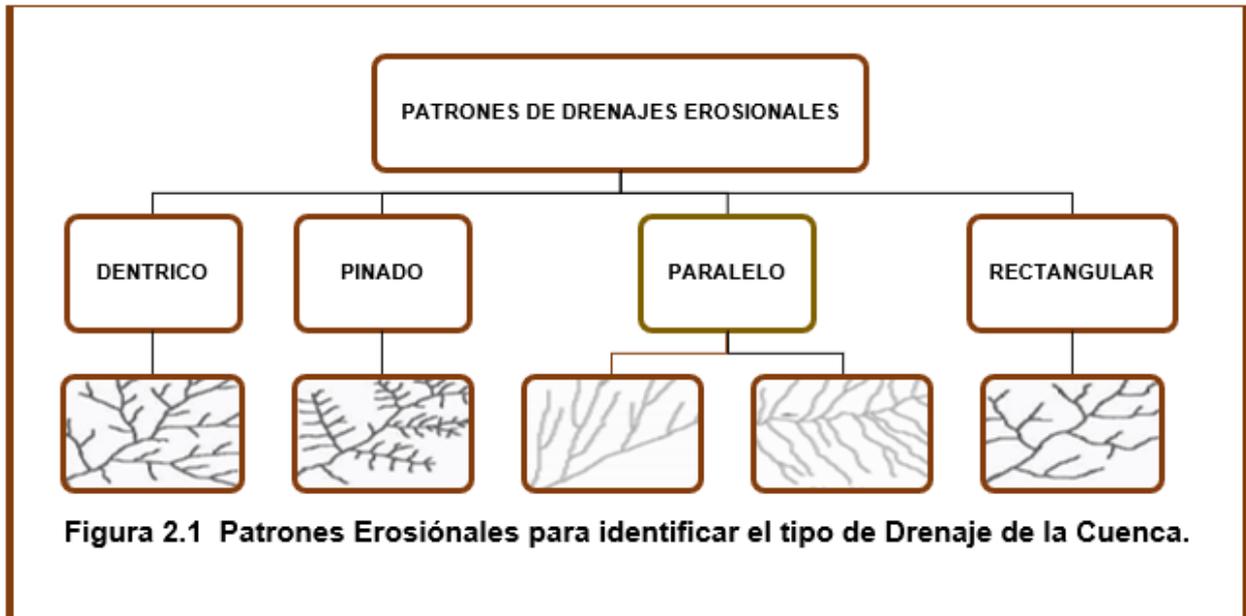
Tabla 2.7 Parametros Relacionados al calculo del perfil longitudinal.

n	Número de tramos
Progresiva	Posición de tramo
Longitud (m)	Progresiva (i+1) – Progresiva (i)
Longitud Acumulada (j)	$\sum_{i=1}^j Longitud (i)$
Cota	Valor de la elevación en la posición de i tramo.
Desnivel	Cota (i+1) – Cota (i)
S	Desnivel (i) /Cota (i)

PATRONES DE DRENAJE

London (2011), describe que “ El patrón de drenaje de una cuenca puede referirse como el arreglo que presentan las vías de drenaje, permanentes y transitorias, que confluyen a evacuar las aguas superficiales de la cuenca ” (Consortio Rio Garagoa, 2017).

A continuación, se presentan los patrones de tipo Erosional presentes en Cuencas.



TIEMPO DE CONCENTRACIÓN (TC)

Es el tiempo a partir del cual, toda la cuenca contribuye al caudal en el punto de salida de la cuenca. Se han desarrollado numerosos métodos empíricos, para determinar el tiempo de concentración basándose en usos de suelos, geométricas de cuencas, pendientes entre otros aspectos, entre los cuales el Método de Kirpich es uno de los más utilizados según las citas bibliográficas revisadas que cumplen características similares a la de estudio .

Kirpich

$$T_c = \frac{0,01947 \times L^{0,77}}{S^{0,385}}$$

L: Longitud del cauce principal de la cuenca (m).

S: Diferencia entre las dos elevaciones extremas de la cuenca H (m), dividida por la longitud del cauce principal de la cuenca L (m) (m/m).

2.2.2 Relación Precipitación-Escurrentía

En esta sección se trabaja una metodología que permite estimar valores de caudales, partiendo de la información de precipitaciones obtenidas por mes y año del satélite TRMM.

1. Calcular parámetros estadísticos de los datos (Media, Varianza, Desviación Estandar, etc.).
2. Realizar una prueba de datos dudosos para identificar la precipitación máxima y mínima aceptable y descartar valores atípicos.

- Realizar una prueba de bondad de ajustes, para escoger entre las diferentes distribuciones de frecuencia, el modelo probabilístico al que mejor se ajustan los datos, utilizando el programa Hidroesta 2.
- Después de seleccionar el modelo de probabilidad, se calcula el valor teórico de las precipitaciones en relación con su tiempo de retorno.
- Se realiza la corrección de datos con los parámetros estableciendo por la OMM, para datos de estaciones que se registran n veces durante el día.
- Se estima los valores del valor del gráfico de intensidad frente a duración, que se denomina curva IDF, utilizando el teorema de Dick Peschke.
- Se determina los valores máximos de caudales, utilizando el método racional.

Tabla 2.8 Proceso en la estimacion de valores de caudal.

PARAMETROS ESTADISTICOS	
	Ecuación
Media	$\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i$
Varianza	$S_x^2 = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2$
Desviación Estandar	$S_x = \sqrt{S_x^2}$
Coefficiente Variación	$C_{vx} = \frac{S_x}{\bar{x}}$
Coefficiente de Asimetría	$g_x = \frac{N \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^3}{(N-1)(N-2)(S_x^3)}$
PRUEBA DE DATOS DUDOSOS	
Umbral de datos dudosos altos	$X_{Ha} = \text{Log}(\bar{X}) + K_n * \text{Log}(S_x)$ <p style="text-align: center;">Precipitación Máxima Aceptable</p> $PH_{max} = 10^{X_H}$
Umbral de datos dudosos bajos	$X_{Hb} = \text{Log}(\bar{X}) - K_n * \text{Log}(S_x)$ <p style="text-align: center;">Precipitación Mínima Aceptable</p> $PH_{min} = 10^{X_H}$

PRUEBA DE BONDAD DE AJUSTES

Este procedimiento se realiza con cada distribución, para poder obtener los valores Delta.



Se debe escoger la distribución que presenta un Δ TEORIO \ll Δ TABULAR.

DISTRIBUCIONES TEORICA

PEARSON III

Parámetro	Ecuación
α	$\alpha = \sqrt{\frac{S_x^2}{\beta}}$
β	$\beta = \left(\frac{2}{gx}\right)^2$
ζ	$\zeta = x - \sqrt{S_x^2 - \beta}$
γ	$\gamma = \frac{2}{\sqrt{\beta}}$
KT	$KT = \frac{2}{\gamma} \left\{ \left[\frac{\gamma}{6} \left(zT - \frac{\gamma}{G} \right) + 1 \right]^3 - 1 \right\}$
<i>XT_{PIII}</i>	$XT_{PIII} = kT \propto \sqrt{\beta} + \alpha\beta + \zeta$

PRECIPITACIÓN MAXIMA PERIODO DE RETARDO

Con los valores estimados se debe realizar la corrección del registro de datos de estaciones.

PRECIPITACIÓN MAXIMA EN 24 HORAS

Para construir las Curvas de Intensidad – Duración – Periodo de Retorno, se debe examinar los valores de precipitaciones registrados correspondiente a la hora con mayor valores de precipitación, en las siguientes dos horas y así sucesivamente, con estos valores se forman series anuales obteniendo un valor para cada año y cada duración, los cuales se representan en un gráfico de intensidad vs duración.

CURVAS IDF DICK PESCHKE

$$Pd = P24h * \left(\frac{d}{1440}\right)^{0,252}$$

ESTIMACION DE CAUDAL MAXMO

Método Racional

Se utiliza en el diseño en obras de drenaje urbano y rural, para la determinación de caudales. Es un método cuya fiabilidad depende de la información administrada (coeficiente de escorrentía y el tiempo de concentración), (Martinez G. , 2016).

$$Q = \frac{C_x I_x A}{3.6}$$

Q: Caudal Máximo

C: Coeficiente de Escorrentía

I: Intensidad Máxima de Lluvia

A: Area de Cuenca

El coeficiente de escorrentía se seleccionó de la tabla 5.3 y los valores de intensidad y área, de los datos previamente determinados.

2.3 Etapa 3: Modelación Hidrica con Software Iber

“Iber es un software bidimensional para la simulación del caudal superficial libre, procesos de transporte y hábitat en ríos y estuarios, desarrollado por el Grupo de Ingeniería del Agua y Medio Ambiente, GEAMA (Universidad de A Coruña) y el Instituto Flumen (Universidad Politécnica de Cataluña, UPC y Centro Internacional de Métodos Numéricos en Ingeniería, CIMNE). Iber fue patrocinado inicialmente por el Centro de Estudios Hidrográficos (CEDEX) en el marco de un Convenio de Cooperación entre el CEDEX y la Dirección General del Agua” (Iber Model, 2019).

Además del módulo de hidrodinámica, Iber cuenta con los siguientes módulos adicionales:

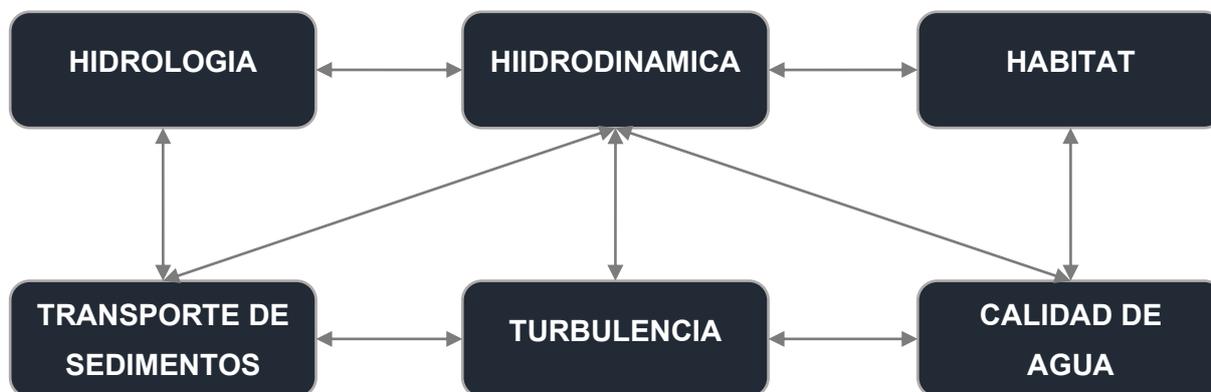


Figura 2.8 Módulos del Softwar Iber 2.5

Fuente: Adaptación de (Iber Model, 2019)

El módulo utilizado en este proyecto es el de Hidrología, que permite el cálculo de la transformación de la escorrentía pluvial. La versión actual de Iber no incluye un módulo de flujo de aguas subterráneas y, por lo tanto, el componente de flujo base no se considera en el modelo. Esto limita su aplicabilidad como modelo hidrológico a eventos de lluvia cortos e intensos en los que la contribución del flujo base a la descarga total es menos relevante que la contribución del flujo superficial. (Iber Model, 2019)

En la Imagen se muestra el proceso a seguir para la modelación en Iber de este proyecto.

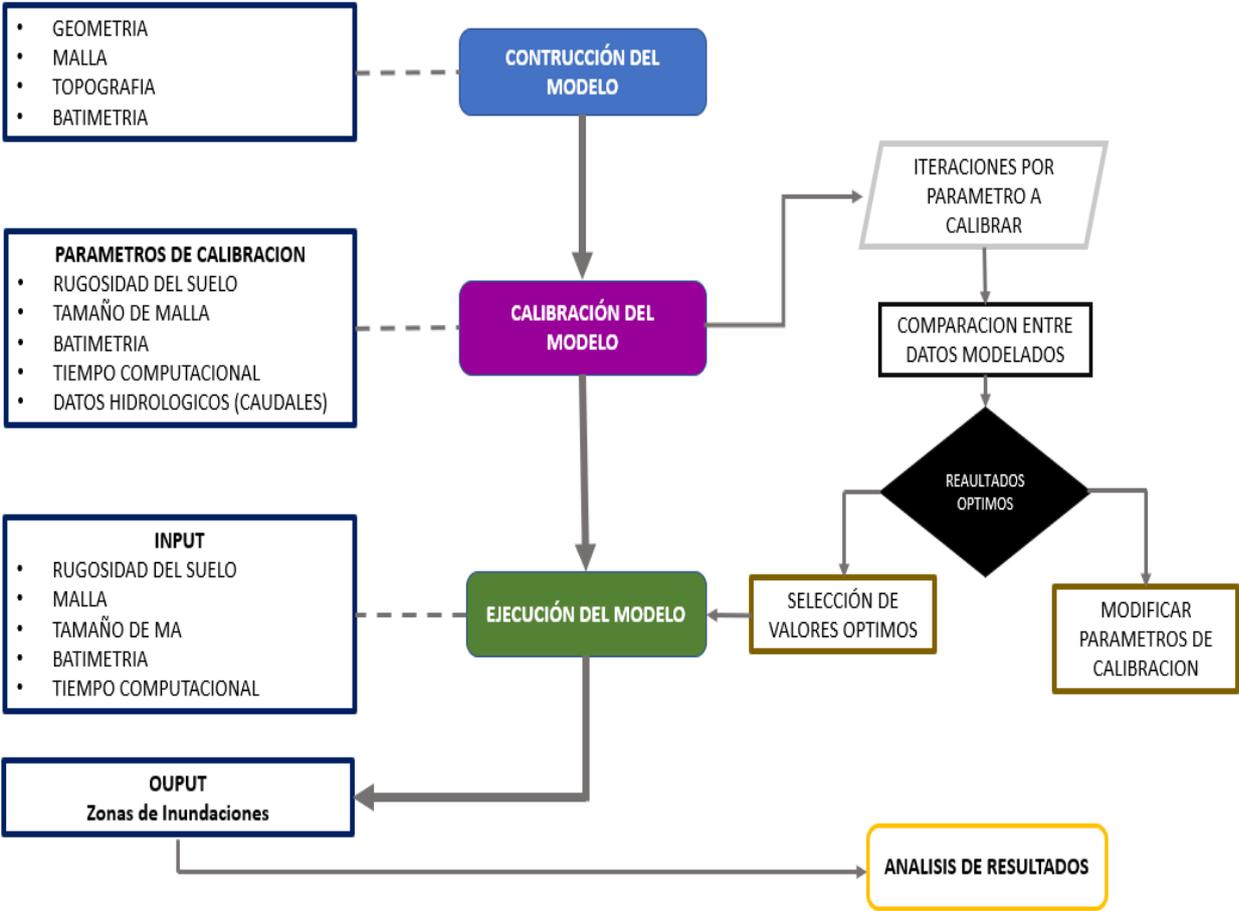


Figura 2.9 Proceso Metodológico para el Modelamiento con Iber 2.5.

Adaptación de: Diagram of the Methodological Process. (Espinoza, 2018)

2.3.1 Datos de Entrada para Iber 2.5

2.3.1.1 Geometría

Se genero la geometría de la Microcuenca del Rio Salima en el SIG Qgis 3.12, específicamente de la zona que encierra al poblado, utilizando una imagen georeferenciada, lo que permitirá delimitar el cauce principal.



Figura 2.10 Imagen Georeferenciada en Qgis, delimitando secciones del poblado.

2.3.1.2 Condiciones Iniciales

Los valores obtenidos de los caudales se ingresan utilizando la herramienta de Iber “Condiciones de Contorno”, en la que aparecere una ventana que permite realizar la configuración de los valores de caudales para luego ser asignados en la geometría, en donde ya se encuentra establecido la entrada del cauce.

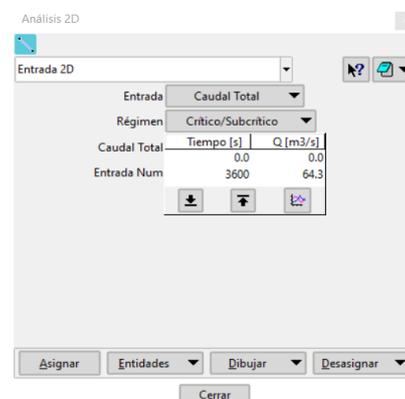


Figura 2.11 Registro de condiciones de contorno en la entrada y salida del rio.

2.3.1.3 Malla

En la herramienta Malla de Iber, se asignó el tamaño de superficie. Se configuró un valor de 10 para las geometrías alrededor del río y de 5 para las geometrías dentro del cauce.

En total existe:

Num. elementos Triangle=13.217

Num. nodos=6.803

El tiempo computacional dependerá de la malla que se genere.



Figura 2.12 Configuración de malla en el poblado y río de Salima.

2.3.1.4 Rugosidad del Suelo

Utilizando el mapa de Usos de Suelo del 2016 del PDOTS, se realizó en Qgis la asignación de suelo y se guardó el archivo en formato ASCII, el cual fue ingresado dentro del Modelo Iber mediante la herramienta Rugosidad.

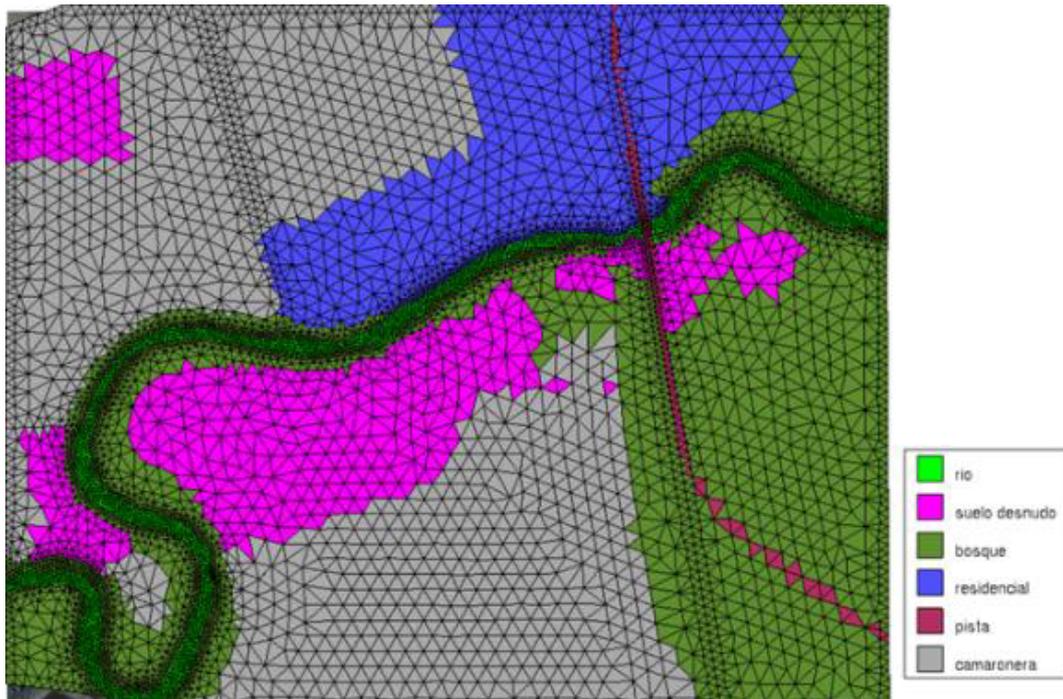


Figura 2.13 Asignacion de uso de suelo.

2.3.1.5 Topografía y Batimetría

De las curvas de nivel obtenidas del DEM de 3m, se combinó la batimetría asignada y se generó un archivo ráster de la superficie, posteriormente fue guardado como archivo ASCII para ser ingresado a Iber.

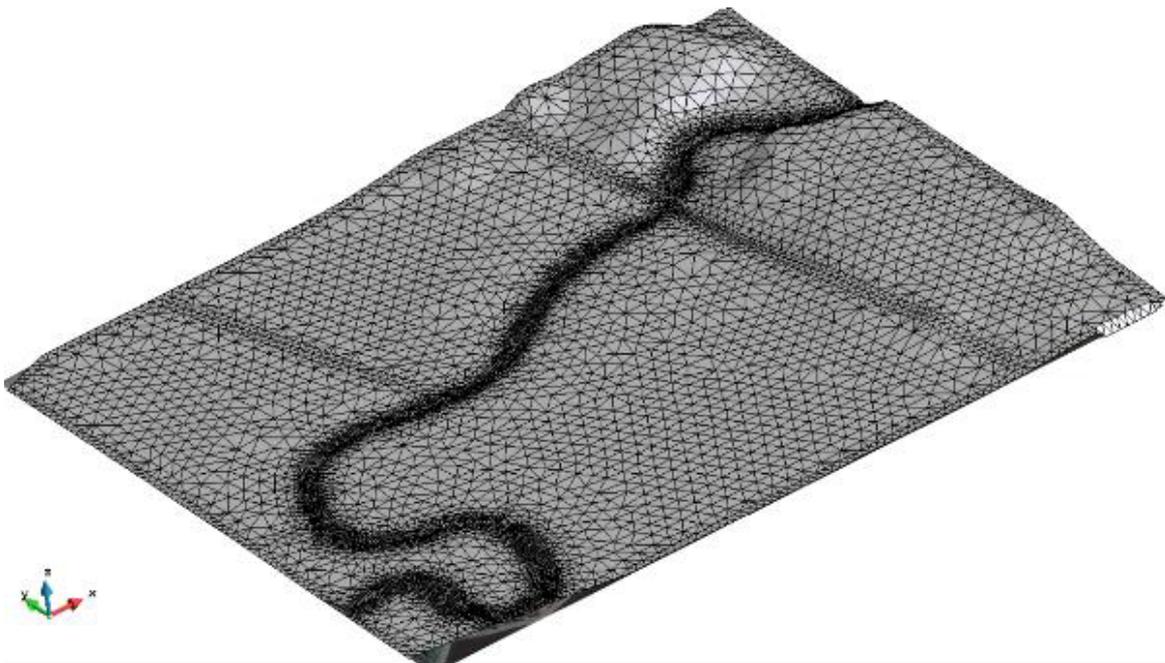
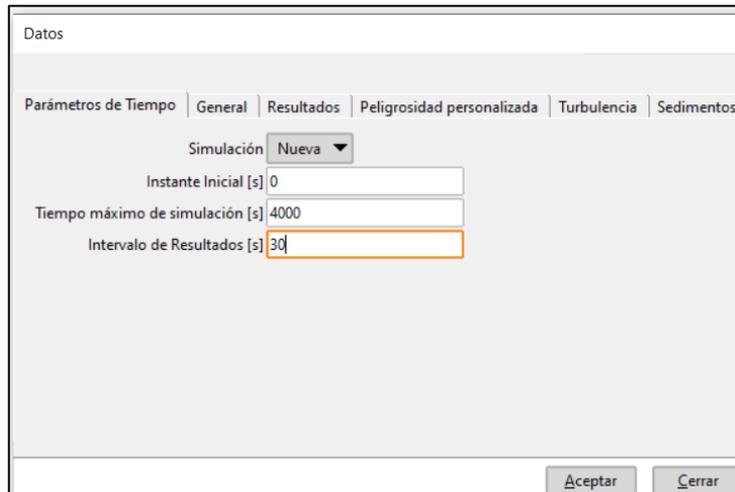


Figura 2.14 Generacion de Topografia y Batimetria de la zona de estudio.

2.3.1.6 Tiempo de Simulación

Luego de realizar algunas pruebas se establece el tiempo máximo de simulación idóneo, en esta sección se debe cumplir el tiempo en el que todo el caudal se demora en salir, y además se agrega en el intervalo de tiempo en el que se verán los resultados, mientras más pequeño sea el intervalo definirá el tiempo de simulación.



Datos

Parámetros de Tiempo | General | Resultados | Peligrosidad personalizada | Turbulencia | Sedimentos

Simulación Nueva ▾

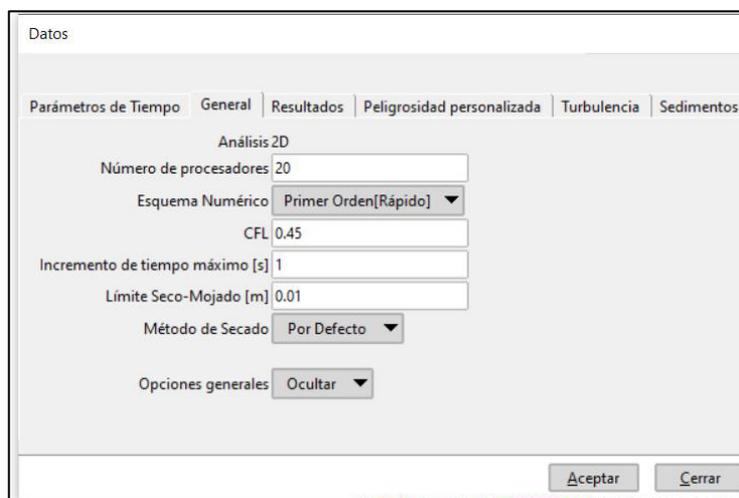
Instante Inicial [s] 0

Tiempo máximo de simulación [s] 4000

Intervalo de Resultados [s] 30

Aceptar Cerrar

Iber nos da la posibilidad de utilizar todos los procesadores del computador para la simulación.



Datos

Parámetros de Tiempo | General | Resultados | Peligrosidad personalizada | Turbulencia | Sedimentos

Análisis 2D

Número de procesadores 20

Esquema Numérico Primer Orden[Rápido] ▾

CFL 0,45

Incremento de tiempo máximo [s] 1

Límite Seco-Mojado [m] 0,01

Método de Secado Por Defecto ▾

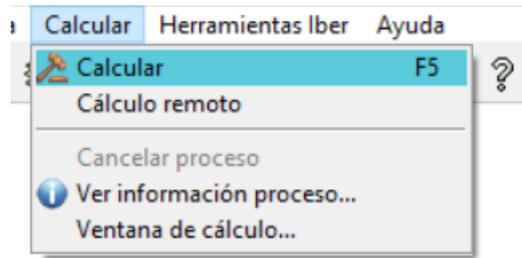
Opciones generales Ocultar ▾

Aceptar Cerrar

En la pestaña de resultados se configura las, opciones que se necesita generar con la simulación como el calado, velocidad, caudal específico, cota de agua entre otros.

El tiempo de simulación también va a depender de los resultados que esperamos obtener, mientras más resultados el tiempo de simulación también aumenta.

Finalmente para ejecutar la simulacion, en la pestaña de calcular activamos la simulacion.



En esta pestaña se puede observar en tiempo real la informacion que se va generando en el proceso, como el tiempo simulacion, paso de tiempo, tiempo de inicio de simulacion, caudal de entrada y caudal de salida.

2.3.2 Generación de Escenarios de Inundaciones

Se generó simulaciones para identificar escenarios de inundaciones en los periodos de retorno de 2, 5, 10 y 25 años, destacando los siguientes parametros.

- El desarrollo del modelo esta considerado solo el tramo cercano a la poblacion de Salima de forma que permite el tamaño adecuado del mallado del modelo.
- La topografia de la zona generada a traves de modelos de elevacion digital.
- Informacion Hidrologica, de datos extrapolados obtenidos por sensores remotos asociados a los periodos de retorno.
- Mapa de Uso de Suelos, obtenida de informacion bibliografica, para la idenfición del coeficiente de rugosidad.
- Batimetria de la seccion de rio, éste parametro fue considerado a traves de las observaciones de campo del proyecto DISAT.

Las areas y valores de calados y niveles de inundaciones se generaron en el software Iber.

CAPÍTULO 3

3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

A continuación, se presentan los resultados de cada etapa del proyecto establecidas en el Capítulo 2.

3.1 Etapa 1: Obtención de Información

3.1.1 Modelo de Elevación Digital

De las diferentes plataformas consultadas para la obtención del DEM, se decidió adquirir una Imagen del Satélite Alos de la Agencia Japonesa de Exploración Espacial, que presenta una buena resolución espacial, tiene correcciones atmosféricas y es gratis.

3.1.1.1 ALOS PALSAR

Proceso para la obtención de la Imagen Satelital.

1. Registrarse en la página de EARTHDATA.
2. Ingresar a la página ASF Data Search Vertex.
3. Configuración de Búsqueda

Tabla 3.1 Configuración de parámetros en la página de ASF Data Search Vertex

Parámetro	Informacion
Search Type	Geographic
Dataset	ALOS PALSAR
Area of Interest	-80.2141 - 0.7855, -80.2189 - 0.0494, -79.6324 - 0.0494, -79.6457 - 0.7855, -80.2141 - 0.7855

4. Seleccionar la imagen de interés.
5. Descargar el producto Hi-Res Terrain Corrected.
6. Cargar el fichero con la extensión dem.tif en el software de SIG de preferencia (OsGis, 2018)

Tabla 3.2 Característica de Modelo de elevación digital 12m

Modelo de Elevación Digital ALOS PALSAR	
Formato	TIFF
Tamaño de celda (x, y)	12.5,12.5
Tamaño de píxeles	32 Bit
Sistema de Coordenadas	UTM WGS 1984 Zona 17N
Numero de bandas	1
Columnas y filas	3468,5672
Fecha	Marzo 15, 2011;
Hora	04:05:46
Tamaño sin comprimir	37.52 MB



3.1.1.2 MAGAP

Este DEM fue levantado por el MAGAP en el proyecto SIGTIERRAS, con una resolución de 3m, en el año 2014 y fue proporcionado por medio del proyecto DISATS.

Tabla 3.3 Característica de Modelo de elevación digital 3m

Modelo de Elevación Digital MAGAP	
Formato	TIFF
Tamaño de celda (x, y)	3,3
Tamaño de píxeles	32 Bit
Sistema de Coordenadas	UTM WGS 1984 Zona 17N
Numero de bandas	1
Columnas y filas	917, 1317
Año	2014
Tamaño sin comprimir	4.61MB



3.1.2 Precipitaciones

Desde el Servidor NASA GIOVANNI se descargaron los datos de precipitación del satélite TRMM. Los datos obtenidos fueron valores de precipitación diarios registrados desde 2000-03-01 hasta 2020-01-01.

“Estos datos son prácticos para conocer el comportamiento de la precipitación temporal y espacial” (Montoya, 2017). A continuación, se presenta el proceso para la obtención de los datos.

1. Ingresar al servidor de [Giovanni-GES DISC-NASA](#)
2. Seleccionamos en Selec Plot: Time Series, Area-Averaged
3. Se escoge el rango de fechas a descargar en Select Date Range (UTC)
4. Seleccionamos el área de interés en la casilla Select Region.

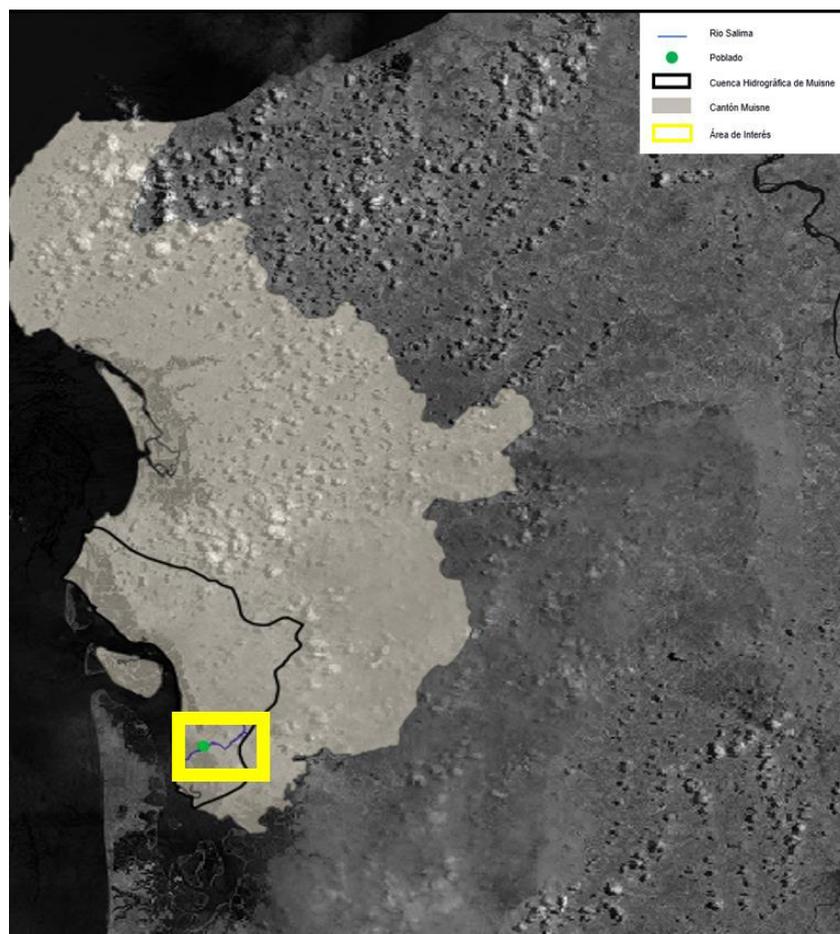


Figura 3.1 Area de Interés, para la descarga de datos TRMM.

5. En la casilla Keyword escribimos TRMM e iniciamos la búsqueda.
6. Se activa la casilla en el producto de interés.

Para este proyecto se seleccionó Near Real-Time Precipitation Rate mm/day

7. Clic en Plot Data.

Nos redirigirá a una nueva página donde se mostrará el proceso de descarga.

8. En la pestaña Downloads se puede escoger el tipo de archivo que se desee descargar, ya sea tipo .csv o .png.

La siguiente grafica muestra la precipitación acumulación de entre los años 2000-2019, del Multisatelite TRMM.

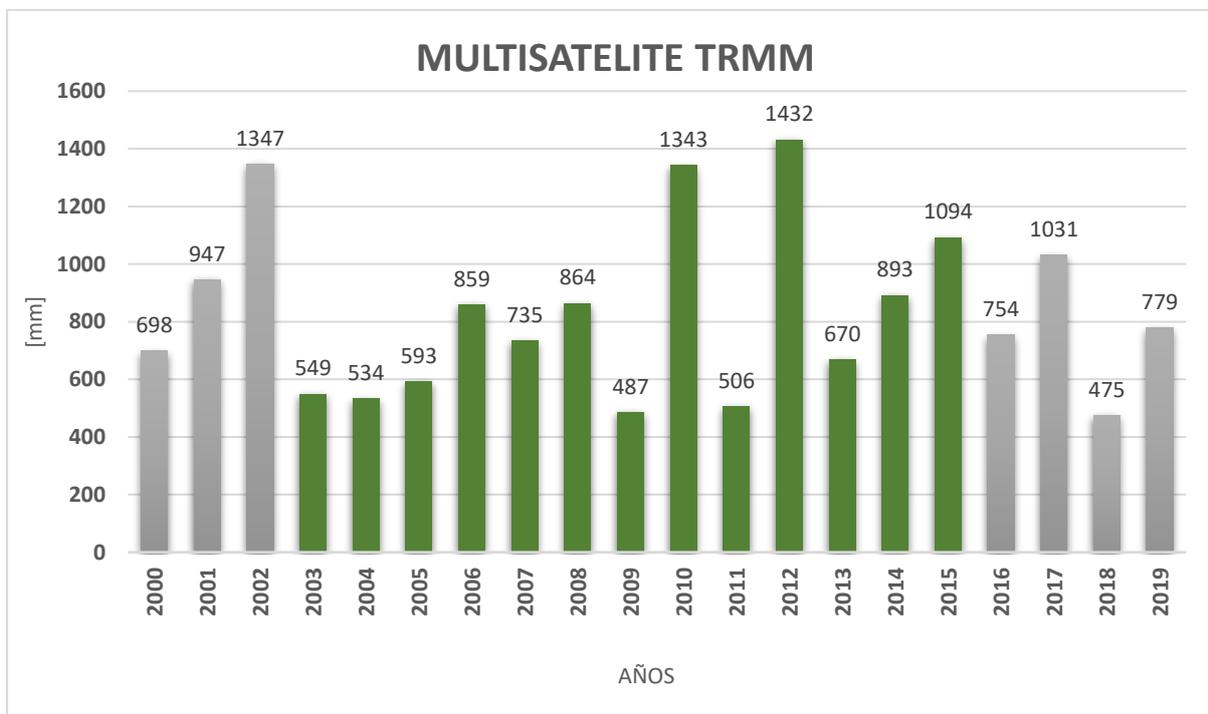


Figura 3.2 Precipitación acumulada anual de la Multisatelite TRMM.

Fuente: Plataforma Web Nasa Geovanni

3.2 Etapa 2: Procesamiento de Información

3.2.1 Caracterización Morfológica de la Microcuenca del Rio Salima

Mediante el software ArcGis, utilizando el modelo de elevación digital de Alos Palsar se identificó la microcuenca.

3.2.1.1 Delimitación de Cuenca

A continuación se muestra el proceso para la obtención de los límites y redes de drenaje de la microcuenca del Río Salima.

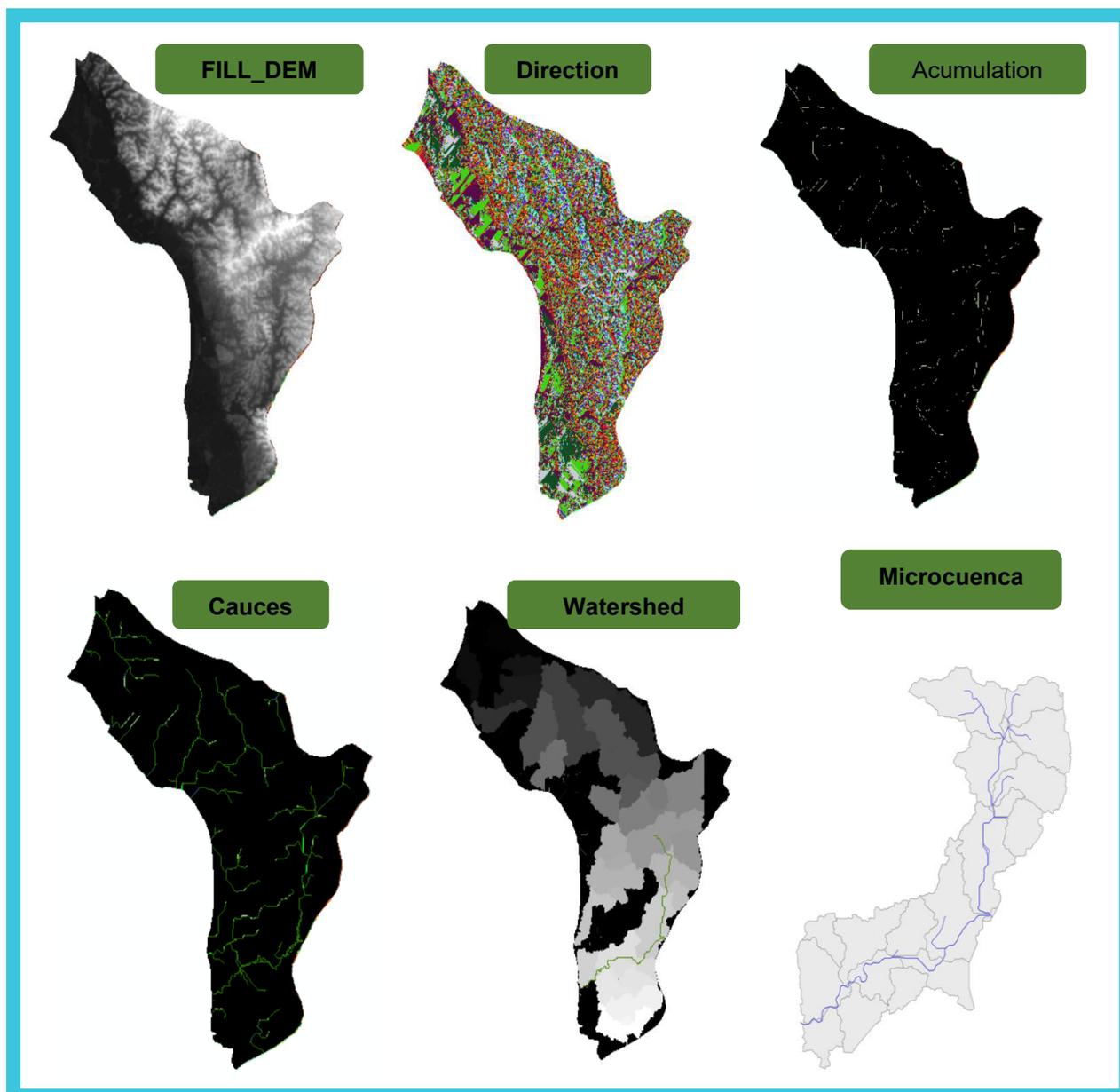


Figura 3.3 Proceso de la Delimitación de la Microcuenca del Rio Salima

3.2.1.2 Características Geomorfológicas de la Microcuenca del Rio Salima.

Parte del subsistema integrado de una cuenca hidrografica se considera la geomorfologia que permite discernir una cuenca de otra e identificar procesos de carácter hidro-geomorfológicos.

Tabla 3.4 Características Geomorfológicas de la Microcuenca Rio Salima

Parámetro	Valor	Unidad	Interpretación
Area (A)	28.00	Km ²	Microcuenca
Perímetro (P)	57.00	Km	

Índices Morfométricos relacionados con la Forma			
Índice de Compacidad o Índice de Gravelius (Kc)	3.0388	-	Tendencia a ser una cuenca rectangular oblonga
Factor de forma (F)	0.0365	-	Muy Alargada
Índice de Alargamiento (I_a)	1.4	-	Presenta forma relativamente más larga.
Índices Morfométricos relacionados con el Relieve			
Altitud Media (E)	57.05	m.s.n.m.	
Coefficiente de masividad (Km)	2.04	m.s.n.m./Km ²	Moderadamente Montañosa
Coefficiente Orográfico (Co)	0.00000204	-	Representa un relieve poco accidentado, de baja pendiente.
Pendiente media de la Microcuenca	12.39	%	Tipo de relieve poco accidentado
Indices Relacionados con la Red de Drenaje			
Densidad de Drenaje (Dd)	2.21	Km/Km ²	Moderada
Pendiente del Cauce Principal.	4.16	%	

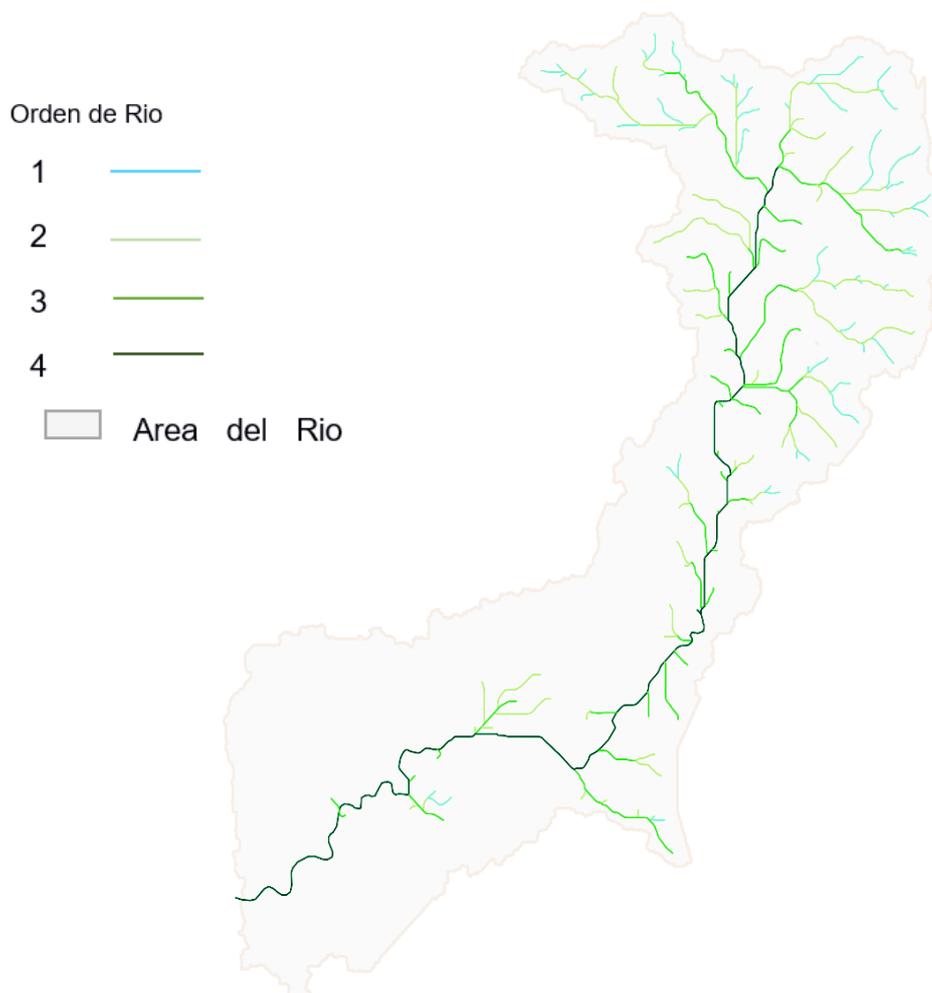


Figura 3.4 Orden de Rios de la Microcuenca del Río Salima.

Del procesamiento de información en el software ArcGis se obtuvo se genero la pendiente del Rio Salima, que se muestra en la siguiente grafica.



Figura 3.5 Estimacion de la pendiente del Rio Salima.

Con la estimacion de las cordenas se realizo un grafico en excel que muestra en el eje x la distancia en metros y en el eje y la altitud en metros de la zona de estudio.

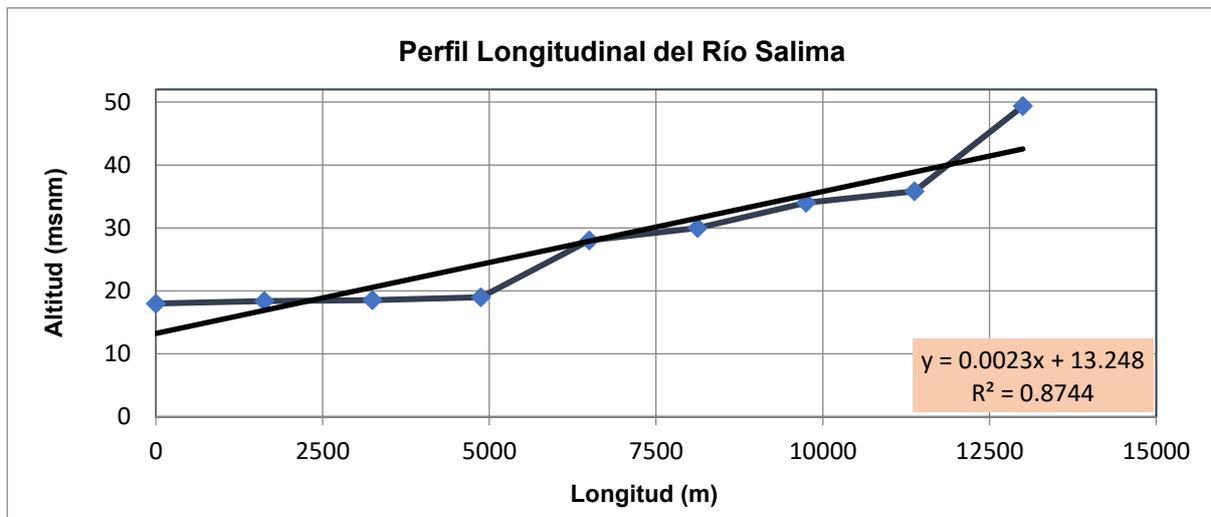


Figura 3.6 Perfil Longitudinal del Rio Salima en la Mircocuena.

Patrones de Drenaje	Rectangular	
Tiempo de Concentración	Kirpich	368,335 min

3.2.2 Relación Precipitación - Escorrentía

Según Chow (1994), las relaciones precipitación-escorrentía se pueden establecer en lugares donde los datos requeridos están disponibles, tomando en cuenta que el objetivo es lograr o contribuir a un nivel razonable de predicción sobre la cantidad de agua que

es probable que aparezca en los canales a un mejor conocimiento de los procesos hidrológicos. (Quillatupa & Elvis, 2016)

Del procesamiento de los valores de precipitación se discerniendo las precipitaciones máximas en 24 horas de cada año.

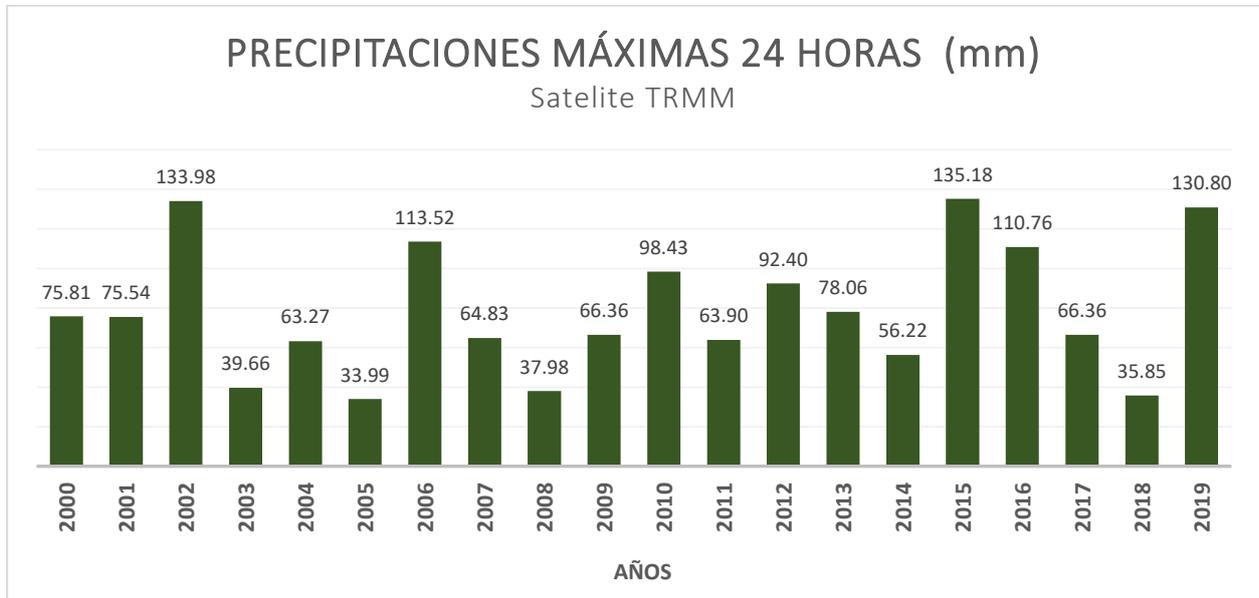


Figura 3.7 Precipitaciones Máximas en 24 horas del año 2000 al 2019

Se estimaron los parámetros estadísticos que permitieran realizar el cálculo de probabilidades de precipitaciones máximas para los diferentes periodos de retorno.

Tabla 3.5 Parámetros estadísticos para estimación de caudales máximos

PARAMETROS ESTADISTICOS	
Numero de Datos	20
Sumatoria	1572,90
Valor Máximo	135,18 mm
Valor Mínimo	33,99 mm
Media	78,65 mm
Varianza	1067,00
Desviación Estandar	32,66
Coefficiente Variación	0,42
Coefficiente de Asimetría	0.435

PRUEBA DE DATOS DUDOSOS				
Umbral de datos dudosos altos	2,31	Precipitación Máxima Aceptable		
		204,62 mm		
Umbral de datos dudosos bajos	1,40	Precipitación Mínima Aceptable		
		25,41 mm		
PRUEBA DE BONDAD DE AJUSTES				
	Normal	Log Normal	Gumbel	Pearson III
Δ TEORIO	0,1199	0,1039	0,1159	0,09691
Δ TABULAR	0,3041	0,3041	0,3041	0,3041
Cumpliendo con la condición, la Distribución a la que mejor se ajusta los datos es:				
DISTRIBUCION TEORICA				
PEARSON III				
PARAMETRO		RESULTADO		
	α	7,1101		
	β	21,1065		
	ζ	-71,4234		
	γ	0,4353		
TIEMPO DE RETORNO	KT	XT_PIII		
2	-0,072	76,29		
5	0,813	105,19		
10	1,318	121,70		
25	1,891	140,41		
PRECIPITACIÓN MAXIMA PERIODO DE RETORNO				
T (AÑOS)	PP (mm/día)	FACTOR DE RELACION	PRECIPITACIONES CORREGIDAS	PRECIPIACIONES HIDROESTA
2	76,29	1,13	86,20	85,60
5	105,19		118,87	118,31
10	121,70		137,52	136,92
25	140,41		158,66	157,94

En la tabla 3.6 se presentan resultados correspondientes a los periodos de retorno de 2, 5, 10 y 25 años de precipitaciones acumuladas en intervalos de 5 minutos durante una hora.

Tabla 3.6 Valores de precipitaciones acumuladas en diferentes intervalos

Duración (min)	T2	T5	T10	T25
	86,20	118,87	137,52	158,66
PRECIPITACIÓN (mm)				
5	20,93	28,86	33,38	38,51
10	24,89	34,31	39,70	45,80
15	27,54	37,98	43,93	50,69
20	29,59	40,81	47,21	54,47
25	31,29	43,15	49,92	57,59
30	32,75	45,16	52,25	60,28
35	34,04	46,94	54,30	62,65
40	35,19	48,53	56,14	64,77
45	36,24	49,98	57,82	66,71
50	37,21	51,31	59,36	68,49
55	38,11	52,55	60,80	70,14
60	38,95	53,71	62,13	71,68

Para comprender el comportamiento de la precipitación a partir de una curva que muestra la intensidad media en función de la duración y la frecuencia, cuyo único propósito es proporcionar patrones de comportamiento de la precipitación, se utilizaron los valores obtenidos de la distribución de probabilidad de Pearson III.

Tabla 3.7 Intensidades de precipitación para periodos de 2,5,10 y 25 años

Duración (seg)	INTENSIDAD (mm/hr)			
	T2	T5	T10	T25
	PERIODO DE RETORNO EN AÑOS			
300	251,11	346,26	400,60	462,17
600	149,31	205,89	238,20	274,81
900	110,16	151,90	175,74	202,75
1200	88,78	122,42	141,63	163,40
1500	75,10	103,56	119,81	138,22
1800	65,50	90,32	104,50	120,55

2100	58,35	80,46	93,09	107,39
2400	52,79	72,79	84,22	97,16
2700	48,33	66,64	77,10	88,94
3000	44,65	61,57	71,24	82,19
3300	41,57	57,33	66,32	76,52
3600	38,95	53,71	62,13	71,68

A continuacion se presenta la figura 3.8 que muestra la representacion grafica de las curvas de intensidad- duracion y frecuencia para la estacion en estudio.

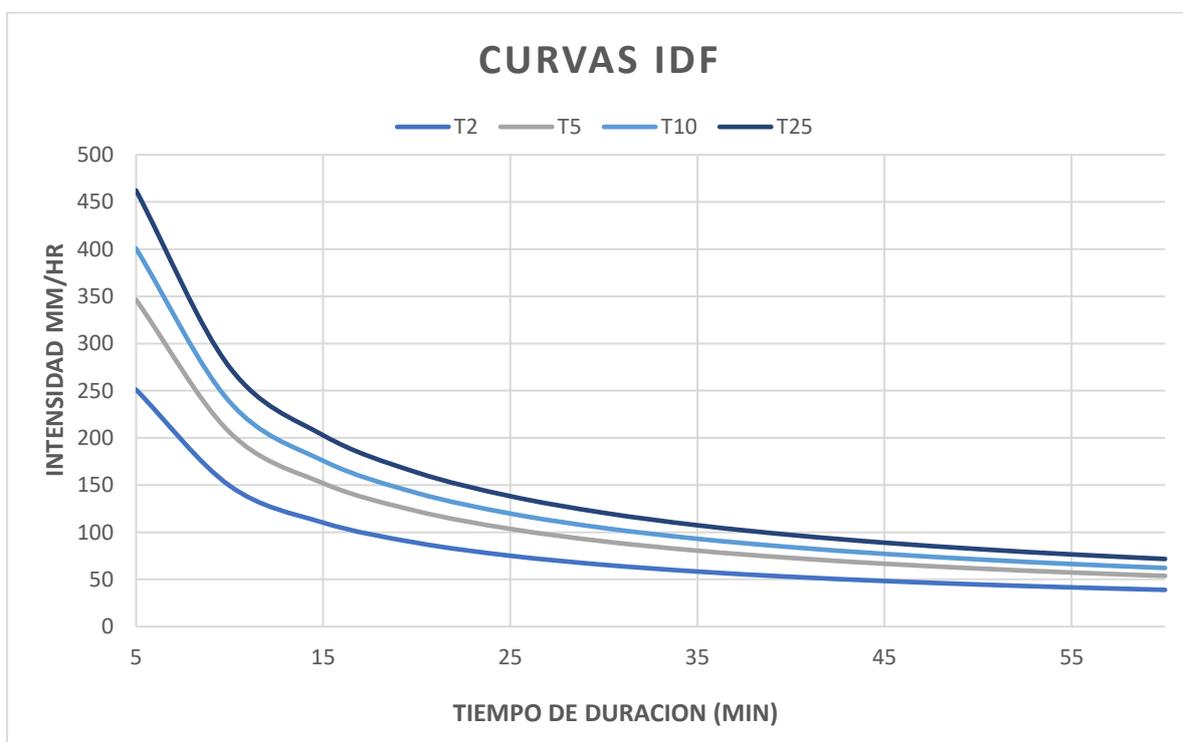


Figura 3.8 Curvas IDF de Salima con tiempos de recurrentes de 2 a 25 años

Los caudales maximos para los periodos de retorno de 2,5,10 y 25 años se han calculado tomando en cuenta los siguientes parametros: area de la microcuenca igual a 17.55 Km², valores de intensidad mostrados en la Tabla 3.7, coeficiente de escorrentía mostrados en la Tabla 5.3 y precipitaciones maximas en de diferentes duraciones.

La Tabla 3.8 muestras la estimacion de caudales maximos en intervalos de tiempo de 300 segundos .

Tabla 3.8 Valores de caudales maximos usando Metodo Rcional

Duración (seg)	CAUDAL (m ³ /s)			
	PERIODO DE RETORNO EN AÑOS			
	T2	T5	T10	T25
300	428,78	591,25	684,04	789,17
600	254,95	351,56	406,73	469,24
900	188,10	259,38	300,08	346,20
1200	151,60	209,04	241,84	279,01
1500	128,24	176,83	204,58	236,02
1800	111,85	154,23	178,43	205,85
2100	99,63	137,39	158,95	183,38
2400	90,14	124,30	143,80	165,90
2700	82,52	113,79	131,64	151,88
3000	76,25	105,14	121,64	140,34
3300	70,99	97,89	113,25	130,65
3600	66,50	91,70	106,09	122,40

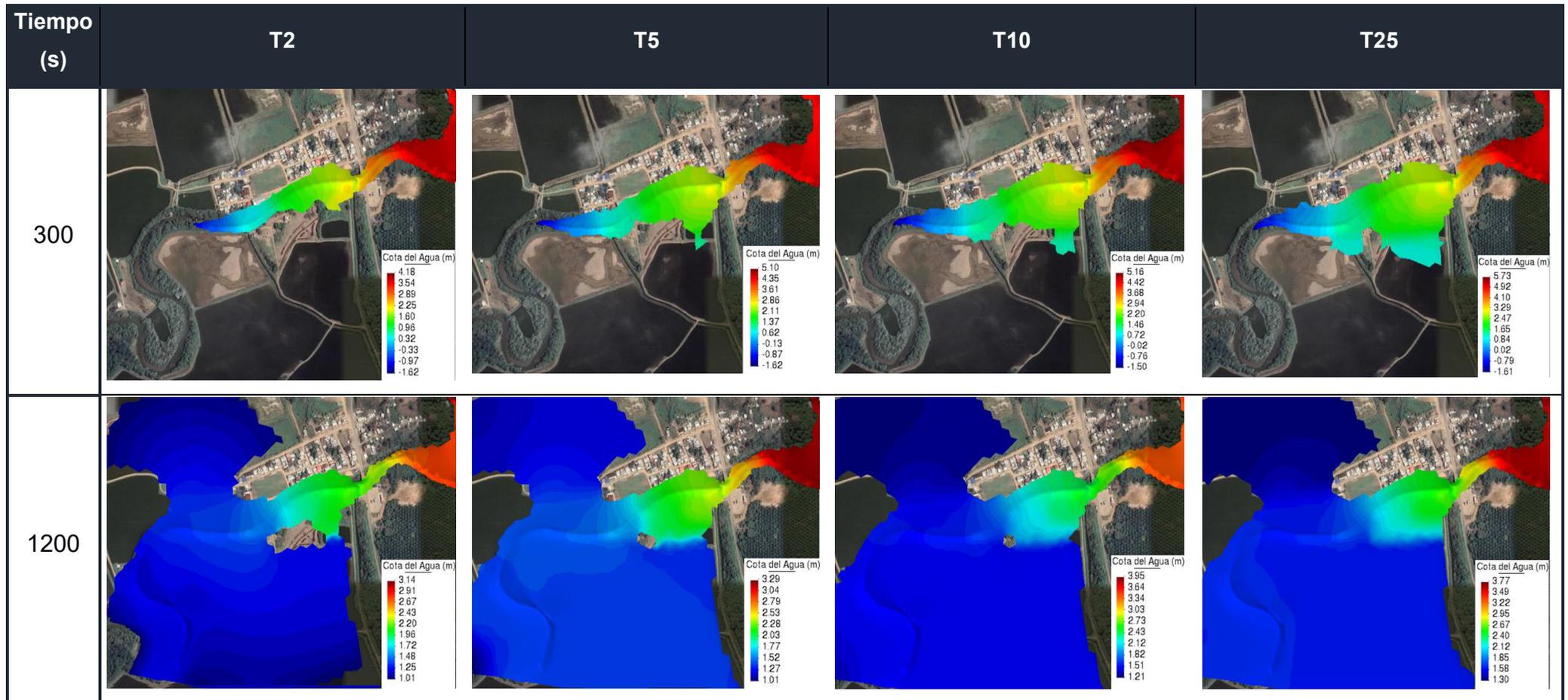
3.3 Etapa 3: Modelación Hídrica con Software Iber

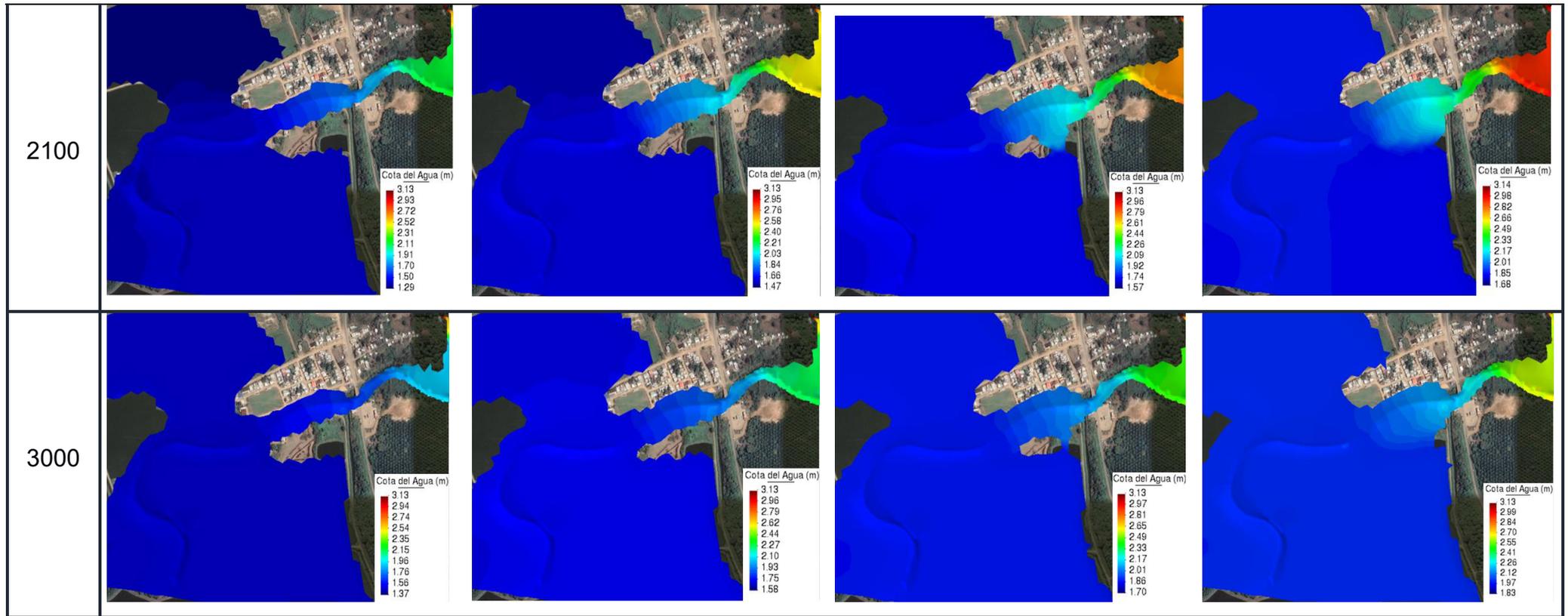
A continuación se presenta los mapas generados de las variables hidráulicas de calado y nivel de agua a partir del modelado obtenido con el software Iber.

En el tramo del río cerca de la población de Salima, utilizando valores de caudal máximo relativos a las zonas de inundación, se observa una afectación durante los primeros 3600 segundos en intervalos. Dentro de los primeros 5 minutos, la zona de inundación se concentra en la periferia del río involucrado una pequeña parte de la población pero cuando alcanza los 20 minutos el área de inundación cubre gran parte de las camaroneras que rodean la población, todo este proceso en el periodo de retorno de 2 años.

Un análisis similar se realizó con los modelos simulados con los caudales de los próximos periodos de retorno, 5, 10 y 25 años, observamos que la zona de inundación afectada rodea cada vez más áreas de población de la comunidad.

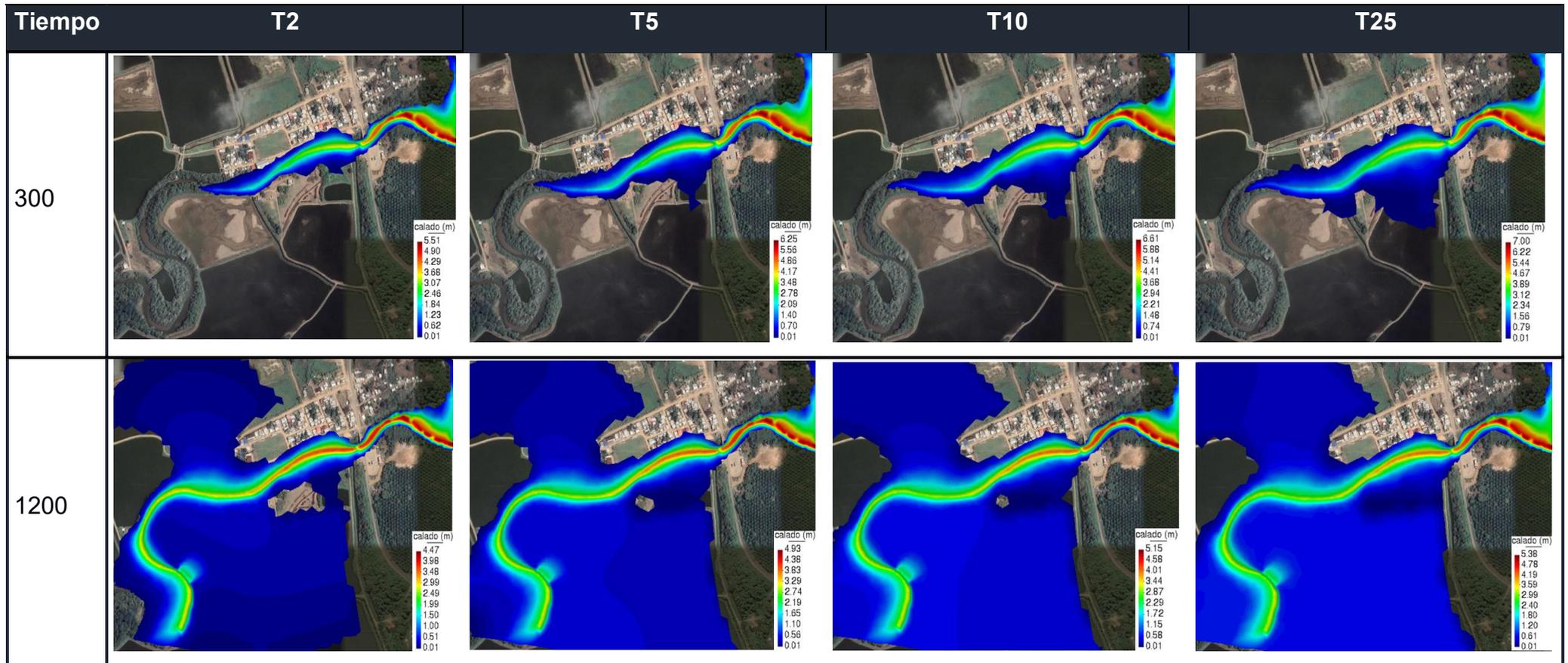
Tabla 3.9 Mapas de nivel de agua, para los periodos de retorno 2,5,10 y 25 años.

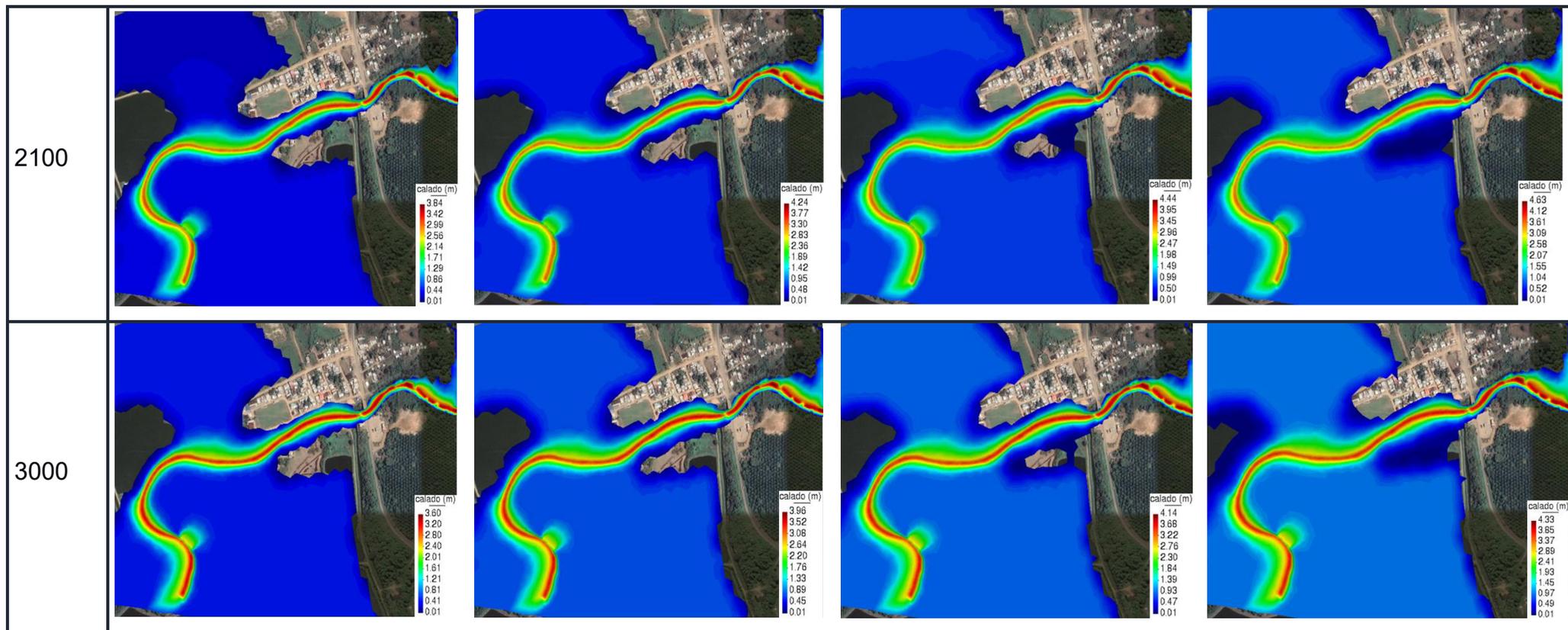




En la tabla 3.9 se muestra la variación de las cotas de agua para los periodos de retornos estimados (2,5,10 y 25 años) durante periodos 300, 1200, 2100 y 3000 segundos respectivamente.

Tabla 3.10 Mapas de Calado, para los periodos de retorno 2,5,10 y 25 años.





En la tabla 3.10 se muestra la variación de calado para los periodos de retorno estimados (2,5,10 y 25 años) durante periodos 300, 1200 y 2100 y 3000 segundos respectivamente.

CAPÍTULO 4

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

Las conclusiones que se muestran a continuación son en base a los objetivos propuestos en el presente trabajo:

El uso de sensores remotos como herramienta para identificar y monitorear diferentes ambientes que presentan una vulnerabilidad ante riesgos como inundaciones, es útil y preciso, dependerá de la calidad de los productos (resolución espacial), la disponibilidad de data (resolución temporal) y los medios económicos e informáticos para su procesamiento.

La metodología permite obtener información de una imagen satelital y al mismo tiempo generar información temática y un modelado numérico del comportamiento hidrográfico en la zona de estudio.

Para discernir las zonas y redes de drenaje de la microcuenca perteneciente a la Cuenca Hidrográfica de Muisne, se utilizó una imagen de resolución espacial de 12 m. de Alos Palsar y para el análisis de la relación entre precipitación y escorrentía se usó un DEM proporcionado por el Proyecto DISAT de una resolución espacial de 3m, además se encontró un registro de 20 años de información diaria del satélite TRMM en la plataforma de NASA GIOVANNI.

El Rio Salima se extiende sobre un área de 28 km², por lo que se considera una microcuenca, el perímetro tiene una extensión de 57 Km, la densidad de drenaje es moderada con 2.21 Km/Km², la pendiente del cauce principal es de 4.16 %, mientras que la pendiente media de la microcuenca es de 12.39 % que define a un tipo de relieve poco accidentado, un coeficiente de masividad de 2.04 m.s.n.m./Km² que indica que es moderadamente montañoso, un coeficiente de compacidad de 3.0388 mostrando una tendencia a ser una microcuenca rectangular oblonga muy alargada, la altitud media está 57.05 m.s.n.m., posee patrones de drenaje rectangular, presenta aproximadamente 50

cauces de primer orden y un tiempo de concentración regulado de 368,335 min según la fórmula de Kirpich.

La metodología propone ecuaciones ajustables a cuencas con poca información hidrometeorológica, para determinar caudales máximos en los periodos de retorno de 2,5,10 y 25 años.

Las fórmulas de caudales máximos, se presentan para cuencas cuyas áreas son menores o iguales a 45 km², en estos casos es aplicable utilizar el Método Racional, donde es directamente proporcional al área y a la precipitación media de la cuenca.

El cálculo del caudal permite hallar un volumen de descarga de la microcuenca identificando las zonas de escorrentía importantes, para conocer las zonas de inundación en un posible desborramiento del río y también para la planificación agrícola y urbana.

Para excluir valores atípicos de precipitación se realizó una prueba, estableciendo umbrales altos y bajos, en cuya prueba no se registraron valores atípicos. La precipitación máxima acumulada en 24 horas se registró en el año 2015 con 135 mm, en la que según información bibliográfica se registró un ENSO en ese año que provocó lluvias en exceso.

La Distribución Teórica a la que mejor se ajustaron los datos se validó mediante una prueba de bondad de ajustes en el Software Hidroesta 2, comparando los valores teóricos y tabular de las diferentes distribuciones, dando como mejor opción la Distribución de Pearson III.

Mediante un análisis de sensibilidad utilizando los valores máximos de caudal para el periodo de retorno de 2 años es de 428.78 m³/s a los 300 segundos y su valor más bajo es de 66.50 m³/s a los 3600 segundos. Para el periodo de retorno de 5 años su valor máximo es de 591,25 m³/s a los 300 segundos y el mínimo de 91.70 m³/s a los 3600 segundos, en el periodo de retorno de 10 años existe un caudal máximo de 684.04 m³/s a los 300 segundos y mínimo de 106.09 m³/s a los 3600 segundos y finalmente un valor máximo de 789.17 m³/s a los 300 segundos y mínimo de 122.40 m³/s a los 3600 segundos de caudales para el periodo de retorno de 25 años.

El modelo numerico Iber permitió verificar el comportamiento del cauce en la zona de estudio. En la calibracion del modelo, Iber requiere el ingreso de geometrías para la formación de una malla no estructurada, permitiendo representar la superficies irregulares del terreno, la batimetría del río que por efectos practicos se estimó con las observaciones y mediciones en campo del personal del proyecto DISAT que permitieron obtener resultados aproximados en un tiempo razonable, las condiciones de contorno en las que se ingresan los valores del coeficiente de rugosidad del suelo, usando un mapa de Uso de Suelos del PDOT, este parametro es uno de los más sensibles en la modelación.

Los valores de las cotas de agua y calado estan referenciados al nivel medio del mar. En el periodo de retorno de 2 años, alcanza una cota de agua de 4.18 m, para el periodo de retorno de 5 años alcanza los 5.10 m, en el periodo de 10 años 5.16 m, y a los 25 años alcanza los 5.73 m en los primeros 300 segundos, en el transcurso de la hora, en todos los periodos de retorno estimados, descendería a los 3.13 m.

Los niveles de calado dentro del cauce en los primeros 300 segundos el periodo de retorno de 2 años muestra valores hasta de 5.51 m en zonas al este de la población y valores de 7 m en el periodo de retorno de 25 años que se ubican en esa misma zona. En el transcurso de la hora los valores de calado descienden hasta los 3.60 metros en el periodo de 2 años y de 4.33 m en el de 25 años, pero se observa inundaciones de 0.10 m hasta 0.50 m en la zona oeste del poblado.

4.2 Recomendaciones

La informacion obtenida para la modelacion numérica debe ser de calidad, actualizada con una resolucion aceptable, para poder obtener resultados confiables y disminuir errores en los calculos estimados.

Tanto para el procesamiento de la informacion satelital y la modelacion en el software Iber es necesario tener un ordenador con suficiente memoria RAM , procesadores y una buena tarjeta gráfica, que ayudaran a optimizar el tiempo computacional y visualizar mejor los resultados.

Establecer estaciones de medición de datos hidrometeorológicos y caudales cercanos a la población y río de Salima, porque actualmente no se encuentra datos ni información bibliográfica.

Los cálculos estimados deben ser validados en campo, ya que por motivo de restricciones de movilidad durante la pandemia, no se pudo realizar una inspección del lugar.

Considerar todas las fuentes que pueden ocasionar inundaciones, ya que esto ayudaría a tener una visualización real de lo que pasa en todo el lugar. Y poder establecer mejoras en el sistema de alerta temprana. En esta ocasión solo se generó el estudio con un solo aporte, el Río Salima, pero se necesita estudiar la zona con la elevación del nivel del mar y con las aportaciones de agua de las camaroneras que rodean la población.

BIBLIOGRAFIA

- Consejo Nacional de Recursos Hídricos. (2002). *DIVISIÓN HIDROGRAFICA DEL ECUADOR*. Ministarío del Ambiente.
- Agilar, J., & Naranjo, L. (2018). Elaboración de la base de información hidrometeorológica de la cuenca del río Guayas para el procesamiento con el modelo hydraccess ante inundaciones. Quito.
- Aguiar, J., & Patiño, M. (2017). *EVALUACIÓN DE LAS CONDICIONES HIDRÁULICAS EN ESTEROS Y CANALES MEDIANTE MODELAMIENTO HIDRODINÁMICO 1D Y 2D*. Cuenca.
- Araujo, P., Velasco, P., Vásquez, A., Rivadeneira, C., & Volker, F. (2018). *Plan de Gestión de Riesgos Climáticos Sálíma*.
- Barragán, M., Daza, N., Caladrón, Y., Navarro, L., & Tosse, O. (2018). *Guía metodológica para la formulación de los planes de manejo ambiental de micocuenas*. Bogotá: MINAMBIENTE.
- Bladé, L., Cae, I., Coestein, G., Escolano, E., Puertas, J., Vázquez, E., & Coll, A. (2012). *Iber: herramienta de simulación numérica del flujo en ríos*. Barcelona: ELSEVIER DOYMA.
- Chow, V. (1994). *Hidrología Aplicada*.
- Consortio Río Garagoa. (2017). *Ajuste (Actualización) Del Plan de Ordenamiento y Manejo de la Cuenca Hidrográfica RIO GARAGOA*.
- Cotler, H., Galindo, A., González, I., Pineda, R., & Ríos, E. (2013). *Cuencas Hidrográficas. Fundamentos y Perspectivas para su Manejo y Gestión*. México D.F.: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- Cueva, M., Cañon, J., & Cea, L. (2018). *EL MODELO IBER COMO HERRAMIENTA DOCENTE DE AYUDA AL APRENDIZAJE Y ANÁLISIS DE FENÓMENOS DE FLUJO BIDIMENSIONALES*. Coruña.
- Di Bella, C. M., Posse, G., Beget, M., Fischer, M., & Veron, S. (Enero de 2008). *La Teledetección como herramienta para la prevención, seguimiento y evaluación de incendios e inundaciones*. Buenos Aires. Recuperado el 7 de Septiembre de 2020, de <https://www.researchgate.net/publication/39499476>

- Esmeraldas, G. A. (2012). *Plan de desarrollo y ordenamiento territorial del provincia de esmeraldas 2012-2020*. Esmeraldas : Gobierno Autónomo Decentralizado de la Provinvia de Esmeraldas.
- Espinoza, M. (2018). *GULF OF GUAYAQUIL TIDAL SIMULATION USING DELFT 3D HYRODINAMIC MODEL DURING AN EL NIÑO EVENT AND NORMAL CONDITIONS*. Guayaquil.
- Felicísimo, A. (s.f.). *El Modelo Digital de Elevaciones*. Obtenido de http://www6.uniovi.es/~feli/CursoMDT/Tema_2.pdf
- Gaspari, F., Rodríguez, A., Senisterra, G., Delgado, M., & Besterio, S. (2013). *ELEMENTOS METODOLÓGICOS PARA EL MANEJO DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS*. Buenos Aires: Editorial de la Universidad de La Plata.
- Gobierno Autónomo Descentralizado de la Parroquia Rural de Sálima. (2016). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial Parroquia Rural Sálima*. Esmeraldas.
- Guaya, C., & Montalván, E. (2018). *Modelación hidrodinámica del tramo medio del río Ctalamochita, Provincia de Córdoba*. Quito.
- Guzmán, I., Watson, f., & Casasola, R. (2017). *Modelación Hidrodinámica y Morfológica del Río La Estrella, Limón*. Costa Rica: Tecnológico de Costa Rica.
- Iber. (2010). *Modelización bidimensional del*. Coruña: Iber.
- Iber Model. (19 de Abril de 2019). *Modules Iber*. Obtenido de Iber Model: <https://www.iberaula.es/53/iber-model/modules>
- Iber Model. (14 de Abril de 2019). *Presentation THE PROJECT*. Obtenido de Iber Model: <https://www.iberaula.es/50/the-project/presentation>
- Inec. (2001). *Censo de Población y Vivienda del Canton Muisne*. Esmeraldas: Inec.
- Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. (29 de Julio de 2019). *La Importacia de la medicion del agua lluvia*. Obtenido de Gobierno de Mexico: <https://www.gob.mx/imta/articulos/la-importancia-de-la-medicion-del-agua-de-lluvia?idiom=es>
- International Strategy for Disaster Reduction. (2006). *Desarrollo de Sistemas de Alerta Termprana. Lista de Comprabación*. Bonn, Alemania.
- Martinez, G. (8 de Octubre de 2016). *MÉTODO RACIONAL - HIDROLOGIA*. Obtenido de PREZI: <https://prezi.com/fq0ej21vxuef/metodo-racional-hidrologia/>
- Martinez, L. (2006). *Comparación de Datos de Precipitación Obtenidos de TRMM con datos provenientes de algunas Estaciones Pluviométricas de Colombia y Perú*.

- MasterGIS. (28 de Noviembre de 2018). *Delimitar una cuenca hidrográfica en ArcGIS [archivo de video]*. Recuperado el Julio de 2020, de <https://www.youtube.com/watch?v=cYcXFCN6PT8>
- Ministerio de Salud Pública. (2008). *Proyección de la población 2007 por provincias, cantones y parroquias*. Quito.
- Ministerio de Salud Publica. (29 de Febrero de 2020). *Coronavirus COVID-19*. Obtenido de Ministerio de Salud Publica: <https://www.salud.gob.ec/coronavirus-covid-19/>
- Montoya, S. (3 de Enero de 2017). *Gestión Sostenida del Agua*. Obtenido de gidahatari: <https://gidahatari.com/ih-es/tutorial-de-descarga-de-datos-de-precipitacion-del-satelite-trmm-desde-nasa-giovanni>
- Ochoa, S., Reyna, T., Garcia, M., Labaque, M., & Díaz, J. (2016). *Modelación hidrodinámica del tramo medio del río Ctalamochita, Provincia de Córdoba*. Revista FCEF Y N.
- Ordoñez, J. (2011). *Que es una cuenca hidrográfica?* Lima: Sociedad Geográfica de Lima.
- OsGis. (28 de Febrero de 2018). *GeoTips*. Obtenido de CanalGeoips: <https://canalgeotips.com/descargar-dem-12-metros-alos-pulsar/>
- Parreño, D., & Coello, M. J. (30 de Diciembre de 2016). *Plan de desarrollo y ordenamiento territorial Parroquia Rural Salima*. Obtenido de Secretaria Tecnica Planifica Ecuador: http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PORTAL_SNI/data_sigad_plus/sigadplusdocumentofinal/0860032600001_PDOT%20_GAD_%20SALIMA_30-12-2016_17-22-59.pdf
- Ponvert, D., & Lau, D. (Marzo de 2018). *Uso de la teledetección en la gestión de desastres “naturales” en la agricultura. Apuntes y reflexiones*. Obtenido de Research Gate: https://www.researchgate.net/publication/324000128_Uso_de_la_teledeteccion_en_la_gestion_de_desastres_naturales_en_la_agricultura_Apuntes_y_reflexiones
- Quillatupa, Y., & Elvis, C. (2016). *Relacion Precipitacion, Infiltracion y Escorrentia para la Epoca de LLuvia en la Microcuenca Yanango-Chanchamayo*. Huancayo.
- Randall, R. (1997). *ELEMENTS OF OCEAN ENGINEERING*. New Jersey: THE SOCIETY OF NAVAL ARCHITECTS AND MARINE ENGINEERS.
- Reyes, A., Barroso, F., & Carvajal, Y. (2014). *Guía básica para la caracterización morfométrica de Cuencas Hidrográficas*. Cali: Programa Editorial Universidad del

- Secretaria General de las Organizaciones de los Estados Americanos - Gobierno de Irlanda. (2001). *Manual para el diseño e implemetacion de un sistema de alerta temprana de inundaciones en cuencas menores*. Washington, D.C.
- Taramona, J. (10 de Noviembre de 2017). *Introduccion a los DEM a partir de Plataformas Espaciales con Fines Aeronáuticos*. Obtenido de Organismos Especializados de las Naciones Unidas: https://www.icao.int/SAM/Documents/2017-ETOD/12-Int_Space_DEM_Model%20FINAL%20FINAL.pdf
- TELEDET. (3 de Agosto de 2016). Recuperado el 24 de Septiembre de 2020, de <http://www.teledet.com.uy/tutorial-imagenes-satelitales/satelites-resolucion-espacial.htm#:~:text=La%20resoluci%C3%B3n%20espacial%20se%20refiere,En%20las%20Figs>.
- Thomas, L., & Marino, B. (18 de Marzo de 2016). Estimación del caudal a partir de la evolución del nivel del agua en un estuario con onda de marea estacionaria. *RIBAGUA-Revista Iberoamericana del Agua*.
- Unesco - Cepredenac. (2012). *Guía sobre los Sistemas de Alerta Temprana en apoyo al Plan de Protección Escolar (PPE)*. San Jose: Sergio Orellana.
- UNESCO-CEPREDENAC. (2012). *Conceptos y Herramientas Sistema de Alerta Temprana y Gestion del Riesgo para la comunidad educativa*. San Jose.

ANEXOS

AÑOS	MESES											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2000			36,81	75,81	29,07	22,95	2,13	0,39	31,47	6,96	3,03	10,92
2001	38,91	17,88	42,63	75,54	24,81	5,79	33,84	0,39	1,23	0,24	1,68	7,44
2002	8,73	133,98	109,95	75,03	26,55	36,48	4,56	0,00	2,28	10,77	3,03	24,45
2003	22,86	38,31	19,05	39,66	36,96	8,40	0,00	0,78	0,39	3,06	14,79	4,74
2004	9,63	32,19	18,30	16,89	63,27	0,87	1,65	0,00	18,06	0,84	3,96	3,69
2005	6,69	15,63	33,99	28,20	16,71	0,00	1,92	0,63	0,30	0,33	0,60	15,66
2006	76,02	103,53	75,18	113,52	4,65	24,33	9,96	5,82	9,06	0,54	7,29	1,26
2007	6,57	9,84	50,01	25,17	64,83	10,41	15,48	5,40	0,00	5,10	1,35	3,39
2008	12,33	33,90	33,78	33,21	18,30	13,26	37,98	13,83	9,03	8,16	10,08	10,44
2009	66,36	39,72	31,23	35,70	38,37	1,23	0,00	11,97	3,99	0,00	1,50	6,27
2010	29,16	78,81	98,43	89,04	51,18	4,71	13,92	0,42	13,89	0,84	1,74	12,21
2011	63,90	13,92	25,32	34,68	1,14	5,67	10,74	3,99	3,48	5,34	0,81	2,97
2012	63,06	55,56	92,40	39,75	50,40	13,50	1,92	0,00	0,00	1,95	2,13	1,26
2013	7,47	54,48	32,40	78,06	18,60	5,79	3,15	2,16	3,18	2,16	2,16	1,02
2014	52,41	42,39	56,22	43,59	51,18	21,60	9,48	11,34	12,72	7,71	1,38	20,31
2015	28,62	17,52	70,47	135,18	64,62	25,47	12,06	1,41	1,11	17,70	10,44	20,04
2016	110,76	37,86	85,26	35,70	35,88	1,83	4,86	0,72	4,68	1,26	1,59	5,31
2017	63,21	12,48	33,84	66,36	58,92	30,51	0,00	4,05	3,00	5,07	1,11	1,59
2018	28,44	24,15	18,00	35,85	18,93	0,00	6,78	5,37	5,67	1,44	1,59	29,10
2019	33,30	25,74	130,80	10,92	28,32	7,17	2,85	3,51	4,11	9,60	1,74	5,76

Tabla 5.1 Precipitaciones maximas del 2000 al 2019.

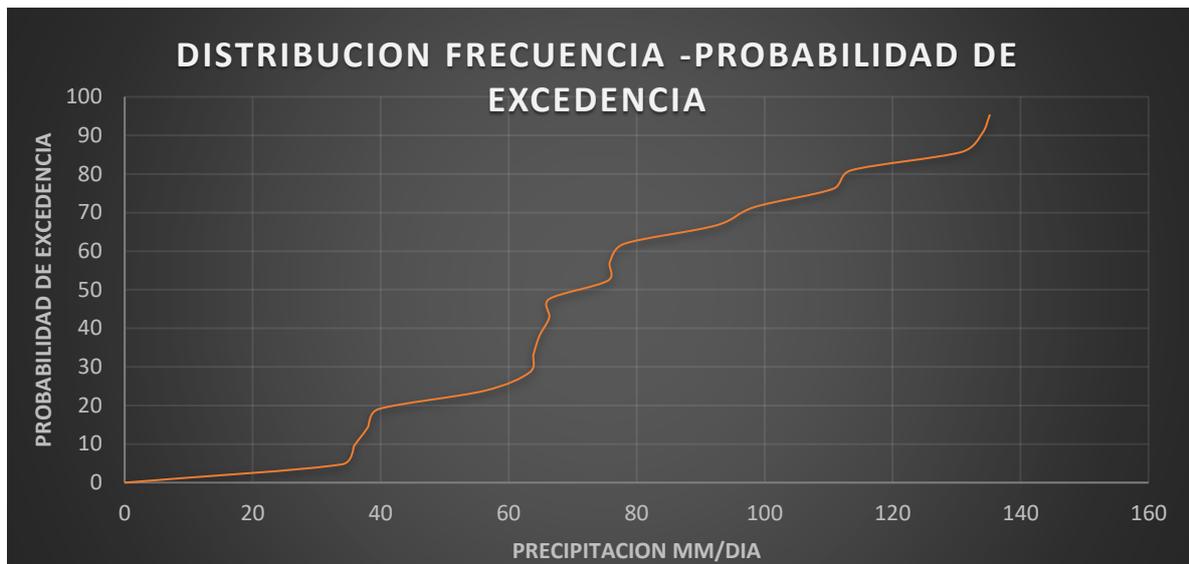


Figura 5.1 Distribucion Frecuencia -Probabilidad De Excedencia

PRECIPITACION MAXIMA 24 HORAS			
N°	AÑO	PPMAX (mm)	Log(PPMAX)
1	2000	75.810	1.880
2	2001	75.540	1.878
3	2002	133.980	2.127
4	2003	39.660	1.598
5	2004	63.270	1.801
6	2005	33.990	1.531
7	2006	113.520	2.055
8	2007	64.830	1.812
9	2008	37.980	1.580
10	2009	66.360	1.822
11	2010	98.430	1.993
12	2011	63.900	1.806
13	2012	92.400	1.966
14	2013	78.060	1.892
15	2014	56.220	1.750
16	2015	135.180	2.131
17	2016	110.760	2.044
18	2017	66.360	1.822
19	2018	35.850	1.554
20	2019	130.800	2.117

Figura 5.2 Calculo de precipitaciones maximas en 24 horas

	NORMAL		LOG NORMAL 2		LOG NORMAL 3		PEARSON III	
	NORMAL	LOG NORMAL 2	LOG NORMAL 3	GAMMA 2	GAMMA 3	LOG PERSON III	GUMBEL	LOG GUMBEL
	PARAMETROS	PARAMETROS	PARAMETROS	PARAMETROS	PARAMETROS			
DELTA TEORIO	0.1199	0.1039	0.1051	0.1018	0.09691	Datos No se ajusta a la distribución	0.1159	0.1609
DELTA TABULAR	0.3041	0.3041	0.3041	0.3041	0.3041		0.3041	0.3041

Figura 5.3 Prueba de bondad de ajustes de las diferentes distribuciones.

Media	x	78.65	Parámetros $\alpha = \sqrt{\frac{Sx^2}{\beta}}$ $\beta = \left(\frac{2}{gx}\right)^2$ $\xi = X - \sqrt{Sx^2} \cdot \beta$	Tiempo de retorno $\gamma = \frac{2}{\sqrt{\beta}}$ $KT = \frac{2}{\gamma} \left\{ \left[\frac{\gamma}{6} \left(ZT - \frac{\gamma}{6} \right) + 1 \right]^3 - 1 \right\}$ Donde ZT= DISTR.NORM.ESTAND.INV(1-(1/Tiempo de retorno)) $XT_{PIII} = KT \cdot \alpha \cdot \sqrt{\beta} + \alpha \cdot \beta + \xi$	
Desviacion Standar	S	32.66			
Coefficiente de Asimetria	gx	0.435			
Coefficiente de Variacion	Cvx	0.415			
Cantidad de Datos	N°	20			
DISTRIBUCION PEARSON III					
PARAMETROS					
α		7.1101			
β		21.1065			
ξ		-71.4234			
γ		0.4353			
(Tr) TIEMPO DE RETORNO	PE(%)	F(x)	KT	PRECIPITACIONES	
				PP(mm/dia)	HIDROESTA 2 (mm/dia)
2	0.02	0.98	-0.072	76.29	75.75
5	0.05	0.95	0.813	105.19	104.7
10	0.1	0.9	1.318	121.70	121.17
25	0.25	0.75	1.891	140.41	139.77
50	0.5	0.5	2.280	153.11	152.36
75	0.75	0.25	2.495	160.13	159.3
100	1	0	2.642	164.96	164.07

Figura 5.4 Estimacion de parametros de la Distribucion Teorica de Pearson III

Tabla 5.2 Relación entre precipitación Máxima Verdadera e Intervalos Fijos

NUMERO DE INTERVALO DE OBSERVACIÓN	RELACIÓN
1	1.13
2	1.04
3 – 4	1.03
5 – 8	1.02
9 - 24	1.01

T (AÑOS)	Probabilidad de excedencia P	Probabilidad de No excedencia 1-P	Z	PEARSON TIPO 3			
	P	F(X)	FACTOR DE REALCION	PP mm/dia	PRECIPIACIONES	PP MAX /DIA (HIDROESTA)	PRECIPIACIONES HIDROESTA
2	0.5000	0.50	1.13	76.29	86.20	75.75	85.60
5	0.2000	0.80	1.13	105.19	118.87	104.7	118.31
10	0.1000	0.90	1.13	121.70	137.52	121.17	136.92
25	0.0400	0.96	1.13	140.41	158.66	139.77	157.94
50	0.0200	0.98	1.13	153.11	173.01	152.36	172.17
75	0.0133	0.99	1.13	160.13	180.95	159.3	180.01
100	0.0100	0.99	1.13	164.96	186.40	164.07	185.40

Figura 5.5 Estimacion de precipitaciones utilizando coeficiente de realcion OMM

MODELO DE DICK PESCHKE							
$P_d = P_{24h} * \left[\frac{d}{1440} \right]^{0.25}$							
Duracion (Minutos)	Precipitacion en 24 Horas (mm)						
	86.20	118.87	137.52	158.66	173.01	180.95	186.40
	PERIODO DE RETORNO EN AÑOS						
	2	5	10	25	50	75	100
	Precipitación (mm)						
5	20.926	28.855	33.383	38.514	41.998	43.924	45.249
10	24.885	34.315	39.700	45.801	49.945	52.235	53.810
15	27.540	37.975	43.935	50.687	55.273	57.807	59.551
20	29.594	40.807	47.211	54.467	59.394	62.118	63.992
25	31.291	43.148	49.920	57.592	62.802	65.682	67.663
30	32.751	45.161	52.248	60.277	65.731	68.745	70.818
35	34.038	46.935	54.300	62.646	68.313	71.446	73.601
40	35.193	48.528	56.144	64.772	70.632	73.871	76.099
45	36.245	49.979	57.822	66.708	72.743	76.079	78.374
50	37.212	51.312	59.365	68.488	74.685	78.109	80.465
55	38.109	52.550	60.796	70.140	76.485	79.993	82.406
60	38.947	53.705	62.133	71.682	78.167	81.752	84.218
Duracion (Minutos)	PERIODO DE RETORNO EN AÑOS						
	T2	T5	T10	T25	T50	T75	T100
	Intensidad (mm/hr)						
5	251.11	346.26	400.60	462.17	503.98	527.09	542.99
10	149.31	205.89	238.20	274.81	299.67	313.41	322.86
15	110.16	151.90	175.74	202.75	221.09	231.23	238.20
20	88.78	122.42	141.63	163.40	178.18	186.35	191.98
25	75.10	103.56	119.81	138.22	150.72	157.64	162.39
30	65.50	90.32	104.50	120.55	131.46	137.49	141.64
35	58.35	80.46	93.09	107.39	117.11	122.48	126.17
40	52.79	72.79	84.22	97.16	105.95	110.81	114.15
45	48.33	66.64	77.10	88.94	96.99	101.44	104.50
50	44.65	61.57	71.24	82.19	89.62	93.73	96.56
55	41.57	57.33	66.32	76.52	83.44	87.26	89.90
60	38.95	53.71	62.13	71.68	78.17	81.75	84.22

Figura 5.6 Estimacion de CURVAS IDF, Modelo Dick Peschke

Tabla 5.3 Coeficiente de Escorrentía Método Racional (Chow, 1994).

CARACTERÍSTICAS DE LA SUPERFICIE	PERIODO DE RETORNO (AÑOS)					
	2	5	10	25	50	100
Áreas de Cultivo						
Plano, 0 - 2%	0.31	0.34	0.36	0.40	0.43	0.47
Promedio, 2 – 7 %	0.35	0.38	0.41	0.44	0.48	0.51
Pendiente Superior a 7%	0.39	0.42	0.44	0.48	0.51	0.54
Pastizales						
Plano, 0 - 2%	0.25	0.28	0.30	0.34	0.37	0.41
Promedio, 2 – 7 %	0.33	0.36	0.38	0.42	0.45	0.49
Pendiente Superior a 7%	0.37	0.40	0.40	0.46	0.49	0.53
Bosques						
Plano, 0 - 2%	0.22	0.25	0.28	0.31	0.35	0.39
Promedio, 2 – 7 %	0.31	0.34	0.36	0.40	0.43	0.47
Pendiente Superior a 7%	0.35	0.39	0.41	0.45	0.48	0.52

Los valores de la Tabla son los estándares utilizados en Austin Texas.

Tabla 5.4 Estimacion de parametro Kt de la diferentes Distribuciones

Distribucion	(K _T)
Z Normal	Usando Tabla
Log Normal	$k_T = \frac{\exp\{z_T[\ln(1 + C_{vx}^2)]^{0.5} - 0.5 \ln(1 + C_{vx}^2)\} - 1}{C_{vx}}$
Gumbel	$k_T = -0.45 - 0.7797 \ln\{-\ln[F(x)]\}$
Pearson III	$K_T = Z_T + (Z_T^2 - 1) \left(\frac{g_x}{6}\right) + \frac{1}{3}(Z_T^3 - 6Z_T) \left(\frac{g_x}{6}\right)^2 - (Z_T^2 - 1) \left(\frac{g_x}{6}\right)^3 + (Z_T) \left(\frac{g_x}{6}\right)^4 - \frac{1}{3} \left(\frac{g_x}{6}\right)^5$