



**Realización de una simulación de inundaciones en una cuenca hidrográfica,
mediante herramienta SIG y UAV, de forma que sirva como insumo para la
correcta gestión del riesgo en la zona.**

Juela Banshuy, Angélica Liliana

Departamento de Ciencias de la Tierra y de la Construcción

Carrera de Ingeniería Civil

Trabajo de titulación, previo a la obtención del título de Ingeniera Civil

M.Sc. Sinde González, Izar

06 de abril del 2021



Urkund Analysis Result

Analysed Document: PROYECTO_JUELA_ANGELICA_CORREGIDO (1).pdf (D100625162)
Submitted: 4/5/2021 3:08:00 AM
Submitted By: iisinde@espe.edu.ec
Significance: 2 %

Sources included in the report:

CARACTERIZACIÓN DEL RÉGIMEN HIDROLÓGICO-HIDRAÚLICO EN LA OBRA DE FÁBRICA
EMPLAZADA EN LA QUEBRADA SIBAUUCU UBICADA EN EL BARRIO BELLAVISTA, PARROQUIA
PUENGASÍ.docx (D25648674)

Tesis_Rio_Jama_V003.docx (D39163973)

<https://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/4472/1/TESINA.pdf>

Instances where selected sources appear:

9





Departamento de Ciencias de la Tierra y de la Construcción

Carrera de Ingeniería Civil

Certificación

Certifico que el trabajo de titulación: **“Realización de una simulación de inundaciones en una cuenca hidrográfica, mediante herramienta SIG y UAV, de forma que sirva como insumo para la correcta gestión del riesgo en la zona.”** fue realizado por la señorita **Juela Banshuy, Angélica Liliana**; el mismo que cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, además ha sido revisado y analizado en su totalidad por la herramienta de verificación de similitud de contenidos; razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que se lo sustente públicamente.

Sangolquí, 26 de marzo del 2020.

Firma:



Firmado electrónicamente por:
IZAR SINDE
GONZALEZ

M.Sc. Sinde González, Izar

C. C. 1756491278.



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y DE LA CONSTRUCCIÓN
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

RESPONSABILIDAD DE AUTORÍA

Yo, Juela Banshuy, Angélica Liliana con cédula de ciudadanía n° 172392345-2, declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: **Realización de una simulación de inundaciones en una cuenca hidrográfica, mediante herramienta SIG y UAV, de forma que sirva como insumo para la correcta gestión del riesgo en la zona,** es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos, y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Sangolqui, 26 de marzo 2021

Firma:

Juela Banshuy, Angélica Liliana

C.C.:1723923452



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y DE LA CONSTRUCCIÓN
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN

Yo, Juela Banshuy, Angélica Liliana con cédula de ciudadanía n° 172392345-2, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: **Realización de una simulación de inundaciones en una cuenca hidrográfica, mediante herramienta SIG y UAV, de forma que sirva como insumo para la correcta gestión del riesgo en la zona, en el Repositorio Institucional**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad.

Sangolqui, 26 de marzo 2021

Firma:

Juela Banshuy, Angélica Liliana

C.C.:1723923452

Dedicatoria

A Dios, por ser la luz que ha guiado siempre mi camino.

A mis padres, ejemplo de perseverancia, honestidad, humildad y amor; por ser siempre mi gran apoyo.

A mis hermanos, por su cariño y complicidad.

A toda mi familia, por enseñarme que por sobre todas las cosas siempre será lo más valioso.

Agradecimiento

A Dios, por ser mi guía en toda esta etapa, por demostrarme que no importa que tan grandes sean nuestros sueños, todos se pueden cumplir.

A mis padres, por todo su amor, apoyo y comprensión en todo momento, por no permitir que me dé por vencida camino a mi meta. Por ser siempre ese ejemplo de responsabilidad y perseverancia. Todos mis logros serán siempre por y para ustedes.

A mis hermanos, por ser mis primeros grandes amigos y confidentes, porque aunque somos totalmente diferentes compartimos un sinfín de aventuras entre risas y llantos.

A mis abuelos, por todo su cariño y afecto, en todo momento.

A mi director de proyecto, por el apoyo brindado a lo largo de este proyecto y haberme incentivado a explorar un nuevo campo de conocimiento, demostrándome que siempre es bueno aprender nuevas cosas.

Tabla de contenido

Urkund.....	2
Certificación	3
Responsabilidad de Autoría	4
Autorización de publicación.....	5
Dedicatoria	6
Agradecimiento.....	7
Resumen.....	18
Abstract.....	19
Capítulo I.....	20
Generalidades.....	20
Introducción.....	20
Antecedentes	20
Planteamiento del problema	22
Justificación.....	23
Objetivos.....	24
Objetivo general	24
Objetivos específicos.....	24
Capítulo II.....	25
Marco teórico	25
ArcGIS.....	25
Hec-GeoRAS.....	26

Hec-RAS.....	26
Programa SIGTierras	27
Morfometría de la cuenca hidrográfica	28
Coeficiente de compacidad	29
Coeficiente de forma	29
Método de Alvord	30
Densidad de drenaje	31
Tiempo de concentración	31
Precipitación	32
Precipitación media anual.....	32
Precipitación máxima probable	32
Periodo de retorno.....	33
Intensidad de precipitación.....	33
Coeficiente de escorrentía	33
Coeficiente de rugosidad Manning.....	34
Caudal.....	35
ArcGIS Network Analyst.....	37
Red	37
Tipos de redes.....	38
Redes geométricas.....	38
Redes de transporte	38

	10
Reguladores de una red.....	38
Distancia	38
Tiempo.....	39
Capítulo III.....	40
Procesamiento de información cartográfica.....	40
Ubicación del proyecto.....	40
Información cartográfica.....	40
Polígono de la cuenca hidrográfica.....	41
Modelo digital del terreno	41
Generación de curvas de nivel.....	42
Modelo de elevación.....	43
Mapa de pendientes	44
Generación de la red hidrológica	45
Capítulo IV	47
Cálculo de parámetros morfométricos	47
Superficie y forma	47
Área y perímetro de la cuenca	47
Longitud de la cuenca	47
Gradiente altimétrico de la cuenca.....	48
Coeficiente compacidad	48
Coeficiente de forma	49

	11
Equidistancia entre curvas de nivel.....	49
Sumatoria de las curvas de nivel de la cuenca	49
Pendiente de la cuenca.....	50
Mediciones en ArcMap.	50
Método de Alvord.....	51
Red hidrográfica y sistema fluvial	51
Longitud total de los cauces.....	51
Longitud del río principal	52
Gradiente altimétrica del río principal.....	52
Sumatoria de la longitud de los afluentes	53
Densidad de drenaje	53
Perfil longitudinal del río principal	54
Pendiente bruta del río.	55
Pendiente suavizada del río.	55
Capítulo V	58
Diseño Hidráulico.....	58
Tiempos de concentración.....	58
Método para descarte de tiempos malos.....	58
Información hidrometereológica.....	59
Precipitación media anual.....	60
Precipitación máxima probable.....	61

	12
Intensidad	62
Coeficiente de escorrentía	65
Coeficiente de rugosidad Manning	65
Caudales	66
Caudal medio.....	66
Caudal mínimo.....	66
Caudal ecológico	66
Caudal máximo.....	67
Método racional.	67
Método Sandoval.	67
Capítulo VI	68
Modelado en Hec-GeoRAS Y Hec-RAS	68
Procesamiento de información en Hec-GeoRAS	68
Generación del cauce del río	68
Delimitación de bancos de río	69
Creación de las secciones transversales.....	70
Modelamiento en HEC-RAS	70
Geometría del cauce	71
Caudal de diseño.....	73
Datos para corrida final	74
Resultados del proceso.....	74

Capítulo VII	77
Generación de rutas de evacuación con software GIS.....	77
Creación de nodos y ejes viales	78
Cálculo de campos.....	79
Nombre de las vías y sus características	79
Distancia del elemento vial.....	79
Sentido vial	79
Jerarquía de vías.....	79
Tiempo en minutos	81
Creación de un Network Dataset a partir de un feature class	83
Análisis de la ruta más corta.....	84
Conclusiones.....	86
Recomendaciones	88
Bibliografía	89
Anexos	94

Índice de Tablas

Tabla 1 Valores del coeficiente de compacidad	29
Tabla 2 Valores del coeficiente forma.....	29
Tabla 3 Rango de valores para densidad de drenaje.....	31
Tabla 4 Fórmulas para calcular el tiempo de concentración de acuerdo con distintos autores	32
Tabla 5 Valores del coeficiente K3	34
Tabla 6 Valores del coeficiente de rugosidad de Manning (n). Ven Te Chow. 1959.....	35
Tabla 7 Fórmulas para caudales medio, mínimo, ecológico y máximo.	36
Tabla 8 Resumen de parámetro morofmetricos.	56
Tabla 9 Cálculo de los tiempos de concentración	58
Tabla 10 Comprobación de los tiempos de concentración	59
Tabla 11 Información estación meteorológica M0167 Jama.....	60
Tabla 12 Datos de precipitación diaria M167	61
Tabla 13 Cálculos para hallar la desviación estándar	62
Tabla 14 Intensidades máximas estación Jama M0167	63
Tabla 15 Ecuaciones para el cálculo de la intensidad	64
Tabla 16 Valores de intensidad para diferentes periodos de retorno	64
Tabla 17 Clasificación según desempeño de las carreteras.....	80

Índice de Figuras

Figura 1	Inundación presentada en localidad de Jama, tras fuertes precipitaciones	23
Figura 2	Uso de ArcGIS para la creación de información geográfica	25
Figura 3	Aplicación de la extensión Hec-GeoRAS.....	26
Figura 4	Pantalla principal del software HEC-RAS	27
Figura 5	Plataforma de descarga de información de SIGTierras	28
Figura 6	Esquema de análisis para el cálculo de la pendiente por el método de Alvord30	
Figura 7	Ejemplo de red vial.	37
Figura 8	Ubicación de la cuenca hidrográfica de estudio	40
Figura 9	Polígono de la cuenca hidrográfica.....	41
Figura 10	Modelo digital del terreno de la cuenca hidrográfica	42
Figura 11	Generación de las curvas de nivel en la cuenca hidrográfica	43
Figura 12	Modelo de elevación de la cuenca hidrográfica.....	44
Figura 13	Mapa de pendientes de la cuenca hidrográfica	45
Figura 14	Red hidrológica de la cuenca hidrográfica.....	46
Figura 15	Datos de área y perímetro de la cuenca obtenidos en ArcGIS.....	47
Figura 16	Longitud de la cuenca medida en ArcGIS	48
Figura 17	Tabla de atributos de las curvas de nivel de la cuenca.....	50
Figura 18	Pendiente de la cuenca calculada con ArcGIS.....	51
Figura 19	Medida total de los cauces realizada en ArcGIS	52
Figura 20	Longitud del río principal tomada de ArcGIS	52
Figura 21	Sumatoria de la longitud de los afluentes medida en ArcGIS	53
Figura 22	Perfil longitudinal del río generado en ArcGIS.....	54
Figura 23	Pendiente del río principal	55

Figura 24 Estación meteorológica M167	60
Figura 25 Curva de intensidad, duración y frecuencia estación M0167	63
Figura 26 Generación del cauce del río para Hec-GeoRAS.....	68
Figura 27 Delimitación de bancos del rio	69
Figura 28 Direccionamiento del flujo del cauce.....	69
Figura 29 Creación de las secciones transversales.....	70
Figura 30 Creación de la geometría importada de ArcGIS.....	71
Figura 31 Incorporación del coeficiente de rugosidad de Manning para la geometría del cauce.....	72
Figura 32 Revisión de los datos de cada una de las secciones transversales	73
Figura 33 Introducción del caudal máximo de diseño en HEC-RAS	73
Figura 34 Corrida final acerada de los datos en HEC-RAS.....	74
Figura 35 Resultados en perspectiva HEC-RAS	75
Figura 36 Resultados de inundación en la sección transversal mostrados en HEC-RAS	75
Figura 37 Polígonos de inundación generados en poblaciones aledañas.	76
Figura 38 Mancha de inundación generada en la población de Jama.	76
Figura 39 Ubicación y trazado del polígono de la zona de estudio.	77
Figura 40 Creación de los nodos.....	78
Figura 41 Creación de los ejes viales.....	78
Figura 42 Carretera de mediana capacidad.....	80
Figura 43 Camino básico.....	80
Figura 44 Camino básico.....	80
Figura 45 Campos de ejes viales en la tabla de atributos.	82

Figura 46 Creación de un Network Dataset.	83
Figura 47 Creación de la ruta mas corta.	84
Figura 48 Creación de rutas con indicaciones y mapa.	85

Resumen

Uno de los factores de riesgo para una cuenca hidrográfica es sin duda la presencia de inundaciones, las cuales al sumarse al desmesurado incremento demográfico en la cuenca, la convierten en una zona de riesgo. Aunque la probabilidad de ocurrencia de este fenómeno natural difiere con respecto a varios parámetros de la cuenca como: ubicación, geografía, factores climáticos, entre otros; las inundaciones pueden o no presentarse, motivo por el cual es importante contar con las herramientas y planificación necesaria para proteger a la población vulnerable. Es así como en este trabajo de la Unidad de Integración Curricular de la Carrera de ingeniería Civil se pretende realizar una simulación de inundaciones en una cuenca hidrográfica, mediante herramienta SIG, de forma que sirva como insumo para la correcta gestión de riesgos en la zona. Para lo cual se realizará un análisis bibliográfico a detalle para la búsqueda de información, se recopilarán datos de la zona de estudio con la ayuda de departamentos gubernamentales como SIGTierras y se determinarán parámetros morfométricos de la cuenca, además de su hidrología con la ayuda de herramientas SIG, para a su vez poder determinar las áreas de inundación en la misma. A través de este trabajo se pretende generar rutas de evacuación de las zonas de riesgo para la simulación de evacuación, lo cual será de gran ayuda para la población de la zona de estudio.

- Palabras clave:

- **HERRAMIENTAS SIG**
- **CUENCA HIDROGRÁFICA**
- **PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS**
- **INUNDACIÓN**
- **RUTAS DE EVACUACIÓN**

Abstract

One of the risk factors for a watershed is undoubtedly the presence of flooding, which, by joining the excessive population increase in the basin, make it a risk zone. Although the probability of occurrence of this natural phenomenon differs from several parameters of the basin such as: location, geography, climatic factors, among others; flooding may or may not occur, which is why it is important to have the tools and planning to protect vulnerable people. This is how this work of the Curriculum Integration Unit of the Civil Engineering Career aims to perform a flood simulation in a watershed, using GIS tool, so that it serves as input for the correct risk management in the area. For which a detailed bibliographic analysis will be carried out for the search for information, data will be collected from the study area with the help of government departments such as SIGTierras and morphometric parameters of the basin will be determined, in addition to its hydrology with the help of GIS tools, in turn to be able to determine the flood areas in it. Through this work it is intended to generate evacuation routes of the risk zones for the evacuation simulation, which will be of great help to the population of the study area.

- Keywords:

- **SIG TOOLS**
- **WATERSHED**
- **MORPHOMETRIC PARAMETERS**
- **FLOOD**
- **EVACUATION ROUTES**

Capítulo I

Generalidades

Introducción

El presente estudio realiza una recopilación de información cartográfica de la ciudad de Jama, provincia de Manabí, la cual con la ayuda del software ArcGIS, permite obtener un modelo digital del terreno, con el que se podrá determinar la cuenca hidrográfica que cubre al río con el nombre de la misma ciudad, para posteriormente obtener los parámetros morfométricos de la misma; además con la ayuda de la información hidrometeorológica del sector, se desarrollará un estudio hidráulico de la zona la cual acompañada del uso de herramientas SIG (Hec-GeoRAS y Hec-RAS), se podrán establecer los parámetros de diseño necesarios para encontrar los polígonos de inundación del sector y así posteriormente generar las respectivas rutas de evacuación.

Antecedentes

En nuestro país los daños que provocan las inundaciones en zonas propensas ante este fenómeno son inmensurables, generando problemas en la infraestructura, zonas agrícolas y ganaderas; por ende el sector económico de la población es sumamente afectado, aunque en muchas ocasiones estos daños pueden ser mínimos ante la pérdida de vidas humanas.

Una de las regiones más propensas a sufrir grandes inundaciones es el litoral ecuatoriano, ya que presenta una serie de planicies, llanos y pequeños cerros en su topografía, la cual acompañada de grandes precipitaciones genera que los ríos crezcan y desborden su cauce, inundando varios sectores urbanos y rurales.

Como lo menciona (Guacho Mueses & Morales Alquina, 2018), la zona de estudio en esta ocasión Jama, contempla grandes caudales en la época de invierno,

generando inundaciones a lo largo de los poblados afectando a las infraestructuras y habitantes. Motivo por el cual dichos caudales son manejados con el software Hec-RAS para generar las características hidráulicas de la zona.

En nuestro país los mapas temáticos de inundación ya son realizados con mayor frecuencia con software GIS, como lo realizado por (CARPIO RUGEL , 2018), el cual presenta una metodología propuesta para la obtención de los mapas temáticos de inundación que con la implementación del modelo matemático Hydrologic Engineering Center- River Analyst System (Hec-Ras) se modeló el comportamiento del río Catarama en la provincia de los Ríos, para la obtención de resultados como calados con lo que finalmente se determinan los mapas de inundación.

De la misma manera en la provincia de los Ríos se desarrolló por (Solano Zúñiga & Vintimilla Villavicencio, 2013) un estudio fluviomorfológico del Río Vinces con los cual se determinó el área de inundación de la zona de influencia del proyecto Pacalori, en el cual del mismo modo se empleó el software ArcGIS, Hec-RAS y Hec-GeoRAS. Cabe destacar que este proyecto fue incluido en el Plan de Aprovechamiento y Control de Agua de la provincia de Los Ríos, el cual comprende un conjunto de obras que conformaban trasvases que sirven para proveer de agua en el desarrollo agrícola, para el abastecimiento de agua en poblaciones urbanas y rurales y permite el control de las crecientes en el área de Vinces - Babahoyo y Guayaquil. (Empresa Pública del Agua). Con el desarrollo de este tipo de proyectos se puede observar que el estudio de áreas de inundación sirve para manejar crecidas, lo cual permite aprovechar el recurso agua y controlar caudales; permitiendo realizar planes de acción ante fenómenos de inundación.

En la actualidad los planes de acción gubernamentales ante fenómenos naturales, cumple un papel de vital importancia ya que salvaguardar vidas es el objetivo

principal de todo plan de acción; motivo por el cual la creación de mapas de inundación y rutas de evacuación son indispensables en zonas propensas a este fenómeno. En nuestro país ya existen mapas de inundación de muchas zonas vulnerables, pero la generación de rutas de evacuación es un tema un poco ambiguo y falto por desarrollar.

Planteamiento del problema

La ciudad de Jama presenta meses de grandes precipitaciones en especial dentro del primer trimestre del año, además de una topografía irregular en donde se identifican varios sectores de planicies y pequeños cerros, al combinar estos factores es indudable la presencia de inundaciones.

Los fuertes temporales de la región, acompañados de un terreno inestable provocan deslizamientos que empeoran aun los daños producidos por la inundación, generando que muchas vías de acceso y salida a los poblados se cierren; motivo por el cual muchas veces el personal de socorro no puede acceder de manera inmediata a los sectores afectados, retrasando no solo las medidas de evacuación, sino además poniendo en riesgo la vida de las personas que no han logrado resguardarse en zonas de encuentro seguras.

Según (UNIVERSO, 2020), en febrero del 2020, el Comité de Operaciones Emergentes (COE) del cantón Jama, declaro en emergencia a este cantón como medida preventiva para evacuar a las familias que estaban más cerca a los sectores de inundación y deslizamientos que provoco el fenómeno; aunque no existieron pérdidas humanas, varias casas y calles sufrieron los estragos del temporal.

Figura 1

Inundación presentada en localidad de Jama, tras fuertes precipitaciones



Nota. Tomado de: (UNIVERSO, 2020)

Como se puede observar en la figura anterior, los daños y perjuicios que provoca una inundación en sectores urbanos y rurales, es sumamente destructivo, no solo porque afecta a las distintas infraestructuras sino además porque pone en riesgo la vida de los pobladores, motivo por el cual es indispensable la creación de modelos de inundación con sus respectivas rutas de evacuación.

Justificación

El litoral ecuatoriano siempre será afectado por la presencia de fuertes precipitaciones, debidamente justificadas por sus condiciones meteorológicas e influenciadas por el cambio climático de los últimos años; las cuales acompañadas de una topografía irregular y sistemas de drenajes ineficientes provocaran la presencia de inundaciones; no solo en zonas urbanas sino además en zonas rurales en donde se afectan conjuntamente a zonas agrícolas y ganaderas, generando grandes pérdidas en la población.

El presente estudio busca conocer la topografía y redes hidrológicas de los sectores aledaños a la población de Jama, delimitar su cuenca hidrográfica y así con la ayuda de datos hidrometeorológicos, llegar a determinar zonas de inundación que pueden afectar a los poblados cercanos, para posteriormente poder determinar rutas de evacuación adecuadas.

Para un estudio más detallado y específico se ha visto adecuado el uso de herramientas SIG, las cuales permitirán visualizar de mejor manera los resultados de inundación y evacuación.

Objetivos

Objetivo general

Realizar una simulación de inundaciones en una cuenca hidrográfica, mediante herramienta SIG y UAV, de forma que sirva como insumo para la correcta gestión del riesgo en la zona.

Objetivos específicos

- Estudio de las fuentes bibliográficas y recopilación de información.
- Recolección y procesamiento de datos de la zona de estudio.
- Cálculo de los parámetros morfométricos de la cuenca con herramientas SIG.
- Determinación de las áreas de inundación con software SIG y cuantificación de las parcelas afectadas.
- Propuesta de las rutas de evacuación mediante software SIG.

Capítulo II

Marco teórico

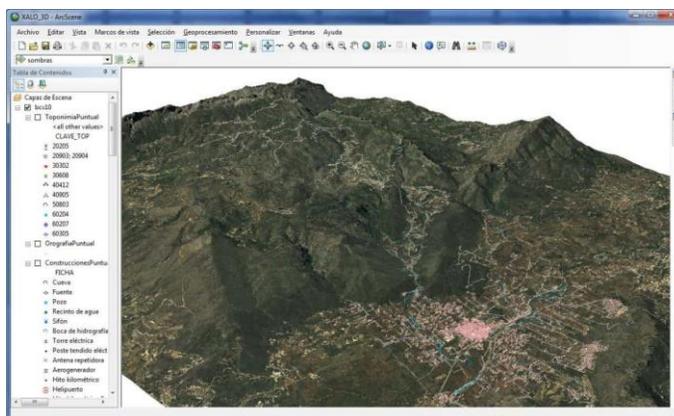
ArcGIS

Es una tecnología de referencia en los Sistemas de Información Geográfica (SIG). Según (Bermejo, 2014) es una herramienta que permiten crear, manipular, editar, analizar y distribuir la información geográfica. Además está pensado y diseñado para ejecutar cada una de las fases de un proyecto SIG. Algunas de las funcionalidades que nos permite esta herramienta son:

- Creación de datos geográficas con información digitalizada.
- Generación de cuencas hidrográficas.
- Diseño y cálculo de redes hidráulicas.
- Visualizaciones espaciales en 2D y 3D.
- Creación de mapas geográficos de todo tipo.

Figura 2

Uso de ArcGIS para la creación de información geográfica



Nota. Representación de información para el cálculo del modelo digital de terreno

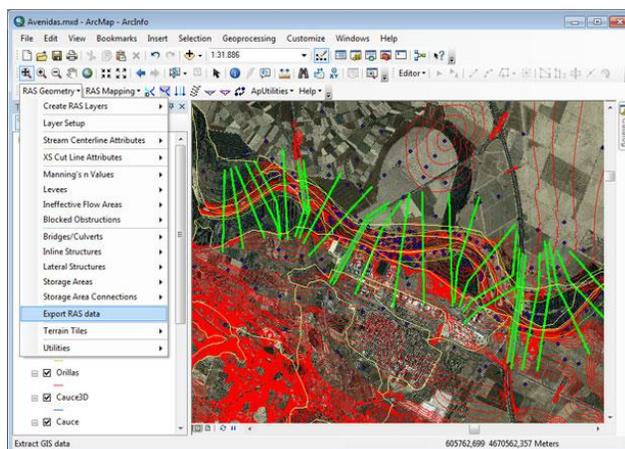
tomado de: (Bermejo, 2014)

Hec-GeoRAS

Es una de las extensiones que presenta el software ArcGIS, el cual sirve para desarrollar y generar información hidrológica, el cual permite preparar datos hidrológicos en ArcMap, para posteriormente exportar a HEC-RAS, en donde se incorpora datos hidrológicos. Con la ayuda de esta extensión se pueden determinar límites de cauces, zonas de flujo, trazados longitudinales o transversales, entre otro. (GIS&Beers, 2016)

Figura 3

Aplicación de la extensión Hec-GeoRAS



Nota. Uso de Hec-GeoRAS para trazados transversales. Tomado de: (GIS&Beers, 2016)

Hec-RAS

Según (Benayas Polo, 2016), es un programa de modelización hidráulica que puede realizar varios análisis en un río como puede ser:

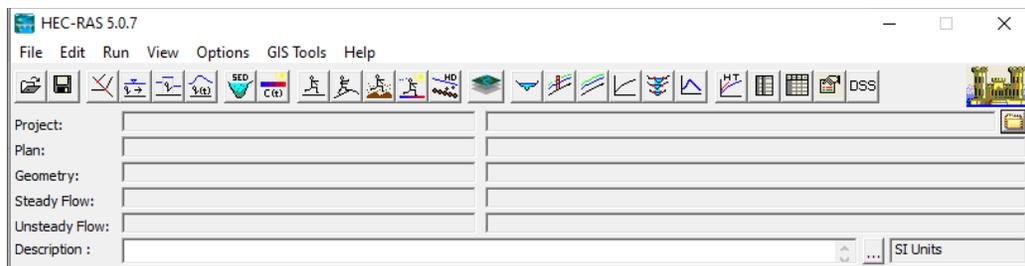
- Modelación de flujo en régimen permanente
- Modelación de flujo en régimen no permanente
- Modelación del transporte de sedimentos

- Análisis de calidad de aguas

Este programa permite simular los flujos en cauces para determinar el nivel de agua en periodos de tiempo que indique el usuario con la ayuda de datos hidráulicos que son previamente calculados.

Figura 4

Pantalla principal del software HEC-RAS



Nota. El software permite calcular geometrías, introducir caudales y controlar niveles de agua. Tomado de: (Benayas Polo, 2016)

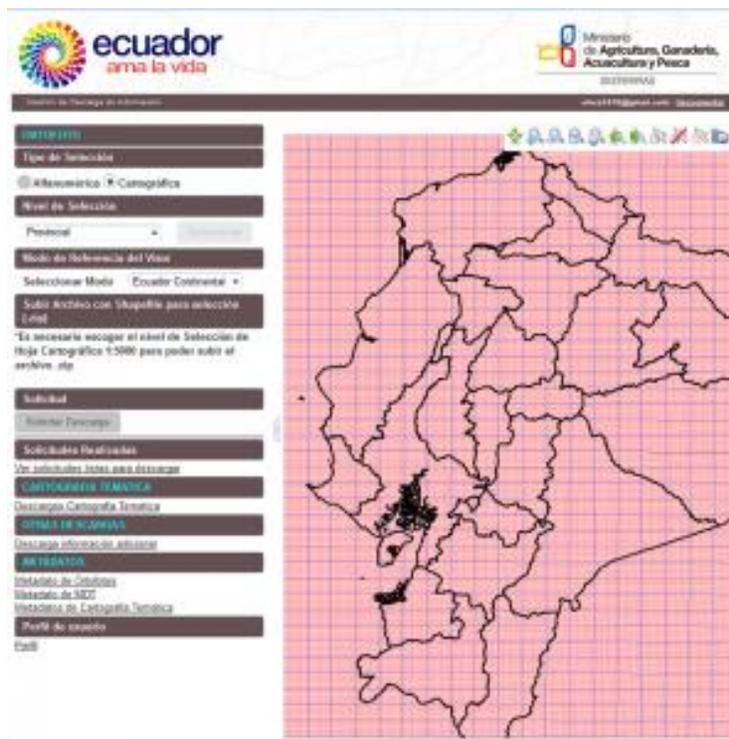
Programa SIGTierras

El Sistema Nacional de Información y Gestión de Tierras Rurales e Infraestructura Tecnológica, SIGTierras, es un programa desarrollado por el Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca, el cual tiene como objetivo la regularización, planificación y ordenamiento territorial. (Ganadería, 2020)

Este programa brinda información acerca de ortofotografías, modelo digital de terreno (MDT), mapas de geomorfología, cobertura uso de tierra, memorias técnicas, mapas, metadatos, etc.

Figura 5

Plataforma de descarga de información de SIGTierras



Nota. En la plataforma de SIGTierras se puede descargar modelos digitales de terrenos y ortofotografías. Tomado de: (Ganadería, 2020)

Morfometría de la cuenca hidrográfica

Se refiere a las características físicas de una cuenca, la cual tiene una relación con los caudales que circulan por el río al que delimita, al conjunto de estimaciones realizadas se los denomina parámetros morfométricos los cuales se refieren al estudio de un conjunto de variables lineales, de superficie, relieve y drenaje; las cuales permiten conocer las características de la cuenca a estudiarse. (Lux Cardona, 2016)

Lo parámetros morfométricos de la cuenca son: área, perímetro, longitud, gradiente altimétrico, coeficiente de compacidad, coeficiente de forma y pendiente de la cuenca.

Coeficiente de compacidad

También denominado como índice de Gravelius, este parámetro adimensional permite establecer la relación entre el perímetro de la cuenca con el área de esta, así permite indicar el tipo de cuenca que se puede obtener.

$$K_c = 0,28 * \frac{P}{\sqrt{A}}$$

Tabla 1

Valores del coeficiente de compacidad

kc	Tipo de cuenca
1 < kc < 1,25	Casi redonda a oval redonda
< kc < 1,50	Oval redonda a oval oblonga
1,50 < kc < 1,75	Oval oblonga a rectangular oblonga
Kc > 1,75	Rectangular

Nota. Valores del coeficiente Kc indican el tipo de cuenca. Recuperado de: (Camino , Cionchi , López de Armentia, Del Río, & De Marco, 2018)

Coeficiente de forma

Es un factor adimensional que expresa la relación entre el ancho promedio de la cuenca y su longitud. Indica además la forma que tiene la cuenca.

$$K_F = \frac{A_C}{L_R^2}$$

Tabla 2

Valores del coeficiente forma

Valores aproximados	Forma de la cuenca
< 0,22	Muy alargada
0,22 – 0,30	Alargada
0,30 – 0,37	Ligeramente alargada
0,37 – 0,45	Ni alargada, ni ensanchada
0,45 – 0,60	Ligeramente ensanchada

0,60 – 0,80	Ensanchada
0,80 – 1,20	Muy ensanchada
>1,20	Rodeando el desagüe

Nota. Valores del coeficiente de forma indican la forma de la cuenca. Recuperado de:

(Dokumen, 2015)

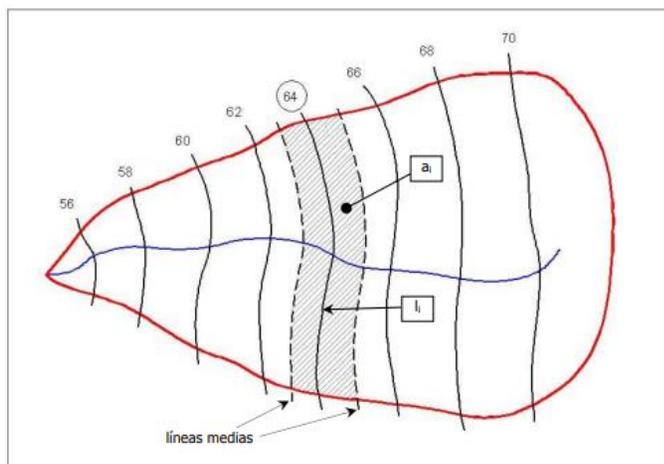
Método de Alvord

Analiza la pendiente existente entre curvas de nivel, trabajando con la faja definida por líneas medias que pasan entre las curvas de nivel. En esta se relaciona la equidistancia entre curvas de nivel (E_q), la sumatoria de la longitud de las curvas internas ($\sum l_i$) que encierra la cuenca hidrográfica y el área de esta. El resultado de la pendiente se expresa en %.

$$Y_c = \frac{E_q * \sum l}{A_c} * 100$$

Figura 6

Esquema de análisis para el cálculo de la pendiente por el método de Alvord



Nota. La grafica representa el área de la cuenca hidrográfica, acompañada de las curvas de nivel cada 2m. Además del área interna entre curvas de nivel (a_i). Tomado

de: (hidráulica, 2016)

Densidad de drenaje

Es la relación entre la longitud de los cursos de agua perennes, intermitentes y efímeros, de una cuenca y su propia área. A mayor densidad de drenaje, el tiempo de escorrentía es menor. Su valor es expresado en $\left(\frac{km}{km^2}\right)$.

$$D_d = \frac{L_r + \sum l_i}{A_c}$$

Tabla 3

Rango de valores para densidad de drenaje

Rangos de densidad de drenaje $\left(\frac{km}{km^2}\right)$	Tipo de drenaje
0,1 < Dd < 1,8	Bajo
1,9 < Dd < 3,6	Moderado
3,7 < Dd < 5,6	Alto
Dd > 5,6	Muy alto

Nota. Los valores representan los rangos de valores para cada tipo de drenaje.

Recuperado de: (Camino , Cionchi , López de Armentia, Del Río, & De Marco, 2018)

Tiempo de concentración

Se define como el tiempo mínimo necesario para que todos los puntos de una cuenca estén aportando agua de escorrentía de forma simultánea al punto de salida o desagüe. (Villegas, 2014). En otras palabras es el tiempo que tarda en llegar el agua desde el punto más alejado de la cuenca hasta el punto de salida o desagüe. Existen varios métodos para calcular este parámetro, cada uno relaciono distintos parámetros morfométricos de la cuenca como son: la longitud del cauce principal, pendiente del río, pendiente de la cuenca, etc. En la siguiente tabla se indica algunas de las fórmulas para calcular el tiempo de concentración.

Tabla 4

Fórmulas para calcular el tiempo de concentración de acuerdo con distintos autores

Autor	Fórmula	Unidades
Kirpich	$T_c = 0,02 * L^{0,77} * S^{-0,385}$	$T_c = \text{min}$ $L = \text{longitud del río (m)}$ $S = \text{pendiente del río(m/m)}$
Giandoti	$T_c = \frac{4 * \sqrt{A} + 1,5 * L}{0,8 * \sqrt{H}}$	$T_c = \text{horas}$ $A = \text{área de la cuenca(km}^2\text{)}$ $L = \text{longitud del río (km)}$ $H = \text{gradiente altimétrico del río (m)}$
Ven Te Chow	$T_c = 60 * 0,8773 * \left(\frac{L_r}{\sqrt{Y_{rb}}}\right)^{0,64}$	$T_c = \text{min}$ $L = \text{longitud del río (km)}$ $Y_{rb} = \text{pendiente del río(\%)}$
Témez	$T_c = 0,30 * \left(\frac{L_r}{Y_{rb}^{0,25}}\right)^{0,76}$	$T_c = \text{horas}$ $L = \text{longitud del río (km)}$ $Y_{rb} = \text{pendiente del río(m/m)}$

NOTA. Tabla realizada para la comparación de las distintas fórmulas de tiempos de concentración. Las fórmulas fueron tomadas de: (Villegas, 2014)

Precipitación

Se refiere a la caída de agua desde la atmosfera, en estado líquido o sólido, en definitiva es cualquier tipo de agua que cae sobre la superficie de la tierra. En nuestro medio se puede expresar de diferentes formas, en ella se incluyen: lluvia, llovizna, nieve, granizo.

Precipitación media anual. Es la lámina total que en promedio cae al año en la estación.

Precipitación máxima probable. Se refiere a la mayor cantidad de precipitación meteorológica posible, para una determinada duración, en un área afectada por un

temporal y en una época del año determinada, sin tener en cuenta las tendencias climáticas a largo plazo. (Montero Maté)

Periodo de retorno

Es uno de los parámetros más importantes a considerar cuando se desee crear una obra hidráulica destinada a soportar avenidas. Según (Álvarez Sacoto & Calle Rivera, 2013), se considera al periodo de retorno como el número de años entre la ocurrencia de una tormenta de determinada intensidad y la ocurrencia de otra mayor.

Intensidad de precipitación

La intensidad de precipitación hace referencia a la cantidad de agua registrada en una unidad de tiempo. Normalmente la intensidad es medida en (mm/h). en base a la intensidad percibida se puede clasificar a la lluvia en débil, media o fuerte. (Álvarez Sacoto & Calle Rivera, 2013).

Coefficiente de escorrentía

Según (Ibañes Asensio, Moreno Ramón, & Gisbert Blanquer, 2011) Representa la fracción de agua total de lluvia precipitada que realmente genera escorrentía superficial una vez se ha saturado el suelo por completo. Su valor depende de las características concretas del terreno que determina la infiltración del agua en el suelo.

Existen varios métodos para calcular el coeficiente de escorrentía uno de ellos se desarrolló bajo la autoría de Nadal, el cual indica:

$$C = 0,25 * K1 * K2 * K3$$

K1: factor de la extensión de la cuenca

$$K1 = 3,7 * A^{-0.152} \quad \text{en donde } A, \text{ es el área de la cuenca en (km}^2\text{)}$$

K2: factor de la lluvia media anual

$$K2 = 0,71 * \ln * (P) - 3,51 \quad \text{en donde } P, \text{ es la precipitación media anual en (mm)}$$

K3: factor de la pendiente y de la permeabilidad del suelo

Tabla 5

Valores del coeficiente K3

Características de la cuenca	K3
Cuenca llana y permeable	0,5 - 0,7
Cuenca ondulada	0,5 – 1,2
Cuenca montañosa e impermeable	1,2 – 1,5

Nota. Se escogen los valores de K3 en función a las características de la cuenca.

Tomado de: (Ibañes Asensio, Moreno Ramón, & Gisbert Blanquer, 2011).

Coeficiente de rugosidad Manning

Conocido también como el coeficiente de rugosidad del canal (n), el valor de n es muy variable y depende no solo del material del que se encuentra fabricado, sino además de diversos factores como lo son: tipo de suelo, topografía, vegetación, morfología, irregularidades del cauce, tamaño y forma del canal etc. Razón por la cual varios autores han definido una serie de tablas en donde se encuentran los valores más comunes para determinar este valor y así proceder al cálculo de caudales.

Tabla 6

Valores del coeficiente de rugosidad de Manning (n). Ven Te Chow. 1959

		TIPO DE CANAL	MÍNIMO	NORMAL	MÁXIMO
A. CONDUCTO CERRADO CON ESCURRIMIENTO PARCIALMENTE LLENO	A.1. METÁLICOS	a. Bronce Polido	0.009	0.010	0.013
		b. Acero soldado con remaches	0.010 0.013	0.012 0.016	0.014 0.017
	A.2 NO METÁLICOS	c. Metal corrugado sub - dren	0.017	0.019	0.021
		dren para aguas lluvias	0.021	0.024	0.030
	A.2 NO METÁLICOS	a. Concreto tubo recto y libre de basuras	0.010	0.011	0.013
		tubo con curvas, conexiones afinado	0.011 0.013	0.013 0.015	0.014 0.017
		tubo de alcantarillado con cámaras, entradas.	0.012	0.013	0.014
		Tubo con moldaje de acero.	0.012	0.014	0.016
		Tubo con moldaje madera cepillada	0.012	0.017	0.020
		Tubo con moldaje madera en bruto	0.015	0.017	0.020
		b. Madera	0.010	0.012	0.014
		duelas laminada y tratada	0.015	0.017	0.020
		c. Albañilería de piedra.	0.018	0.025	0.030
	B.1 METAL	a. Acero liso sin pintar	0.011	0.012	0.014
		pintado	0.012	0.013	0.017
		b. Corrugado	0.021	0.025	0.030
C. EXCAVADO		a. Tierra, recto y uniforme nuevo	0.016	0.018	0.020
		grava con algo de vegetación	0.022 0.022	0.025 0.027	0.030 0.033
		b. Tierra, sinuoso sin vegetación	0.023	0.025	0.030
		con malezas y pasto	0.025	0.030	0.033
		maleza tupida, plantas fondo pedregoso - malezas.	0.030 0.025	0.035 0.035	0.040 0.040
		c. Roca suave y uniforme irregular	0.025 0.035	0.035 0.040	0.040 0.050
		d. Canales sin mantención maleza tupida	0.050	0.080	0.120
		Fondo limpio, bordes con vegetación	0.040	0.050	0.080
D. CORRIENTES NATURALES	D.1. CORRIENTES MENORES (ANCHO SUPERF. < 30 m)	a. Rios en planicies rectos, sin zonas muertas	0.025	0.030	0.033
		rectos sin zonas muertas con piedras y malezas	0.030	0.036	0.040
		Sinuoso, vegetación y piedras	0.035	0.045	0.050
		Sinuoso, vegetación y bastante pedregoso	0.045	0.050	0.060
		Abundante vegetación, sinuoso.	0.075	0.100	0.150
		b. Torrentes de montaña, sin vegetación, bordes abruptos.			
		Árboles y arbustos sumergidos	0.030	0.040	0.050
		Parcialmente en crecidas con piedras y Pocas rocas grandes rocas y piedras en el fondo.	0.040	0.050	0.070

Nota. Se muestran únicamente una parte de los valores del coeficiente de rugosidad de Manning. Recuperado de: (Sánchez, 2016)

Caudal

Se define al caudal como el volumen de líquido que circula por unidad de tiempo.

Es decir relaciona los parámetros de la siguiente forma:

$$Q = \frac{V}{T} \left(\frac{m^3}{seg} \right)$$

Siendo:

V : *volumen del líquido*

T : *transición del líquido*

Existen varios métodos para calcular caudales se presentan las fórmulas para el cálculo de caudal medio, mínimo, ecológico y máximo.

Tabla 7

Fórmulas para caudales medio, mínimo, ecológico y máximo.

Caudal	Formula	Unidades
Medio	$Q_0 = \frac{31,71 * P * A * C}{10^6}$	$Q_0 = \text{caudal medio de la cuenca} \left(\frac{m^3}{s} \right)$ $P = \text{precipitación media anual}(mm)$ $A = \text{área de la cuenca} (km^2)$ $C = \text{coeficiente de escorrentía}$
Mínimo	$Q_{min} = \frac{P * A}{10^6}$	$Q_{min} = \text{caudal mínimo de la cuenca} \left(\frac{m^3}{s} \right)$ $P = \text{precipitación media anual}(mm)$ $A = \text{área de la cuenca} (km^2)$
Ecológico	$Q_{ecologico} = k * \frac{P * A}{10^6}$	$Q_{ecologico} = \text{caudal ecológico} \left(\frac{m^3}{s} \right)$ $k = \text{coeficiente adimensional} (1,00 \text{ a } 2,5)$ $P = \text{precipitación media anual}(mm)$ $A = \text{área de la cuenca} (km^2)$
Máximo	<p>Método racional</p> $Q = \frac{C * i * A}{360}$	$Q = \text{caudal máximo en} \left(\frac{m^3}{s} \right)$ $I = \text{intensidad de la lluvia de diseño} \left(\frac{mm}{h} \right)$ $A = \text{área de la cuenca} (ha)$ $C = \text{coeficiente de escorrentía}$
Máximo	<p>Sandoval</p> $Q = \alpha * \frac{P * \sqrt{A}}{(1 + \log(A)) * (0,5 * \ln(T) - 0,7)}$	$Q = \text{caudal máximo en} \left(\frac{m^3}{s} \right)$ $P = \text{precipitación media anual}(mm)$ $A = \text{área de la cuenca} (km^2)$ $T = \text{período de retorno} (\text{años})$ $\alpha = 0,644 - 0,08 * \ln(P) \quad \text{para } P \text{ entre } (500 \text{ a } 2500 \text{ mm})$ $\alpha = 0,1256 * \ln(P) - 0,906 \quad \text{para } P \text{ entre } (2500 \text{ a } 4000 \text{ mm})$

Nota. Las fórmulas que se presentan en la tabla fueron recopiladas de: (Sandoval

Erazo, 2019).

ArcGIS Network Analyst

Es una extensión de ArcGIS, la cual permite realizar un análisis espacial basando en redes de cualquier tipo ya sean estas de reparto, logísticas, servicios más cercanos, áreas de atención de un servicio, etc. (Aguirre Sanz, 2014)

Con el uso de esta herramienta y datos geográficos previos, se pueden modelar redes, analizar sus condiciones y funcionamiento, para posteriormente generar y calcular a partir de las necesidades que solicite el usuario, una serie de rutas como lo son: rutas de emergencia y evacuación basadas en el tiempo de viaje o ruta más eficiente; permite además estudiar la accesibilidad a un punto geográfico concreto, por ejemplo determinar ubicaciones de estaciones de bombero o policía más cercanas a la zona de estudio. (Aguirre Sanz, 2014).

Red

Es un sistema de elementos interconectados, que representan las posibles rutas desde una ubicación a otra. Estos elementos están conectados por nodos y ejes.

Figura 7

Ejemplo de red vial.



Nota. La grafica representa a la red vial estatal de Ecuador. Tomado de: (Distritales, 2020)

Tipos de redes

Redes geométricas

Se consideran redes geométricas a las redes generadas por ríos y servicios (electricidad, gas, desagües conducciones de agua), todas ellas representan el flujo e intercambio al interior de un sistema definido de relaciones. Estas redes se almacenan en una Geodatabase, ya que permiten definir de manera precisa las condiciones de conectividad, circulación y coincidencia topológica, dado el rol fundamental de la geometría en el comportamiento de toda la red geométrica. Son redes rígidas en cuanto a la circulación, pero flexibles en cuanto al diseño y conectividad. (Vega Panta, 2016)

Redes de transporte

Se caracterizan por representar de manera eficaz las principales características de la circulación vehicular a través de un área determinada. En estas redes el flujo es totalmente libre. Algunas de las principales restricciones que se presentan en estas redes son: semáforos, bloqueos de calles, restricciones de circulación, estos parámetros que pueden ser manejados con parámetros definidos por el usuario. (Vega Panta, 2016)

Reguladores de una red

Distancia

Corresponde a la lejanía o proximidad entre dos puntos. Es decir es el espacio desde el punto de vista lineal entre dos objetos, personas, lugares, etc. Se puede considerar tres tipos:

- Distancia euclidiana: distancia en línea recta entre varios puntos.
- Distancia planimétrica: distancia que sigue el sentido de la red, respetando sus características y condiciones.

- Distancia real: distancia ente varios puntos considerando la forma del terreno (topografía).

Tiempo

Es una magnitud que mide la duración de un suceso. En una red vial el tiempo depende de los factores asociadas a las características del vehículo, normativa de velocidades, congestión vehicular, condiciones climatológicas, condiciones topográficas, etc.

Capítulo III

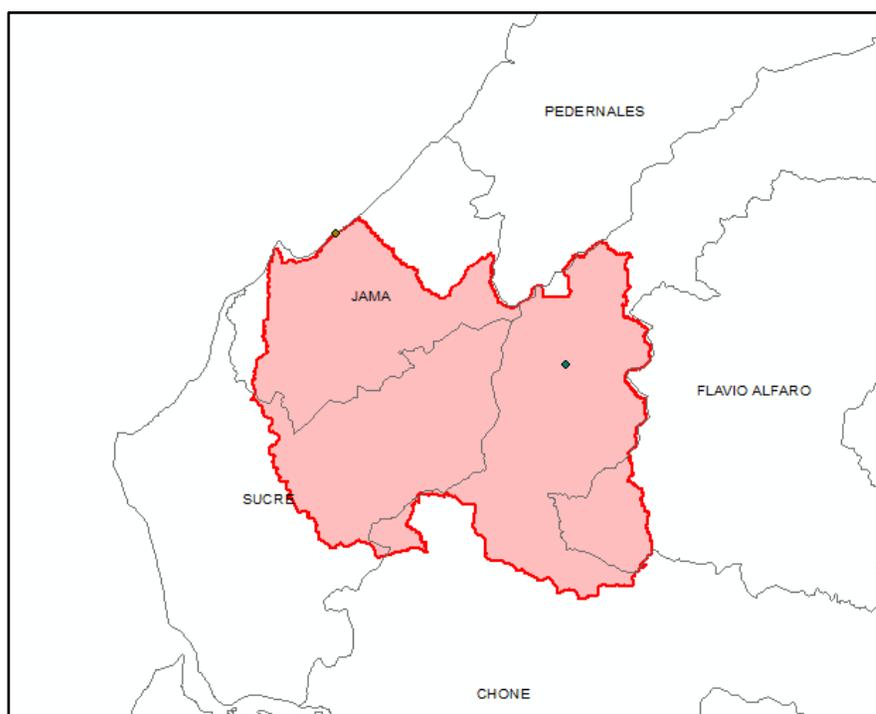
Procesamiento de información cartográfica

Ubicación del proyecto

La zona para desarrollar el estudio se encuentra ubicada en la provincia de Manabí, comprendida entre los cantones de Jama, Flavio Alfaro, Chone y Sucre.

Figura 8

Ubicación de la cuenca hidrográfica de estudio



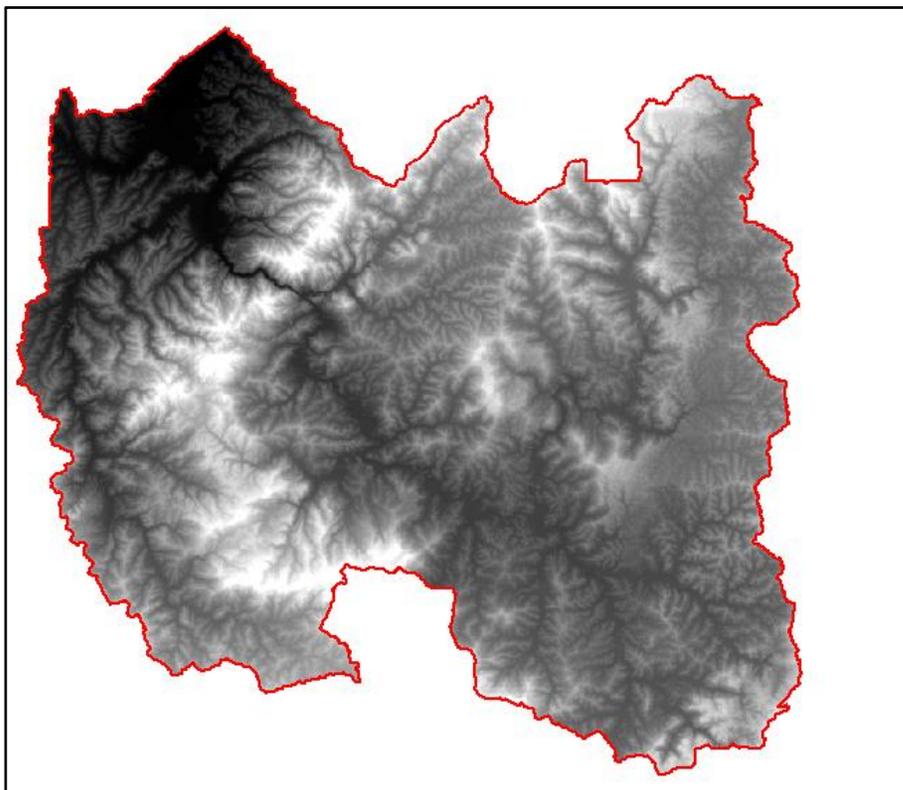
Información cartográfica

Para la obtención del MDT de la zona de estudio, se realizaron varias solicitudes al Departamento del SIGTIERRAS del Ministerio de Agricultura y Ganadería, la información solicitada fue en escala 1:5000.

Para el procesamiento de datos se utilizó el programa ArcMap, el cual sirvió para encontrar los mapas topográficos e hidrológicos.

Figura 10

Modelo digital del terreno de la cuenca hidrográfica

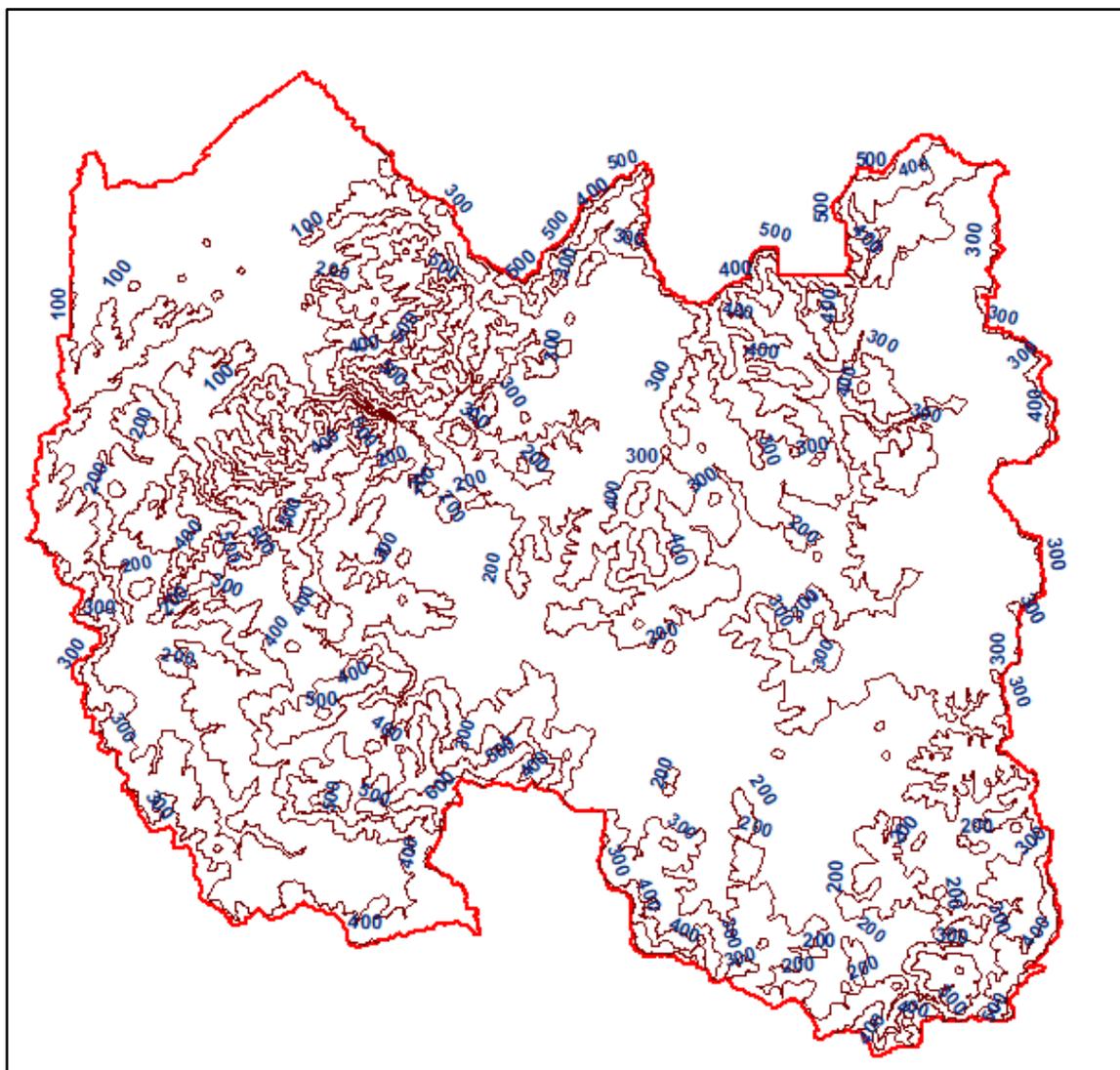


Generación de curvas de nivel

Para este caso al ser un modelo digital de escala 1:5000 se procede a generar curvas de nivel cada 5 metros, para este proceso se usó el ráster del modelo digital de terreno y las herramientas del software ArcGIS. Una vez obtenidas las curvas de nivel se procedió a suavizar su trazado.

Figura 11

Generación de las curvas de nivel en la cuenca hidrográfica

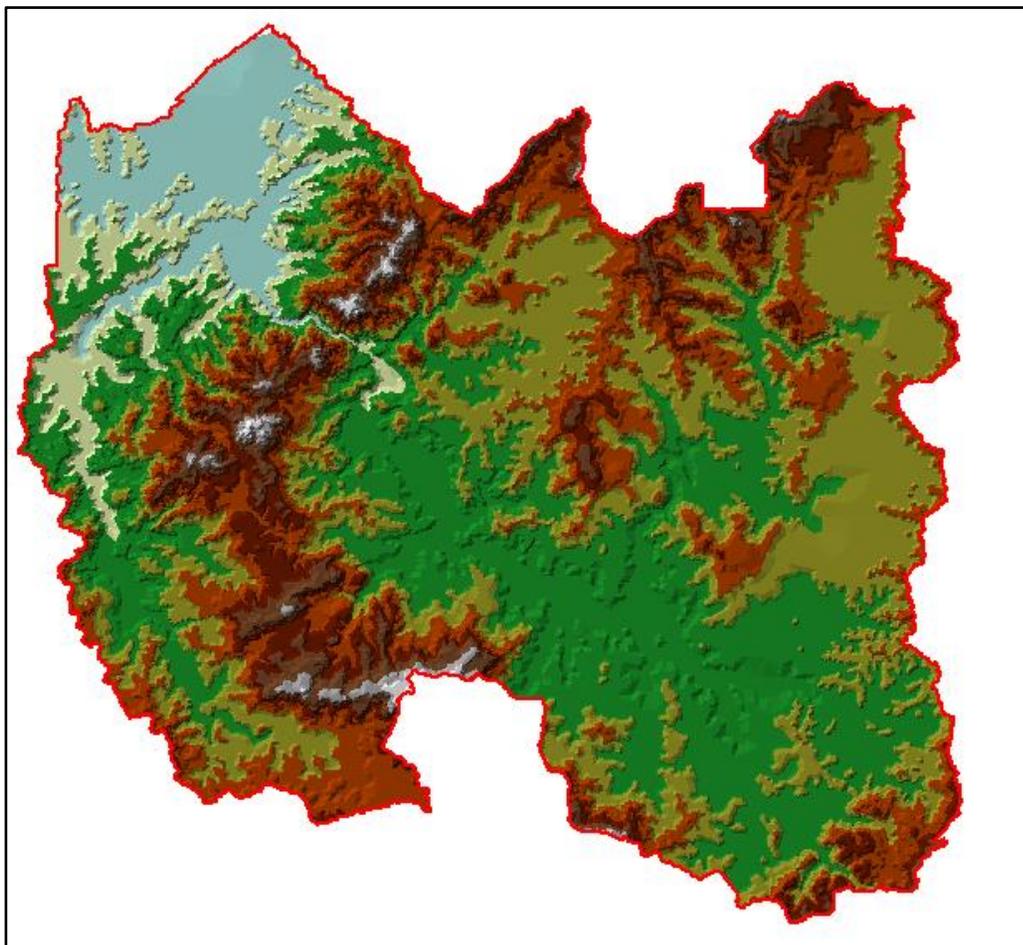


Modelo de elevación

Con la ayuda de las curvas de nivel, el modelo digital de terreno y la herramienta Tin, se procede a construir el modelo de elevación, en donde se puede constatar de una manera más visual los cauces y elevaciones presentes en la cuenca de estudio.

Figura 12

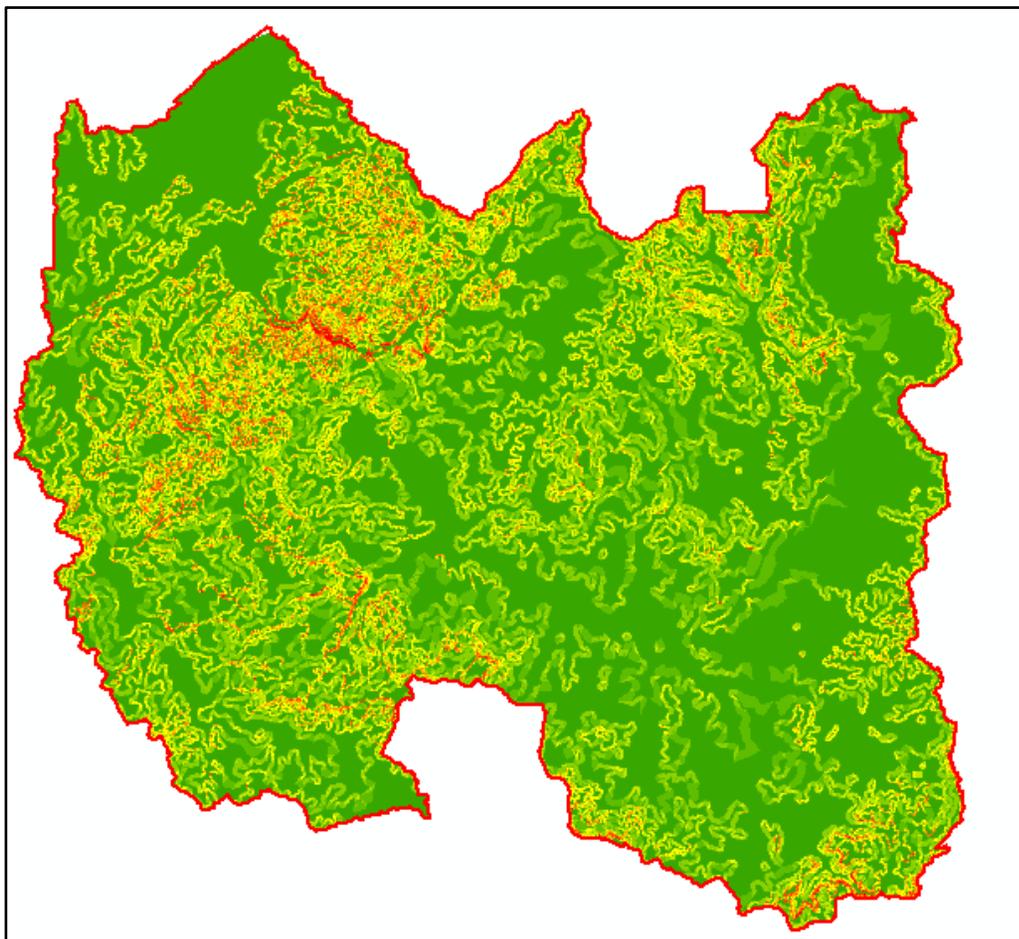
Modelo de elevación de la cuenca hidrográfica

***Mapa de pendientes***

Una vez obtenido el modelo de elevación y con ayuda de la herramienta Slope, se procede a encontrar el mapa de pendientes el cual nos servirá para encontrar la pendiente de la cuenca de estudio.

Figura 13

Mapa de pendientes de la cuenca hidrográfica

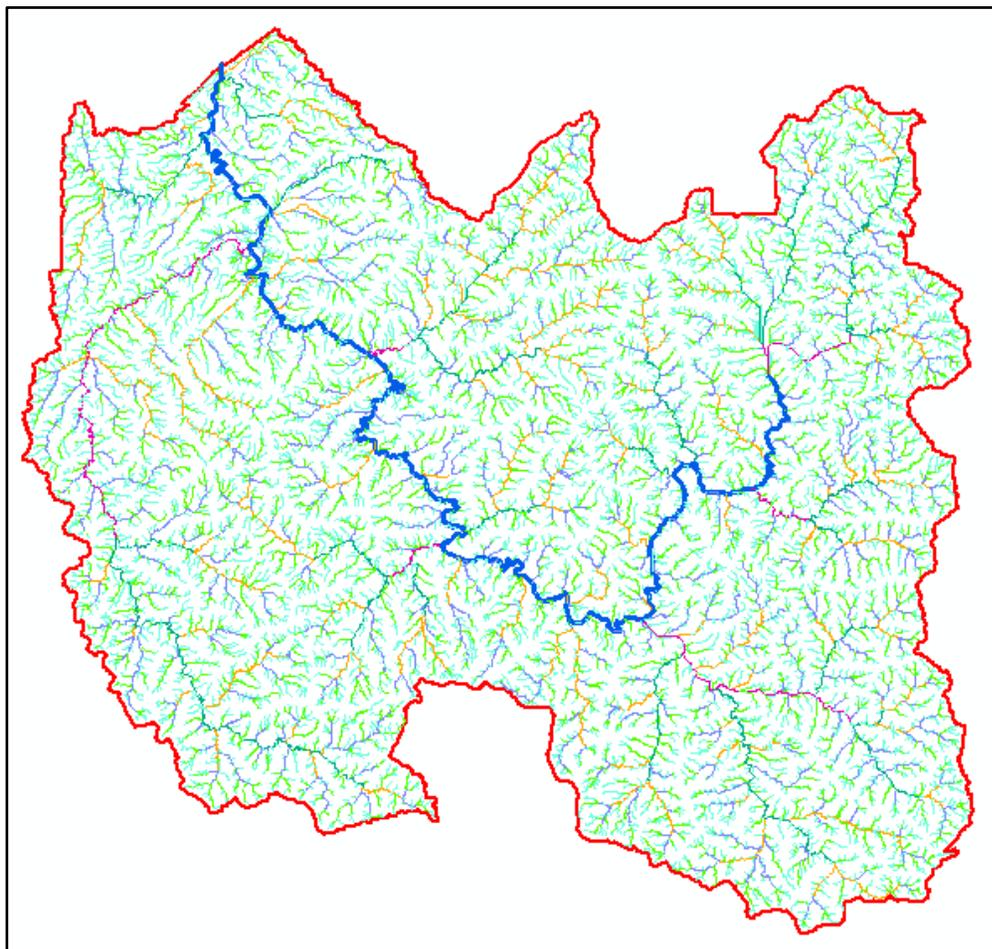


Generación de la red hidrológica

Con la ayuda del modelo digital del terreno, se procede a usar la herramienta de dirección de flujo y acumulación del flujo presentes en el software ArcMap. Con el uso de esta herramienta se obtiene el cauce principal y afluentes que se presentan en la cuenca hidrográfica.

Figura 14

Red hidrológica de la cuenca hidrográfica



Una vez obtenida la red hídrica se puede observar el cauce principal desde el punto de inicio hasta el punto de su desembocadura.

Capítulo IV

Cálculo de parámetros morfométricos

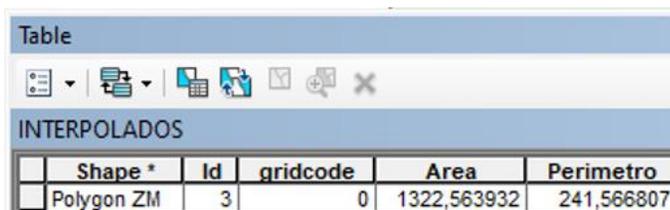
Superficie y forma

Área y perímetro de la cuenca

Para la obtención de este parámetro se realizaron mediciones directamente en ArcMap.

Figura 15

Datos de área y perímetro de la cuenca obtenidos en ArcGIS



Shape *	Id	gridcode	Area	Perimetro
Polygon ZM	3	0	1322,563932	241,566807

Área de la cuenca:

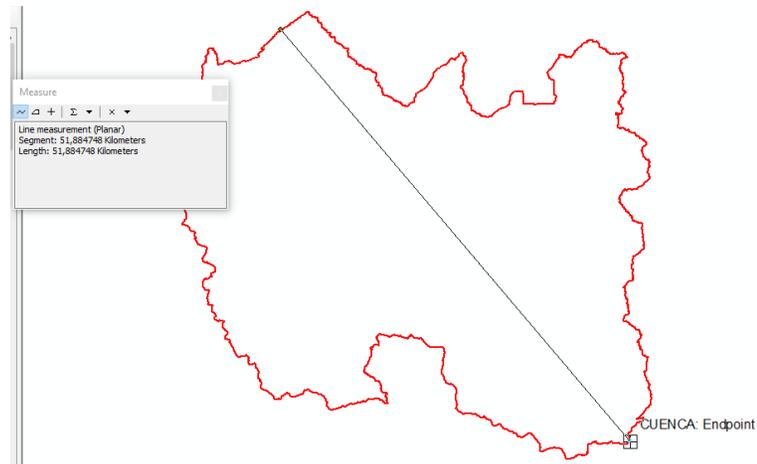
$$A_C = 1322,56 \text{ km}^2$$

perímetro de la cuenca

$$P_C = 241,57 \text{ km}$$

Longitud de la cuenca

Para la obtención de este parámetro se realizaron mediciones directamente en ArcMap.

Figura 16*Longitud de la cuenca medida en ArcGIS*

$$L_C = 51,88 \text{ km}$$

Gradiente altimétrico de la cuenca

$$\text{Cota Máxima} = 650 \text{ msnm}$$

$$\text{Cota de mínima} = 0 \text{ msnm}$$

$$\Delta H = \text{cota máx} - \text{cota mín}$$

$$\Delta H = 650 - 0$$

$$\Delta H = 650 \text{ msnm}$$

Coefficiente compacidad

$$k_c = 0,28 * \frac{P_C}{\sqrt{A_C}}$$

Siendo:

- Área de la cuenca (km²): A_C
- Perímetro de la cuenca (km): P_C

$$k_c = 0,28 * \frac{241,57}{\sqrt{1322,56}}$$

$$k_c = 1,86$$

De acuerdo con la Tabla 1, el valor de k_c corresponde a una cuenca rectangular.

Coefficiente de forma

$$K_F = \frac{A_C}{L_R^2}$$

Siendo:

- Área de la cuenca (km²): A_C
- Longitud del río principal (km): L_r

$$K_F = \frac{1322,56}{84,68^2}$$

$$K_F = 0,18$$

De acuerdo con la Tabla 2, el valor de K_F corresponde a una cuenca muy alargada.

Equidistancia entre curvas de nivel

El modelo digital adquirido es de escala 1: 5000, debido a esto se han generado curvas de nivel cada 5 metros.

$$E_q = 0,005 \text{ km}$$

Sumatoria de las curvas de nivel de la cuenca

Para el cálculo de este parámetro se utilizó la tabla de atributos y funciones estadísticas, en donde se sumaron todas las polilíneas de cada curva de nivel.

Figura 17

Tabla de atributos de las curvas de nivel de la cuenca

FID	Shape *	Contour	longitud
0	Polyline	0	345,897009
1	Polyline	5	566,609866
2	Polyline	10	1285,099007
3	Polyline	15	1870,304363
4	Polyline	20	2413,122174
5	Polyline	25	3062,309388
6	Polyline	30	64,945859
7	Polyline	30	3379,370845
8	Polyline	30	47,886319
9	Polyline	30	101,29313
10	Polyline	35	3937,793701
11	Polyline	35	4,696004
12	Polyline	40	4435,110131
13	Polyline	40	109,060653
14	Polyline	45	5044,355921
15	Polyline	50	2578,346684
16	Polyline	50	16,2726
17	Polyline	50	861,536962
18	Polyline	50	90,506589
19	Polyline	50	117913,563292
20	Polyline	50	1882,174974
21	Polyline	50	375,34182
22	Polyline	50	411,149815
23	Polyline	50	87,298539
24	Polyline	50	110,612886
25	Polyline	50	9748,182989
26	Polyline	50	8854,498979
27	Polyline	50	138,62095
28	Polyline	50	2437,232435
29	Polyline	50	5120,148034
30	Polyline	50	778,526866
31	Polyline	50	72,672647
32	Polyline	50	1062,873357
33	Polyline	50	1379,932763
34	Polyline	50	1664,488442
35	Polyline	50	141,78894
36	Polyline	50	524,156235
37	Polyline	50	837,177919
38	Polyline	55	1852,854522
39	Polyline	55	200,248074
40	Polyline	55	10,130237
41	Polyline	55	32,353095
42	Polyline	55	103,395149
43	Polyline	55	116719,108795
44	Polyline	55	139,38416

$$\sum l = 37402,56 \text{ km}$$

Pendiente de la cuenca

Mediciones en ArcMap.

Se realizó el cálculo mediante mediciones en ArcMap, en donde se trabajó con el mapa de pendientes interpolado con el polígono de la cuenca, indicando los siguientes resultados.

Figura 18

Pendiente de la cuenca calculada con ArcGIS

Rowid	ID	COUNT	AREA	MIN	MAX	RANGE	MEAN	STD	SUM
1	3	5865581	1319755725	0	206,249954	206,249954	13,703577	17,324633	80379439,417446

En el cual se obtuvo una pendiente del 13,70%.

Método de Alvord.

$$Y_c = \frac{E_q * \sum l}{A_c} * 100$$

Siendo:

- Equidistancias entre curvas de nivel (km): E_q
- Sumatoria de las curvas de nivel de la cuenca (km): $\sum l$
- Área de la cuenca (km²): A_c

$$Y_c = \frac{0,005 * 37402,56}{1322,56} * 100$$

$$Y_c = 14,14 \%$$

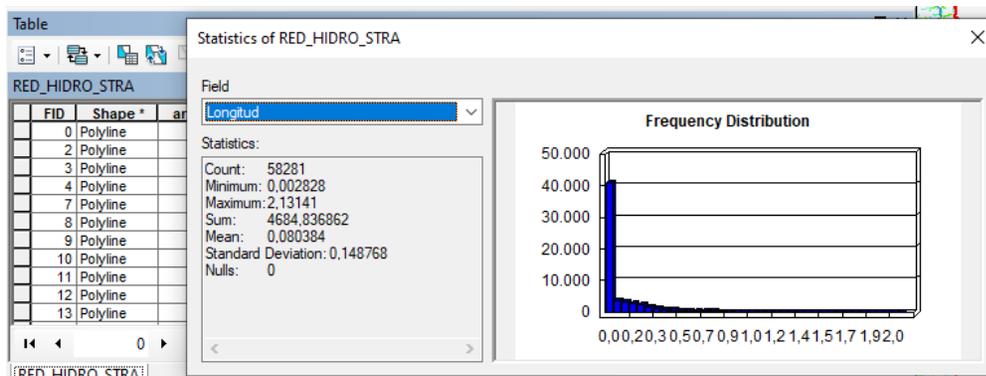
Red hidrográfica y sistema fluvial

Longitud total de los cauces

Los datos fueron recopilados de la tabla de atributos de la red hidrológica y orden de ríos, con cálculos estadísticos.

Figura 19

Medida total de los cauces realizada en ArcGIS

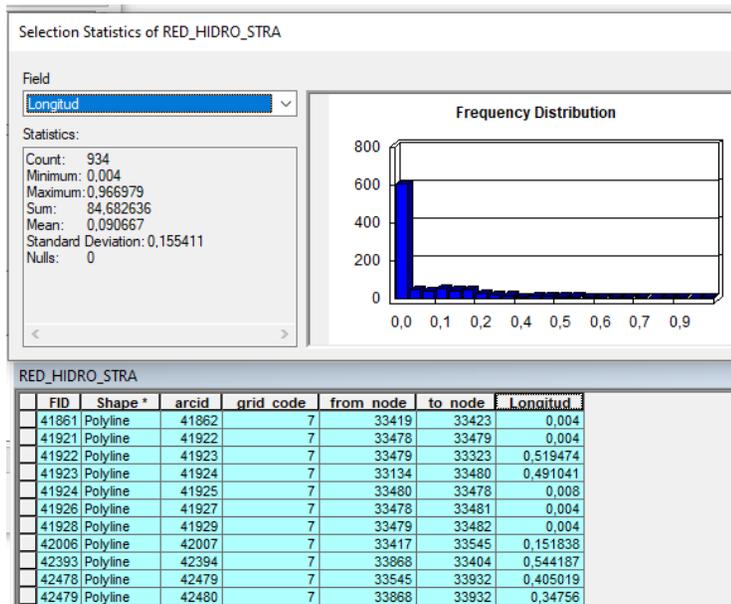


$$L_T = 4684,84 \text{ km}$$

Longitud del río principal

Figura 20

Longitud del río principal tomada de ArcGIS



$$L_r = 84,68 \text{ km}$$

Gradiente altimétrica del río principal

$$\text{Cota Máxima} = 196,48 \text{ msnm}$$

$$\text{Cota de mínima} = 0 \text{ msnm}$$

$$\Delta H = \text{cota máx} - \text{cota mín}$$

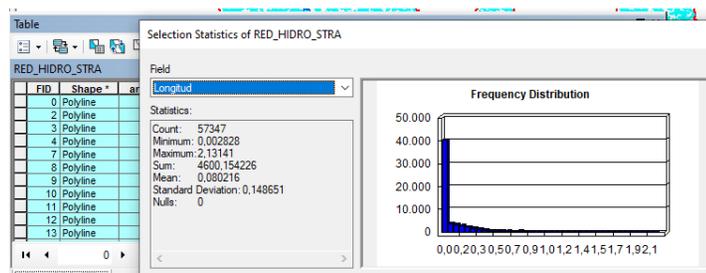
$$\Delta H = 196,48 - 0$$

$$\Delta H = 196,48 \text{ msnm}$$

Sumatoria de la longitud de los afluentes

Figura 21

Sumatoria de la longitud de los afluentes medida en ArcGIS



$$\sum l_i = 4600,15 \text{ km}$$

Densidad de drenaje

Indica la capacidad que presenta una cuenca para evacuar las aguas que discurren por su superficie.

$$D_d = \frac{L_r + \sum l_i}{A_c}$$

Siendo:

- Longitud del río principal (km): L_r
- Sumatoria de la longitud de afluentes (km): $\sum l_i$
- Área de la cuenca (km²): A_c

$$D_d = \frac{84,68 + 4600,15}{1322,56}$$

$$D_d = 3,54 \frac{\text{km}}{\text{km}^2}$$

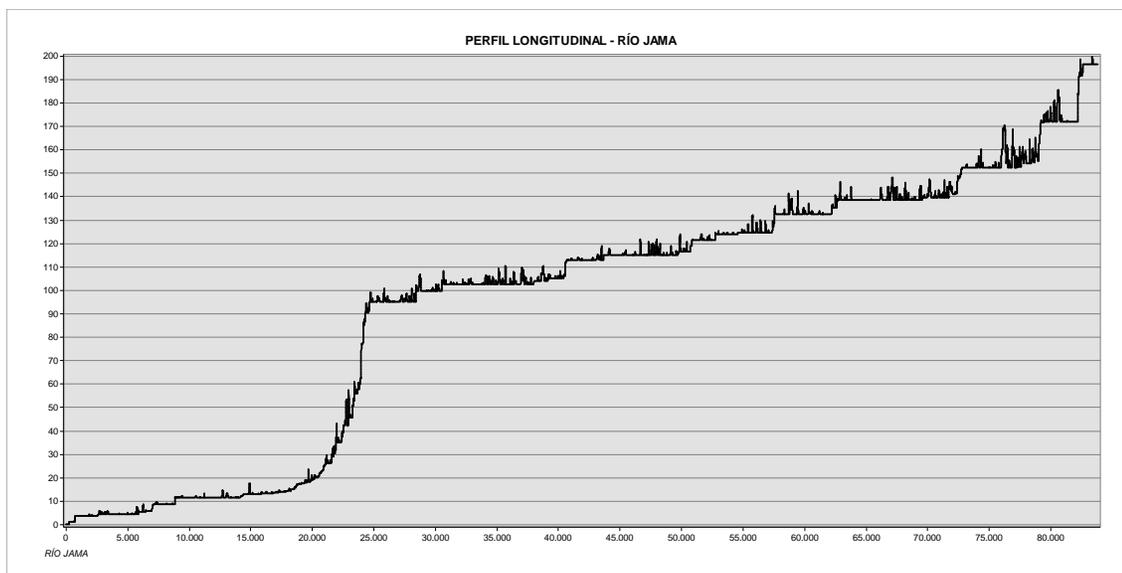
De acuerdo con la Tabla 3, el valor de Dd corresponde a una cuenca con drenaje moderado.

Perfil longitudinal del río principal

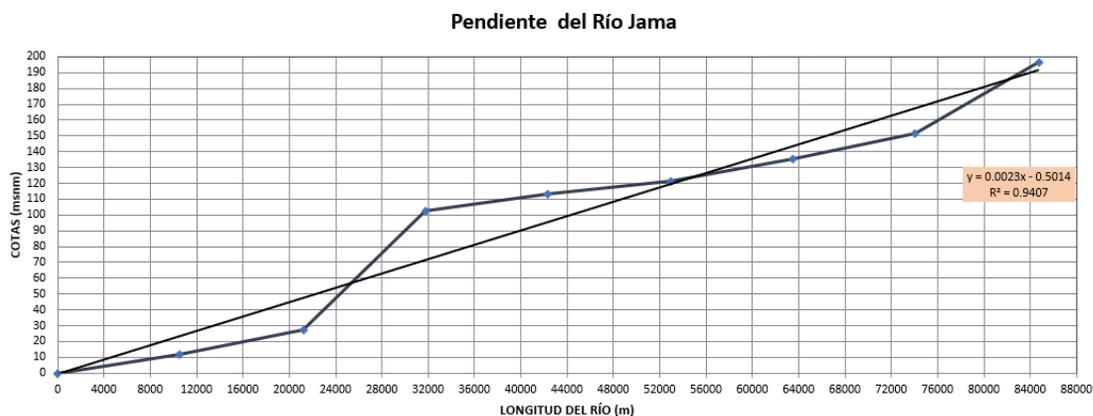
Para calcular el perfil longitudinal del río se usaron las herramientas de ArcMap, con lo cual se obtuvo un primer diseño el cual resulta muy rustico y se usó como primer borrador para el cálculo del perfil longitudinal del río en Excel.

Figura 22

Perfil longitudinal del río generado en ArcGIS



Teniendo ya la tendencia del perfil del río, se interpolaron abscisas (longitud del río) y ordenadas (cotas), con los cuales se pudo trazar un mejor perfil longitudinal, obteniendo así la pendiente bruta y suavizada del río.

Figura 23*Pendiente del río principal***Pendiente bruta del río.**

$$Y_{rb} = \frac{\Delta H}{L_r} * 100$$

Siendo:

- Gradiente altimétrica del río (msnm): ΔH
- Longitud del río principal (km): L_r

$$Y_{rb} = \frac{196,48}{84,68 * 1000} * 100$$

$$Y_{rb} = 0.232 \%$$

Pendiente suavizada del río.

$$Y_{rs} = \frac{\Delta H_{perfil}}{L_r} * 100$$

Siendo:

- Gradiente altimétrica suavizada del río (msnm): ΔH_{perfil}
- Longitud del río principal (km): L_r

$$Y_{rb} = \frac{191}{84,68 * 1000} * 100$$

$$Y_{rb} = 0,226 \%$$

Se presenta a continuación el cuadro de resumen de los parámetros calculados:

Tabla 8

Resumen de parámetro morfométricos.

PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS					
No	PARÁMETRO		FÓRMULA	VALOR	UNIDAD
1	Área de la cuenca	Ac	-	1322,56	km ²
2	Perímetro de la cuenca	Pc	-	241,57	km
3	Longitud de la cuenca	Lc	-	51,88	km
4	Coefficiente de compacidad	Kc	$Kc=0,28 \cdot P/\sqrt{A}$	1,86	Rectangular
5	Longitud total de los cauces	LT	-	4684,84	km
6	Longitud del río principal	Lr	-	84,68	km
7	Coefficiente de forma	Kf	$Kf=A/Lr^2$	0,18	Muy alargada
8	Elevación máxima cuenca	Cota máx	-	650,00	msnm
9	Elevación mínima cuenca	Cota mín	-	0,00	msnm
10	Gradiente altimétrico de la cuenca	$\Delta H'$	-	650,00	msnm
11	Elevación máxima río	Cota máx	-	196,48	msnm
12	Elevación mínima río	Cota mín	-	0,00	msnm
13	Gradiente altimétrico del río	ΔH	-	196,48	msnm
14	Equidistancia entre curvas de nivel	Eq	-	0,005	km
15	Sumatoria de la longitud de las curvas de nivel internas de la cuenca	$\sum l$	-	37402,56	km
		Yc	ARC GIS	13,70	%
16	Pendiente de la cuenca (Método de Alvord)	Yc	$Yc=(Eq \cdot \sum l)/A$	14,14	% [®] Ondulado
17	Sumatoria de la longitud de afluentes	$\sum li$	-	4600,15	km

18	Densidad de drenaje	Dd	$Dd = \frac{(Lr + \sum li)}{A}$	3,54	km/km ² → Drenaje Moderado
19	Pendiente bruta del río principal	Yrb	$Yrb = \Delta H / Lr$	0,232	%
20	Pendiente suavizada del río principal	Yrs	$Yrs = \text{Gráfica} / Lr$	0,226	%

Capítulo V

Diseño Hidráulico

Tiempos de concentración

Tabla 9

Cálculo de los tiempos de concentración

Autor	Fórmula	Unidades
Kirpich	$T_c = 0,02 * L^{0,77} * S^{-0,385}$	$T_c = 1287 \text{ min}$
	$T_c = 0,02 * 84680^{0,77} * 0,00226^{-0,385}$	$T_c = 21,46 \text{ horas}$
Giandoti	$T_c = \frac{4 * \sqrt{A} + 1,5 * L}{0,8 * \sqrt{H}}$	$T_c = 1457,97 \text{ min}$
	$T_c = \frac{4 * \sqrt{1322,56} + 1,5 * 84,68}{0,8 * \sqrt{196,48}}$	$T_c = 24,30 \text{ horas}$
Ven Te Chow	$T_c = 60 * 0,8773 * \left(\frac{L_r}{\sqrt{Y_{rb}}} \right)^{0,64}$	$T_c = 1439,15 \text{ min}$
	$T_c = 60 * 0,8773 * \left(\frac{84,68}{\sqrt{0,232}} \right)^{0,64}$	$T_c = 23,99 \text{ horas}$
Témez	$T_c = 0,30 * \left(\frac{L_r}{Y_{rb}^{0,25}} \right)^{0,76}$	$T_c = 1663,16 \text{ min}$
	$T_c = 0,30 * \left(\frac{84,68}{0,00232^{0,25}} \right)^{0,76}$	$T_c = 27,72 \text{ horas}$

Método para descarte de tiempos malos

Los tiempos de concentración deben cumplir con las velocidades de los flujos o cumplir con valores cercanos. En este caso al ser una cuenca llana sus velocidades se

encuentran en el rango de (0,60 a 1,00 m/s), para lo cual se debe verificar los tiempos con la ayuda de la ecuación de velocidad sugerida por (Sandoval Erazo, 2019).

$$V = 0,28 * \frac{L}{T_c}$$

En donde, L representa la longitud del río principal en (km) y T_c representa el tiempo de concentración en (horas).

Tabla 10

Comprobación de los tiempos de concentración

Autores	Horas	Velocidad (0,6-1,00) m/s
Kirpich	21,46	1.105098066
Giandoti	24,30	0.975753688
Ven Te Chow	23,99	0.988514417
Témez	27,72	0.855374512

Con la comprobación por este método se puede observar que el primer tiempo no cumple con la velocidad requerida, por tal motivo se descarta y se realiza un promedio con los demás tiempos para hallar el tiempo de concentración final.

$$Tiempo\ de\ concentración = \frac{24,30 + 23,99 + 27,72}{3}$$

$$T_c = 25,33\ horas$$

$$T_c = 1520,10\ min$$

Información hidrometeorológica

Para la recopilación de información meteorológica e hidrológica se solicitó información a el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI), el cual publica cierta información en los anuarios de libre acceso.

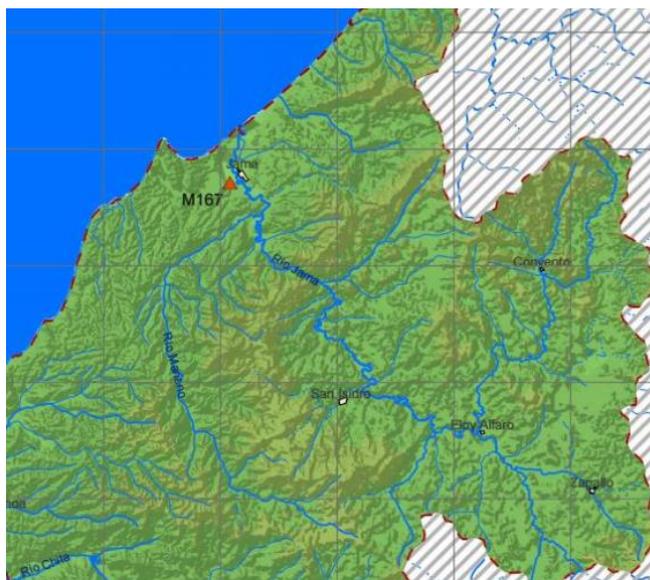
Para el caso de precipitaciones se debe realizar un pedido oficial a la institución solicitando los datos específicos de la estación requerida.

Precipitación media anual

Para nuestro caso de estudio se requerirá información de la estación meteorológica M167.

Figura 24

Estación meteorológica M167



Nota. La estación M167 se encuentra ubicada en el Río Jama. Tomado de: (issue, 2011)

Tabla 11

Información estación meteorológica M0167 Jama

Nombre de la estación	Código	Tipo	Provincia	Latitud	Longitud	Altitud	Precipitación media anual
Jama	M0167	Climatológica principal	Manabí	0°11'49" S	80°15'53" W	46 m	1626 mm

Nota. Información de la estación M0167 publicada en el anuario meteorológico 2013.

Recuperado de: (INAMHI, Anuario Meteorológico , 2017)

Precipitación máxima probable

Tabla 12

Datos de precipitación diaria M167

<i>Precipitación Diaria</i>		
ESTACIÓN M167 JAMA		
Años	Febrero	Día
1990	60,00	7
1991	57,50	15
1992	40,20	20
1994	40,60	16
1995	86,40	8
1996	44,20	28
1998	168,60	26
1999	92,20	28
2000		0
2001	35,20	5
2002	57,20	4
2003	77,50	7
2004	9,50	18
SUMA	814,80	
MEDIA	62,68	
MINIMA	9,50	
MAXIMA	168,60	

Nota. Los datos fueron recuperados de: (Guacho Mueses & Morales Alquina, 2018)

Siendo:

Precipitación media máxima en 24 horas

$$Pm_{max24H} = \bar{x} = \frac{\sum Pi}{n} = \frac{814,80}{12} = 67,9 \text{ mm}$$

Coefficiente empírico de acuerdo con Hersh Field (1961)

$$km = 15$$

Desviación estándar de las precipitaciones

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

Tabla 13

Cálculos para hallar la desviación estándar

Año	xi	(xi - x̄) ²
1990	60	62,41
1991	57,5	108,16
1992	40,2	767,29
1994	40,6	745,29
1995	86,4	342,25
1996	44,2	561,69
1998	16,6	10140,49
1999	92,2	590,49
2001	35,2	1069,29
2002	57,2	114,49
2003	77,5	92,16
2004	9,5	3410,56
$\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2$		22614,98 mm

$$s = \sqrt{\frac{22614,98}{12 - 1}} = 45,34 \text{ mm}$$

Finalmente se calcula la precipitación máxima probable

$$PMP = Pm_{max24H} + km * \sigma$$

$$PMP = 67,9 + 15 * 45,34 = 748 \text{ mm}$$

Precipitación máxima de un evento en 24 horas = 168,80 mm

Intensidad

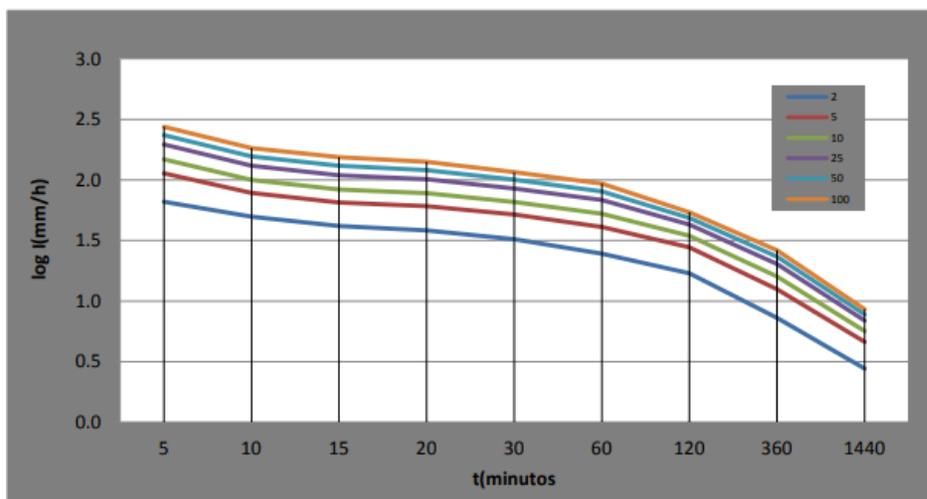
Para el cálculo de la intensidad para un periodo de retorno de 100 años se usaron las ecuaciones proporcionadas por el INAMHI.

Tabla 14*Intensidades máximas estación Jama M0167*

T (min)	Periodo de Retorno T (años)					
	2	5	10	25	50	100
5	77.0	104.2	130.9	177.0	222.4	279.5
10	56.6	76.5	96.1	130.0	163.3	205.2
15	47.2	63.9	80.2	108.5	136.3	171.3
20	41.5	56.2	70.6	95.5	119.9	150.7
30	38.3	50.8	63.0	83.6	103.6	128.4
60	27.2	36.2	44.8	59.5	73.7	91.4
120	19.7	25.7	31.4	41.0	50.1	61.2
360	8.8	11.5	14.0	18.3	22.3	27.3
1440	3.2	4.1	5.1	6.6	8.1	9.9

INTENSIDAD MAXIMA (mm/h)

Valores de intensidad máxima para distintos periodos de retorno y tiempos de concentración. Tomado de: (INAMHI, Determinación de ecuaciones para el cálculo de intensidades máximas de precipitación, 2015).

Figura 25*Curva de intensidad, duración y frecuencia estación M0167*

Nota. Tomado de: (INAMHI, Determinación de ecuaciones para el cálculo de intensidades máximas de precipitación, 2015)

Tabla 15*Ecuaciones para el cálculo de la intensidad*

ESTACIÓN		INTERVALOS DE TIEMPO (minutos)	ECUACIONES	R	R ²
CÓDIGO	NOMBRE				
M0167	JAMA	5<30	$i = 125.5845 * T^{0.3294} * t^{-0.4455}$	0.9885	0.9771
		30<120	$i = 164.1148 * T^{0.3095} * t^{-0.4911}$	0.9796	0.9596
		120<1440	$i = 542.1518 * T^{0.2894} * t^{-0.7341}$	0.9924	0.9848

Nota. Ecuaciones de intensidad para la estación M0167 Jama. Tomada de: (INAMHI, Determinación de ecuaciones para el cálculo de intensidades máximas de precipitación, 2015)

Con cálculos previos se obtuvo un tiempo de concentración de: $T_c = 1520,10 \text{ min}$. Con este tiempo se procede a ingresar en una de las ecuaciones de la Tabla 14. Dado que el tiempo supera al rango más alto se ingresa con la siguiente ecuación:

$$i = 542,1518 * T^{0,2894} * t^{-0,7341}$$

Siendo t el tiempo de concentración en minutos y T el periodo de retorno en años, se indica a continuación un cuadro de intensidades para diferentes periodos de retorno.

Tabla 16*Valores de intensidad para diferentes periodos de retorno*

T	Intensidad
años	mm/hora
10	4,87
20	5,95
50	7,76
100	9,49

200	11,59
500	15,11
1000	18,47
5000	29,43
10000	35,97

Para el caso de estudio con un periodo de retorno de 100 años se obtuvo una intensidad de 9,49 mm/hora.

Coefficiente de escorrentía

$$C = 0,25 * K1 * K2 * K3$$

Siendo:

$$K1 = 3,7 * A^{-0,152} = 3,7 * 1322,56^{-0,152} = 1,24$$

$$K2 = 0,71 * \ln * (P) - 3,51 = 0,71 * \ln(1626) - 3,51 = 1,74$$

De acuerdo a la Tabla 5, para una cuenca ondulada, $K3 = 1$

$$C = 0,25 * 1,24 * 1,74 * 1$$

$$C = 0,54$$

Coefficiente de rugosidad Manning

Considerando los valores de la Tabla 6, se determinaron los valores de coeficiente de rugosidad a usarse dependiendo el tramo del río, en donde se tiene:

- Corrientes naturales, corrientes menores, ríos en planicies, sinuoso, vegetación y piedras: $n=0,035$
- Corrientes naturales, corrientes menores, ríos en planicies, abundante vegetación y sinuoso: $n=0,100$

- Corrientes naturales, corrientes menores, ríos en planicies, rectos sin zonas muertas con piedras y malezas: $n=0,040$

Caudales

Caudal medio

$$Q_0 = \frac{31,71 * P * A * C}{10^6}$$

- $P = 1626 \text{ mm}$
- $A = 1322,56 \text{ km}^2$
- $C = 0,54$

$$Q_0 = 36,80 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

Caudal mínimo

$$Q_{min} = \frac{P * A}{10^6}$$

- $P = 1626 \text{ mm}$
- $A = 1322,56 \text{ km}^2$

$$Q_{min} = 2,15 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

Caudal ecológico

$$Q_{ecologico} = k * \frac{P * A}{10^6}$$

- $P = 1626 \text{ mm}$
- $A = 1322,56 \text{ km}^2$
- $k = 1,5$

$$Q_{ecologico} = 3,23 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

Caudal máximo**Método racional.**

$$Q = \frac{C * i * A}{360}$$

- $A = 132256 \text{ ha}$
- $C = 0,54$
- $i = 9,49 \frac{\text{mm}}{\text{hora}}$

$$Q = 1880,93 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

Método Sandoval.

$$Q = \alpha * \frac{P * \sqrt{A}}{(1 + \log(A))} * (0,5 * \ln(T) - 0,7)$$

- $A = 1322,56 \text{ km}^2$
- $P = 1626 \text{ mm}$
- $T = 100 \text{ años}$
- $\alpha = 0,644 - 0,08 * \ln(P) = 0,644 - 0,08 * \ln(1626) = 0,05$

$$Q = 1206,92 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

Por lo tanto:

$$Q_{\text{máx}} = 1880,93 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

Capítulo VI

Modelado en Hec-GeoRAS Y Hec-RAS

Para empezar con el modelado hidráulico es necesario activar la herramienta Hec-GeoRAS con la misma versión de ArcGIS que se tiene.

Procesamiento de información en Hec-GeoRAS

Se empieza creando un archivo en ArcGIS que contenga el modelo digital del terreno y una imagen de la zona de estudio.

Generación del cauce del río

Con la ayuda de la herramienta Hec-GeoRAS, se procede a digitalizar el cauce del río. Se identifica con su respectivo nombre y alguna referencia. Se inicia el trazado desde aguas arriba del río y se trata de llevar el trazo por la parte más central del cauce.

Figura 26

Generación del cauce del río para Hec-GeoRAS



Delimitación de bancos de río

Se procede a crear los bancos del río guiándose con la imagen que se tenga, además se trata de ir lo más cercano posible a los bordes del cauce.

Figura 27

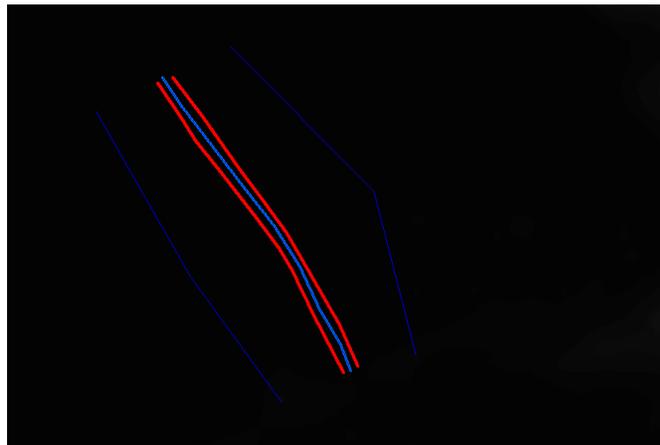
Delimitación de bancos del río



De la misma manera se crea la dirección del flujo con la ayuda del modelo digital, se traza primero el borde derecho y después el borde izquierdo, mirando desde aguas arriba del río. Posteriormente se identifica cada una de las direcciones.

Figura 28

Direccionamiento del flujo del cauce



Creación de las secciones transversales

Para la creación de las secciones transversales del río se escoge un abscisado adecuado para generarlo de manera automática, una vez creadas las secciones se verifica que ninguna choque entre ellas, esto dependerá del abscisado que se le dé.

Figura 29

Creación de las secciones transversales



Cuando ya se creen las secciones transversales se procede a generar el modelo 3D para el cauce, dirección y secciones; cuando este procedimiento haya finalizado los datos están listos para exportar al software HEC-RAS

Modelamiento en HEC-RAS

Para empezar con el modelamiento en HEC-RAS, es indispensable modificar algunas configuraciones del computador como establecer que el separador de miles sea

el punto (.), además de tener instalada adecuadamente la versión compatible entre HEC-RAS, Hec-GeoRAS y ArcGIS.

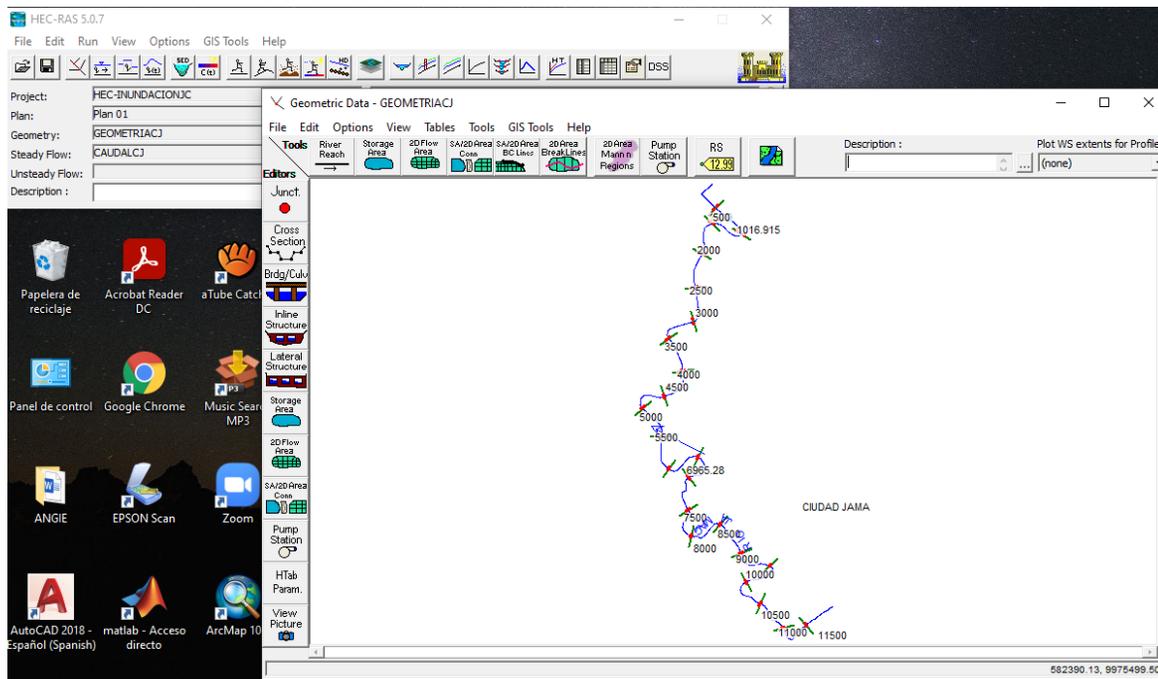
Cuando el software se encuentre listo se procede a crear un nuevo archivo y se verifica que las unidades se encuentren dentro del sistema métrico (S.I.).

Geometría del cauce

Con el nuevo archivo en Hec-RAS se procede a importar la geometría generada en ArcGIS; de esta manera se importarán los datos generados previamente en forma de secciones transversales.

Figura 30

Creación de la geometría importada de ArcGIS

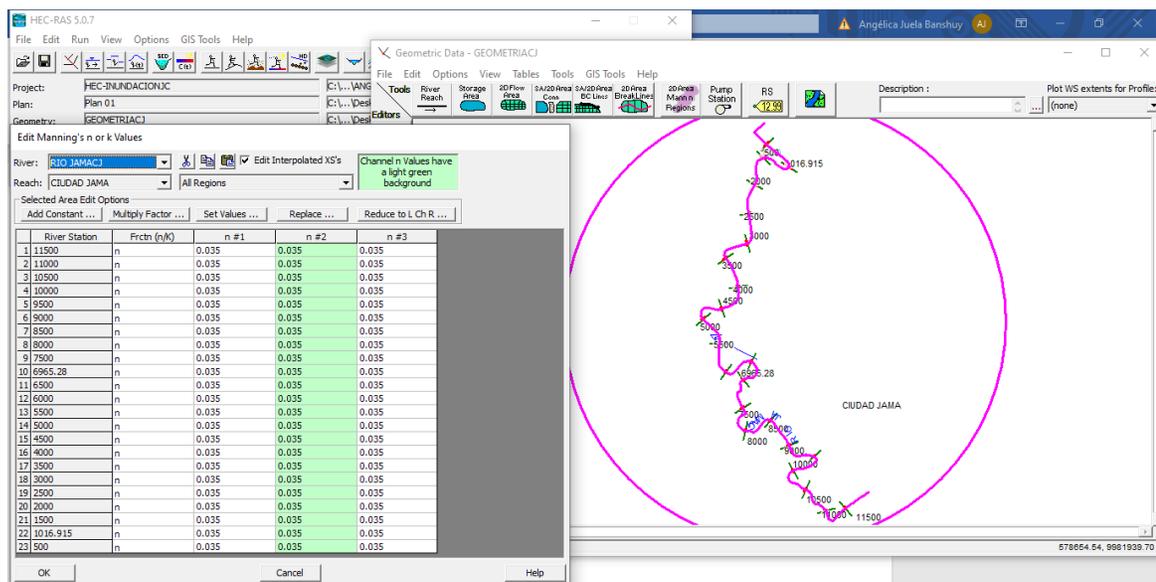


Una vez que se haya importado con éxito la geometría se procede a ingresar los valores del coeficiente de rugosidad de Manning, para el cauce de estudio los valores

pueden variar en distintas secciones en donde tendremos que usar los valores como: 0,035, 0,100 y 0,040. La elección de cada valor dependerá de las características mencionadas en el capítulo anterior.

Figura 31

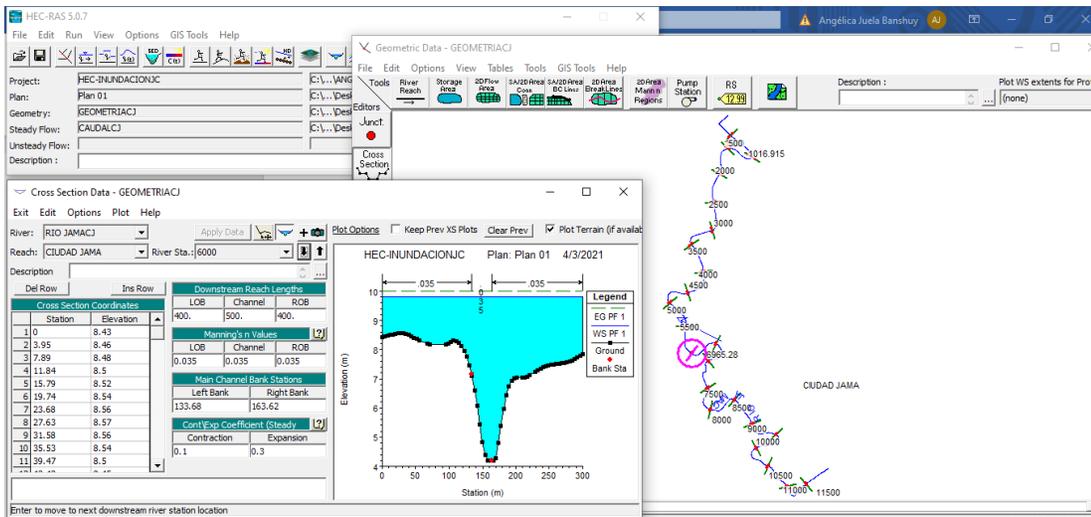
Incorporación del coeficiente de rugosidad de Manning para la geometría del cauce.



Para terminar con la edición de la geometría se procede a verificar los datos de cada una de las secciones transversales generadas, en ella se verifica que los valores de Manning se encuentren debidamente ingresados al igual que los datos generados previamente en ArcGIS.

Figura 32

Revisión de los datos de cada una de las secciones transversales

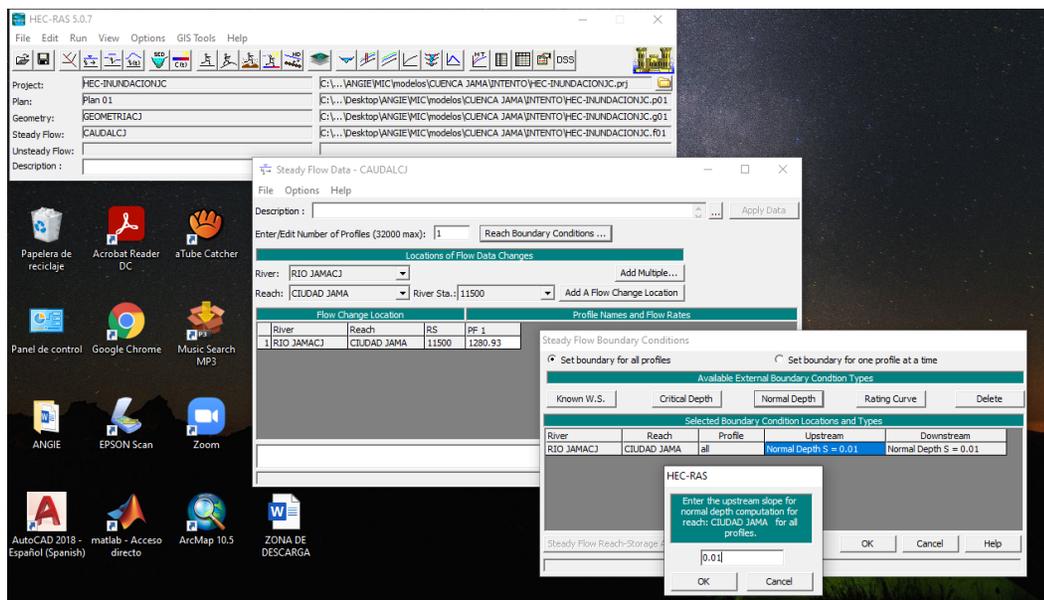


Caudal de diseño

En esta sección del diseño se debe introducir el caudal máximo de diseño encontrado en el capítulo anterior, además de las pendientes del cauce.

Figura 33

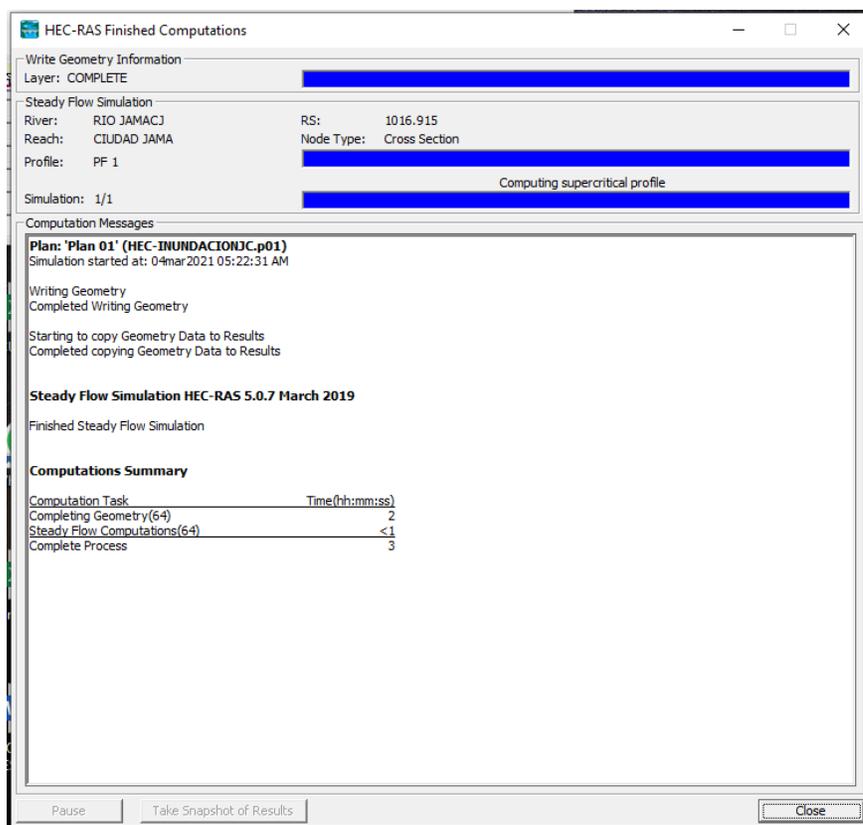
Introducción del caudal máximo de diseño en HEC-RAS



Datos para corrida final

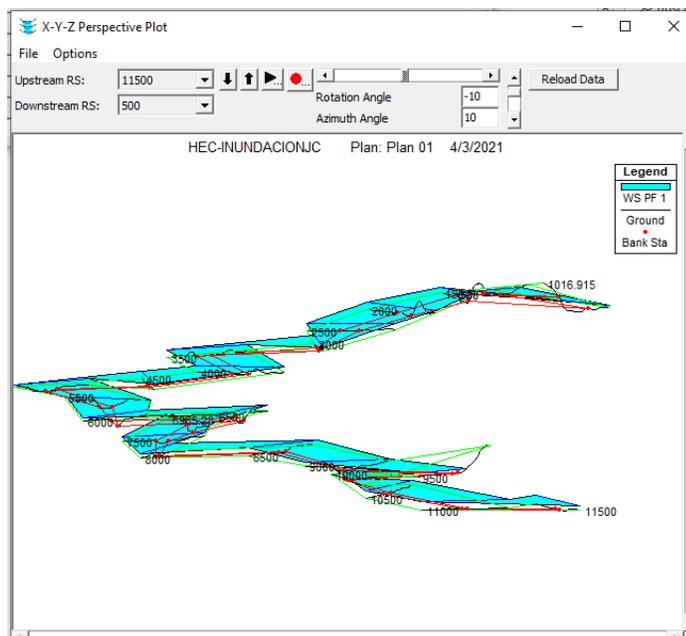
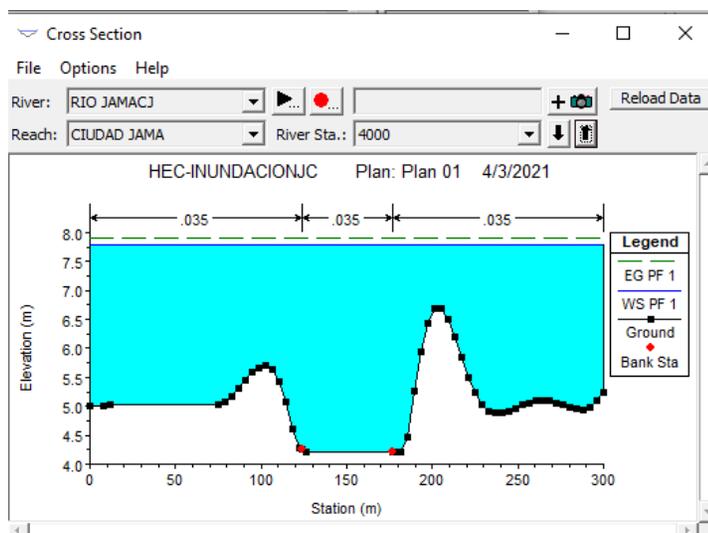
Finalmente se procede a correr el programa, al momento de que todo se valide correctamente el archivo se encuentra listo para exportar nuevamente a ArcGIS y visualizar los polígonos de inundación generados.

Figura 34 Corrida final acerada de los datos en HEC-RAS



Resultados del proceso

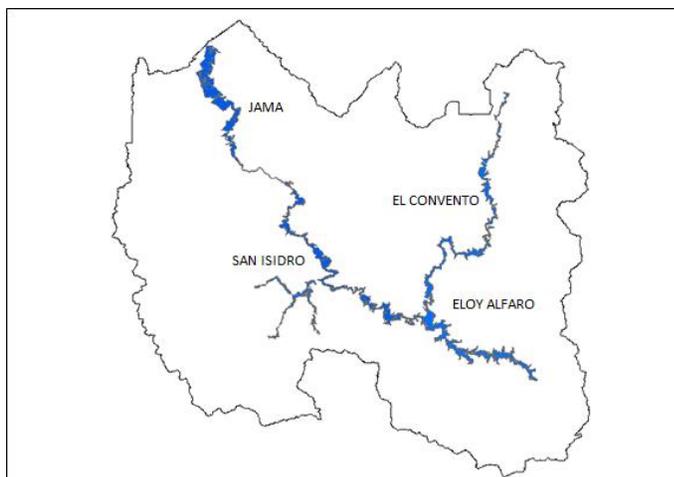
En base a los datos proporcionados al software podemos observar que se nos entrega información de la sección inundada en perspectiva y en corte, en donde se puede observar en cada una de las secciones transversales si existió o no inundación.

Figura 35*Resultados en perspectiva HEC-RAS***Figura 36***Resultados de inundación en la sección transversal mostrados en HEC-RAS*

Una vez que los datos han sido importados de HEC-RAS, se puede observar de mejor manera los polígonos generados por la inundación.

Figura 37

Polígonos de inundación generados en poblaciones aledañas.



El polígono de inundación generado abarca un área de 41.63km².

Figura 38

Mancha de inundación generada en la población de Jama.



Para una mejor visión de los polígonos de inundación generados se anexan al final los mapas de inundación creados para las poblaciones de Jama, San Isidro, Eloy Alfaro y Convento.

Capítulo VII

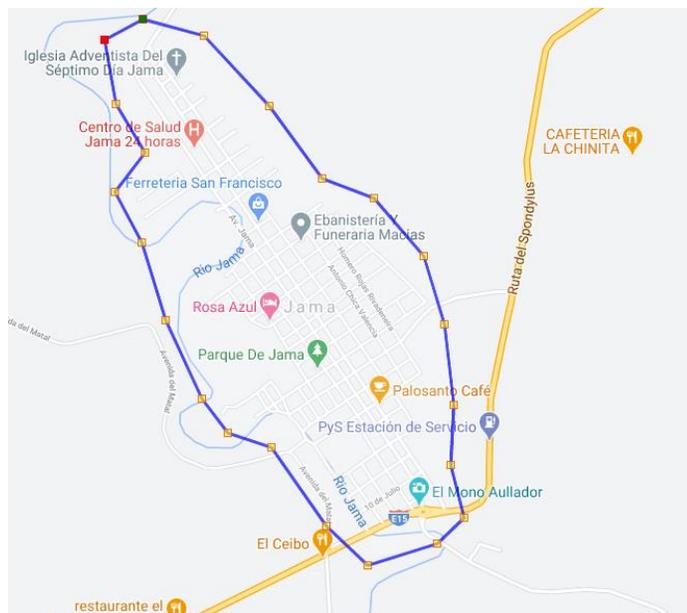
Generación de rutas de evacuación con software GIS

Se crearon cuatro mapas de rutas de evacuación para los poblados de Jama, San Isidro, Convento y Eloy Alfaro. En este espacio se indica la metodología para el cálculo de la ruta del poblado de Jama, mencionando que se siguió el mismo procedimiento para los poblados restantes.

Como primer paso se procede a ubicar un mapa previo de la zona de estudio el cual indique el sentido vial en las distintas calles de la zona de estudio, puede servir plataformas como Google Maps o Sasplanet, es necesario indicar que un levantamiento topográfico es la forma más efectiva ya que al visitar la zona de estudio, se puede determinar el sentido vial para cada elemento.

Figura 39

Ubicación y trazado del polígono de la zona de estudio.



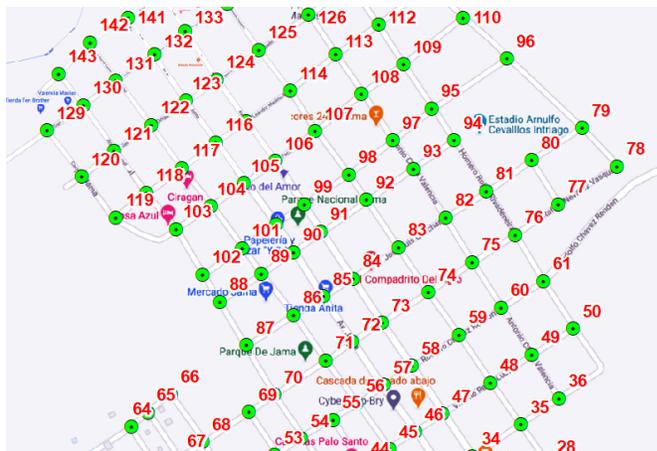
Nota. La imagen fue tomada de: Google Maps.

Creación de nodos y ejes viales

En esta etapa se crearon los nodos en cada intersección de calles, justo en la mitad y posteriormente se procederá a identificar a cada uno de ellos.

Figura 40

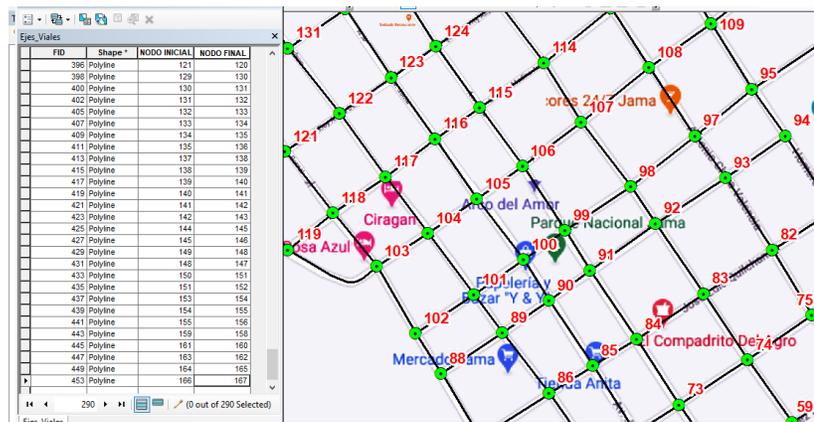
Creación de los nodos.



A continuación se procede a trazar los ejes viales, usando los nodos como guía e indicando cual es el nodo final y nodo inicial de cada eje, esto nos servirá para indicar el sentido vial.

Figura 41

Creación de los ejes viales.



Cálculo de campos

Una vez determinado la red final de nodos y ejes viales se procede a caracterizar sus elementos.

Nombre de las vías y sus características

Con la ayuda de Google Maps, se pudieron obtener los nombres de las calles e identificar el tipo de vía al que pertenecía. En esta red se presentaron: carreteras, avenidas y caminos convencionales.

Distancia del elemento vial

Con la ayuda de las herramientas del software se genera un nuevo campo en la tabla de atributos de los ejes viales, en donde se calculó la distancia de cada uno de ellos.

Sentido vial

En este campo se usa la dirección indicada con anterioridad mediante el nodo inicial y nodo final, el cual indica el sentido de las vías.

Es necesario considerar:

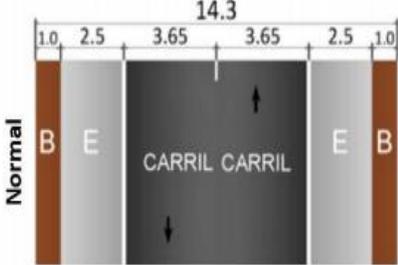
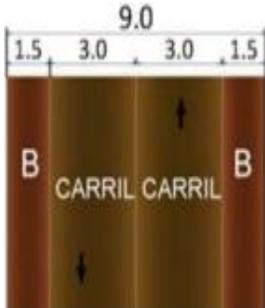
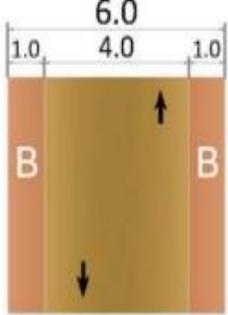
- “FT”: (from to) vectorización desde nodo inicial a nodo final.
- “TF”: (to from) vectorización desde el nodo final a nodo inicial.
- “BI”: vectorización bidireccional.

Jerarquía de vías

Según lo establecido en el Plan Estratégico de Movilidad PEM, según su desempeño se clasifica de la siguiente manera:

Tabla 17

Clasificación según desempeño de las carreteras.

Tipo	Detalle	Velocidad del proyecto	Pendiente máxima	Jerarquía
Carretera de mediana capacidad	<p>Figura 42</p> <p><i>Carretera de mediana capacidad</i></p> 	100 km/h	8%	1
	Fuente: (Públicas, 2012)			
Camino básico	<p>Figura 43</p> <p><i>Camino básico</i></p> 	60 km/h	14%	2
	Fuente: (Públicas, 2012)			
Camino agrícola/forestal	<p>Figura 44 <i>Camino básico</i></p> 	40 km/h	16%	3
	Fuente: (Públicas, 2012)			

Nota. Se indican únicamente los tipos de vías presentes en el estudio. Fuente:

(Ecuador, 2013).

Tiempo en minutos

Se crearon dos campos adicionales en donde se calcularán el tiempo en minutos, dependiendo de la velocidad del tipo de vía que se presente y usando la siguiente formula.

$$T = \frac{M * K}{V}$$

En donde:

- T= tiempo recorrido en minutos
- M= distancia de vía
- K=constante de tiempo (60 minutos)
- V=velocidad en (m/h)

Para establecer la velocidad para cada uno de los tipos de vías se consideró lo que indica el Reglamento a la Ley de Transporte Terrestre Transito y Seguridad Vial, en el CAPITULO VI “De los límites de velocidad”:

Art. 190.- Las Unidades Administrativas y los GADs, en sus correspondientes jurisdicciones territoriales, determinarán los límites máximos de velocidad en las diferentes vías del país, pero de manera general se sujetarán a los límites establecidos en el presente capítulo. (Públicas, 2012)

Art. 191.- Los límites máximos y rangos moderados de velocidad vehicular permitidos en las vías públicas, con excepción de trenes y autocarriles, son los siguientes:

1. Para vehículos livianos, motocicletas y similares:

Tipo de Límite Rango Fuera del Vía máximo moderado rango moderado (Art. 142.g (Art. 145.e de la Ley) de la Ley)

- Urbana 50 Km/h mayor que 50 Km/h mayor que 60 - menor o igual km/h que 60 Km/h Perimetral 90 Km/h mayor que 90 Km/h mayor que 120 - menor o igual Km/h que 120 km/h
- Rectas en 100 Km/h mayor que 100 Km/h mayor que carreteras - menor o igual 135 Km/h que 135 Km/h
- Curvas en 60 Km/h mayor que 60 Km/h mayor que 75 Carreteras - menor o igual Km/h que 75 Km/h. (Públicas, 2012).

Para el proyecto se determinaron las siguientes velocidades tomando en consideración lo dictado en la normativa de diseño NEVI12 y el Reglamento a la Ley de Transporte Terrestre Transito y Seguridad Vial.

- Carretera de mediana capacidad= 100km/h
- Camino básico= 50km/h
- Camino agrícola/forestal= 40km/h

Figura 45

Campos de ejes viales en la tabla de atributos.

FID	Shape *	NODO INICIAL	NODO FINAL	NOMBRE DE VIA	CATEGORIA	DISTANCIA	SENTIDO	JERARQUIA	TF_MINUTES	FT_MINUTES
0	Polyline	7	6	RUTA DEL SPON	CARRETERA	102.599877	FT	1	0.1539	0.1539
1	Polyline	6	5	RUTA DEL SPON	CARRETERA	42.969022	FT	1	0.064454	0.064454
2	Polyline	5	4	RUTA DEL SPON	CARRETERA	80.881344	FT	1	0.121322	0.121322
3	Polyline	4	3	RUTA DEL SPON	CARRETERA	67.70866	FT	1	0.101563	0.101563
4	Polyline	3	2	RUTA DEL SPON	CARRETERA	81.199231	FT	1	0.121799	0.121799
5	Polyline	2	1	RUTA DEL SPON	CARRETERA	215.836222	FT	1	0.323754	0.323754
6	Polyline	7	8	Av. JAMA	AVENIDA	212.608774	FT	2	0.255131	0.255131
7	Polyline	8	16	Av. JAMA	AVENIDA	91.582672	FT	2	0.109899	0.109899
8	Polyline	16	27	Av. JAMA	AVENIDA	96.314523	FT	2	0.115577	0.115577
9	Polyline	27	29	Av. JAMA	AVENIDA	109.893913	FT	2	0.131873	0.131873
10	Polyline	29	34	Av. JAMA	AVENIDA	80.363948	FT	2	0.096437	0.096437
11	Polyline	34	47	Av. JAMA	AVENIDA	82.849351	FT	2	0.099419	0.099419
12	Polyline	47	58	Av. JAMA	AVENIDA	91.298303	FT	2	0.109558	0.109558
13	Polyline	58	73	Av. JAMA	AVENIDA	83.635965	FT	2	0.100363	0.100363
14	Polyline	73	84	Av. JAMA	AVENIDA	84.83204	FT	2	0.101798	0.101798
15	Polyline	84	91	Av. JAMA	AVENIDA	90.702497	FT	2	0.108843	0.108843
16	Polyline	91	99	Av. JAMA	AVENIDA	50.822145	FT	2	0.060987	0.060987
17	Polyline	99	106	Av. JAMA	AVENIDA	83.94942	FT	2	0.100739	0.100739
18	Polyline	106	115	Av. JAMA	AVENIDA	78.744709	FT	2	0.094494	0.094494
19	Polyline	115	124	Av. JAMA	AVENIDA	81.937312	FT	2	0.098325	0.098325
20	Polyline	124	133	Av. JAMA	AVENIDA	92.778058	FT	2	0.111334	0.111334
21	Polyline	133	140	Av. JAMA	AVENIDA	68.685889	FT	2	0.082423	0.082423
22	Polyline	140	145	Av. JAMA	AVENIDA	85.862222	FT	2	0.103035	0.103035
23	Polyline	145	148	Av. JAMA	AVENIDA	163.902068	FT	2	0.196682	0.196682
24	Polyline	148	151	Av. JAMA	AVENIDA	81.127858	FT	2	0.097353	0.097353
25	Polyline	151	154	Av. JAMA	AVENIDA	81.89501	FT	2	0.098274	0.098274
26	Polyline	154	159	Av. JAMA	AVENIDA	169.183175	FT	2	0.20302	0.20302
27	Polyline	159	160	Av. JAMA	AVENIDA	128.107267	FT	2	0.153729	0.153729
28	Polyline	160	163	Av. JAMA	AVENIDA	75.439351	FT	2	0.090577	0.090577

Nota. Una vez calculados todos los campos se procede a generar el Network Dataset.

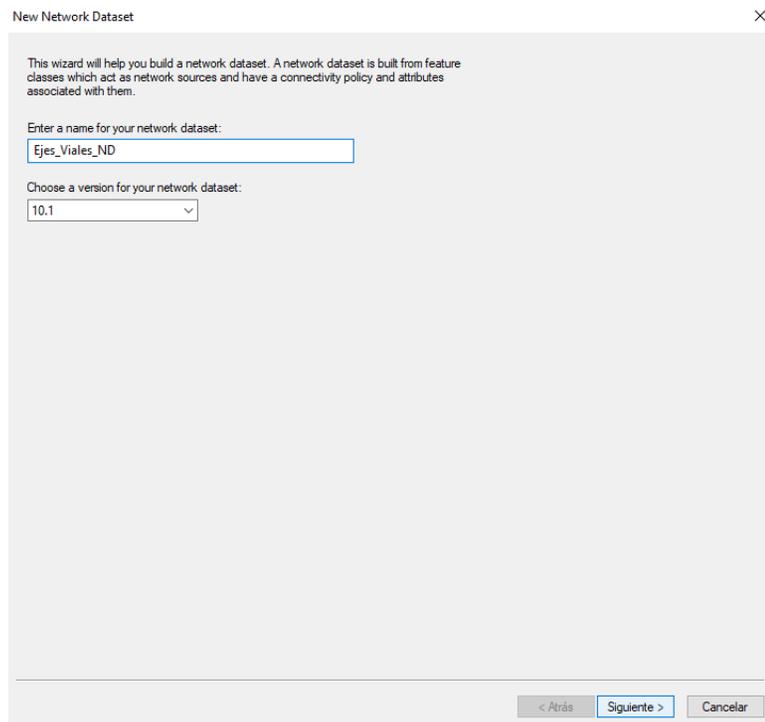
Creación de un Network Dataset a partir de un feature class

Para crear un Network Dataset se realizan los siguientes pasos.

1. Crear un nuevo Personal Database.
2. Dentro de la creación previa se procede a generar un nuevo Feature New Dataset.
 - 2.1. Ingresar el respectivo nombre
 - 2.2. Elegir el sistema de referencia y el sistema de coordenadas verticales.
 - 2.3. Una vez concluido, importar el Feature Class, con lo cual se ha creado la nueva capa.
3. En la capa generada, crear un nuevo Network Dataset, modificar el nombre y la versión.

Figura 46

Creación de un Network Dataset.



New Network Dataset

This wizard will help you build a network dataset. A network dataset is built from feature classes which act as network sources and have a connectivity policy and attributes associated with them.

Enter a name for your network dataset:

Choose a version for your network dataset:

< Atrás Siguiete > Cancelar

- 3.1. Elegir el Feature Class correspondiente, se activan los giros

- 3.2. Modificar las políticas de conectividad, la cual es end point para nodos iniciales y nodos finales.
- 3.3. Cargar los atributos que hagan falta, considerar para el atributo tiempo el valor de giro (0,084 equivalente a 5 segundos). Cargar el atributo jerarquía junto a todos los parámetros necesarios que engloba el nombre y tipo de vía.
- 3.4. Aceptar todos los parámetros establecidos y finalizar.

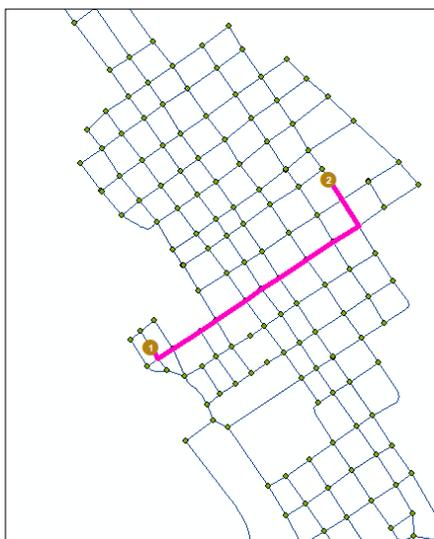
Análisis de la ruta más corta

Para crear las rutas de evacuación se siguen los siguientes pasos:

1. Se debe activar previamente la barra de herramientas de Network Analyst.
2. Cargar el Network Dataset
3. Crear una nueva ruta, la ruta más corta se crea con el parámetro distancia.
4. Modificar las propiedades de la capa ROUTE, a la cual se le indica que el análisis se realizara con la variable distancia.
5. Cargar la ventana de análisis de redes.
6. Ubicar dos puntos en el área de trabajo y calcular la ruta.

Figura 47

Creación de la ruta más corta.



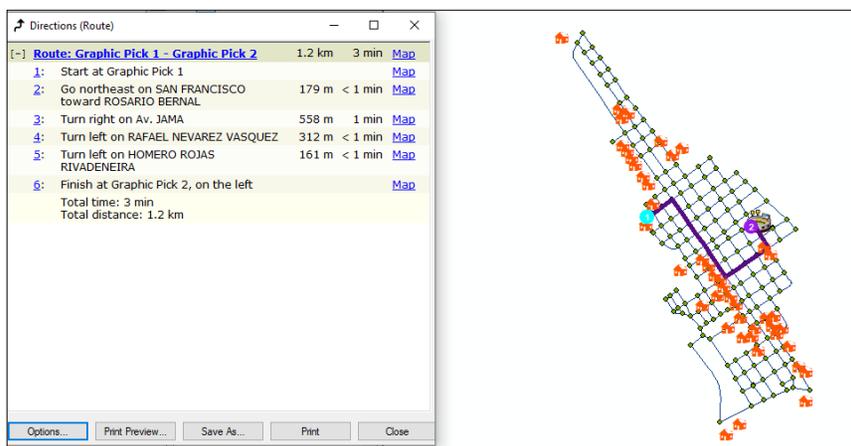
Si se desea encontrar la ruta más eficiente se debe modificar las propiedades de la ruta e indicarle que el análisis se realizara con la variable tiempo mas no con distancia.

Para el análisis de direcciones se puede realizar con impedancia de tiempo o distancia es decir con ruta corto o ruta más eficiente. Dentro de las direcciones de puede observar el tiempo y recorrido total, además se puede observar el mapa total de la ruta o por segmentos.

Cabe recalcar que dentro del análisis de rutas se pueden generar muchas de rutas con varias características haciendo uso de barreras de tipo: punto, línea y polígono; se puede además relocalizar los puntos cuando no se respeta la tolerancia definida, de igual manera se puede modificar los valores de esta.

Figura 48

Creación de rutas con indicaciones y mapa.



Se generaron tres rutas de evacuación ante inundaciones por cada uno de los cuatro poblados; toda la información se adjuntó en los mapas de rutas de evacuación y los mapas de indicaciones por cada ruta, los cuales se presentan como parte de los anexos.

Conclusiones

- Con el uso de herramientas SIG, el cálculo de parámetros morfométricos puede reducirse en tiempo y tener un grado de precisión más acertada; ya que en métodos tradicionales con el uso de cartas topográficas de diferentes escalas, el observador tiende a cometer errores en el cálculo de parámetros iniciales como área y perímetro, los cuales posteriormente afectarían en los resultados de los demás parámetros morfométricos.
- Con la ayuda del cálculo de los parámetros morfométricos se pudo determinar que el área de estudio corresponde a una cuenca rectangular, muy alargada, con un área de 1322,56 km², y una pendiente de 14,14%, lo cual representa a un terreno ondulado con drenaje moderado. Además se determinó la extensión de 84,68 km para el río principal con una pendiente del 0,23%.
- Para el cálculo del caudal máximo de diseño se ha considerado un periodo de retorno de 100 años, además se usó la información hidrometeorológica correspondiente a la estación más cercana a la zona de estudio en este caso corresponde a la estación M0137 Jama. Obteniéndose en esta ocasión un caudal máximo de $Q_{m\acute{a}x} = 1880,93 \frac{m^3}{s}$.
- Para la caracterización y determinación de los polígonos de inundación se usaron valores de rugosidad de Manning, correspondientes a los valores de $n=0,035$, $0,10$, y $0,040$, los cuales corresponden a corrientes naturales, menores en ríos en planicies, pero que se diferencian en cuanto a su forma y tipo de vegetación.
- El polígono de inundación se generó a través del río principal y los afluentes cercanos a las poblaciones más significativas dentro de la cuenca hidrográfica,

correspondientes a los poblados de Jama, San Isidro, Convento y Eloy Alfaro; el polígono de inundación generado abarca un área de 41,63 km².

- Se crearon tres rutas de evacuación para cada poblado, considerando las rutas desde establecimientos o lugares, donde existen gran aforo de habitantes y han sido inundados, hacia lugares seguros donde no se presentaba este fenómeno natural.
- Para el cálculo de campos en la red de ejes viales se usaron velocidades de 40km/h para caminos agrícolas/forestales, 50 km/h para caminos básico y 100 km/h para carreteras de mediana capacidad, todos establecidas en función de las normativas vigentes.
- La generación de rutas es muy manejable, con la creación de un Network Dataset, ya que esta herramienta nos permite operar de la manera que mejor convenga una red diseñada, en este caso el estudio corresponde a una red vial.

Recomendaciones

- Para el uso de la extensión Hec-GeoRAS y el programa Hec-RAS, es indispensable crear de manera adecuada las secciones transversales en el río, usando la extensión antes mencionada, es decir, se deben tomar todas las precauciones en cuanto a la distancia entre cortes o también denominado como abscisado, ya que en muchas ocasiones cuando ciertos tramos del río son sinuosos, los cortes llegan a chocarse, generando errores los cuales no permite avanzar con la exportación desde la extensión hacia el programa.
- El uso del programa Hec-RAS es eficiente cuando se establece en el computador que el separador de miles sea el punto, además se deben descargar las versiones compatibles con el software de ArcGIS, caso contrario no se obtendrán los resultados adecuados.
- Para la generación de redes es necesario obtener la información vial actualizada y precisa de la zona de estudio, debido a que se necesita conocer el sentido vial de cada uno de los ejes, ya que si la información es obtenida por programas como Google Maps, se encuentra el problema que no todas las calles presentan el sentido de circulación.
- Si se realiza la recopilación de información topográfica, geográfica, hidráulica, meteorológica, etc., de manera virtual, es necesario considerar que cierta información es privada; motivo por el cual el único acceso a ella es a través de solicitudes que en muchas ocasiones no son atendidas, o si lo son, demoran mucho tiempo en proporcionar la información requerida, motivo por el cual se recomienda al usuario que se anticipe con mucho tiempo antes de hacer sus solicitudes.

Bibliografía

- Aguirre Sanz, S. (21 de julio de 2014). *Geoinnova*. Obtenido de Optimización de redes con ArcGIS Network Analyst: <https://geoinnova.org/blog-territorio/optimizacion-de-redes-con-arccgis-network-analyst/>
- Álvarez Sacoto, J. A., & Calle Rivera, G. F. (2013). *Universidad de Cuenca, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Civil*. Obtenido de "ESTUDIO DE PARÁMETROS HIDRÁULICOS E HIDROLÓGICOS PARA EL DIMENSIONAMIENTO DE OBRAS PARA DRENAJE VIAL EN LA VÌA DE ACCESO AL SECTOR "LA UNIÓN" EN SANTA ISABEL – AZUAY": <https://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/4472/1/TESINA.pdf>
- Benayas Polo, R. (19 de Agosto de 2016). *GEASIG*. Obtenido de ¿Qué es HEC-RAS y para qué sirve?: <https://www.geasig.com/que-es-hec-ras-y-para-que-sirve/>
- Bermejo, E. (5 de Mayo de 2014). *Geo Innova*. Obtenido de ¿QUÉ ES LA TECNOLOGÍA ARCGIS?: <https://geoinnova.org/blog-territorio/que-es-la-tecnologia-arccgis/>
- Camino , M., Cionchi , J., López de Armentia, A., Del Río, J., & De Marco, S. (Junio de 2018). *Revista Universitaria de Geografía*. Obtenido de Estudio morfométrico de las cuencas de drenaje de la vertiente sur del sudeste de la provincia de Buenos Aires (Argentina): http://bibliotecadigital.uns.edu.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1852-42652018001100005&lng=en&nrm=iso
- CARPIO RUGEL , A. A. (24 de enero de 2018). *UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL*. Obtenido de Generación del modelo de areas de inundación del Río Catarama mediante el uso de los softwares Hec-RAS y ArcGIS: <http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/32242/1/TESINA%20GENERACI%c>

3%93N%20DE%20AREAS%20DE%20INUNDACI%c3%93N%20DEL%20R%c3%8dO%20CATARAMA.pdf

Distritales, D. (abril de 2020). *Ministerio de Transporte y Obras Públicas República del Ecuador*. Obtenido de Subsecretaria de Infraestructura del Transporte :
https://www.obraspublicas.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2020/05/RVE_Mapa_Vial_Ecuador_ABRIL2020.pdf

Dokumen. (Enero de 2015). *HIDROL SEMANA 02 CUENCAS*. Obtenido de
<https://dokumen.tips/documents/2015-1-hidrol-semana-02-cuencas.html>

Ecuador, M. d. (2013). *Volumen No. 2 - Libro A Norma para estudio y diseños viales*. Obtenido de Norma Ecuatoriana Vial NEVI-12 MTOP:
https://www.obraspublicas.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2013/12/01-12-2013_Manual_NEVI-12_VOLUMEN_2A.pdf

Empresa Pública del Agua . (s.f.). *Estudio de Plan de Aprovechamiento y Control de Agua de la Provincia de Los Ríos PACALORI*. Obtenido de
<http://www.empresaagua.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2019/03/ESTUDIO-PACALORI.pdf>

Ganadería, M. d. (2020). *SIGTierras*. Obtenido de
<https://www.agricultura.gob.ec/sigtierras/#:~:text=El%20Sistema%20Nacional%20de%20Informaci%C3%B3n,%2C%20Ganader%C3%ADa%2C%20Acuicultura%20y%20Pesca.>

GIS&Beers. (3 de Enero de 2016). *GIS&Beers*. Obtenido de HEC-GeoRAS:
<http://www.gisandbeers.com/hec-georas/>

Guacho Mueses, J. A., & Morales Alquina, J. P. (2018). *Respositorio Digital ESPE*. Obtenido de Diseño hidrológico e hidráulico del puente sobre el río Jama:
<http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/14895/1/T-ESPE-040162.pdf>

hidráulica, D. d. (2016). *Facultad de Ingeniería Universidad Nacional del Nordeste*.

Obtenido de Determinación de las características físicas de la cuenca:

<http://ing.unne.edu.ar/pub/hidrologia/hidro-tp1.pdf>

Ibañes Asensio, S., Moreno Ramón, H., & Gisbert Blanquer, J. M. (20 de Abril de 2011).

Universidad Politécnica de Valencia. Obtenido de Métodos para la determinación del coeficiente de escorrentía (c):

<https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/10781/Coeficiente%20de%20escorrent%C3%ADa.pdf>

INAMHI. (2015). *Determinación de ecuaciones para el cálculo de intensidades*

máximas de precipitación. Obtenido de Actualización del estudio de lluvias intensas:

serviciometeorologico.gob.ec/Publicaciones/Hidrologia/ESTUDIO_DE_INTENSIDADES_V_FINAL.pdf

INAMHI. (Junio de 2017). *Anuario Meteorológico* . Obtenido de

<https://drive.google.com/file/d/1BEYmGnfVCXZmb9m6IAcCmMJwXx3zSqDN/view>

issue. (10 de Noviembre de 2011). *issue*. Obtenido de Mapas parte 1:

https://issuu.com/inamhi/docs/mapas_parte_1/21

Lux Cardona, B. (6 de Mayo de 2016). *Repositorio del Sistema Bibliotecario Universidad*

San Carlos de Guatemala. Obtenido de Conceptos básicos de Morfometría de Cuencas Hidrográficas.:

<http://www.repositorio.usac.edu.gt/4482/1/Conceptos%20b%C3%A1sicos%20de%20Morfometr%C3%ADa%20de%20Cuencas%20Hidrogr%C3%A1ficas.pdf>

Montero Maté, M. (s.f.). *Universidad Complutense de Madrid*. Obtenido de Estimación

de la precipitación máxima probable en una cuenca hidrográfica como parámetro

de riesgo :

https://app.mapfre.com/documentacion/publico/es/catalogo_imagenes/grupo.do?path=1018121#:~:text=La%20%3C%3CPrecipitaci%C3%B3n%20M%C3%A1xima%20Probable.,tendencias%20clim%C3%A1ticas%20a%20largo%20plazo.

Públicas, M. d. (25 de junio de 2012). *Reglamento a la Ley de Transporte Terrestre Tránsito y Seguridad Vial*. Obtenido de <https://www.obraspublicas.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/03/Decreto-Ejecutivo-No.-1196-de-11-06-2012-REGLAMENTO-A-LA-LEY-DE-TRANSPORTE-TERRESTRE-TRANSITO-Y-SEGURIDAD-VIA.pdf>

Sánchez, J. (07 de Marzo de 2016). *Slideshare*. Obtenido de Laboratorio de hidráulica de canales: <https://www.slideshare.net/juank84/laboratorio-de-hidraulica-de-canales>

Sandoval Erazo, W. (2019). *Diseño de Obras Hidrotécnicas*. Sangolquí: David Cabrera Reinoso, B.A.

Solano Zúñiga, T. D., & Vintimilla Villavicencio. (21 de octubre de 2013). *Universidad de Cuenca*. Obtenido de Estudio fluviomorfológico del Río Vinces y determinación de las áreas de inundación de la zona de influencia del Proyecto Pacalori aplicando Hec-GeoRAS: <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/4628/3/TESIS%20%282%29.pdf>

UNIVERSO, E. (20 de Febrero de 2020). *COE declara en emergencia al cantón Jama de Manabí por fuertes lluvias*. Obtenido de <https://www.eluniverso.com/noticias/2020/02/20/nota/7748706/coe-declara-emergencia-canton-jama-manabi-fuertes-lluvias/>

Vega Panta, L. Á. (1 de marzo de 2016). *CAEG - Centro de Altos Estudios en*

Geomática. Obtenido de Análisis de redes: <https://www.youtube.com/watch?v=-hxVcpxQQ84>

Villegas, P. (18 de Agosto de 2014). *Agua y SIG*. Obtenido de Tiempo de concentración

de la cuenca: <https://aguaysig.com/tiempo-de-concentracion-de-la-cuenca/>

Anexos

Anexo A.

Ubicación cuenca hidrográfica

Cuenca hidrográfica “Jama”

Modelo digital del terreno

Río principal

Red hidrológica

Anexo B.

Mapa de pendientes

Polígono de inundaciones en poblados de la cuenca hidrográfica

Cuadro de resumen de los parámetros morfométricos

Anexo C.

Rutas de evacuación ante inundaciones de la ciudad de Jama

Ruta 1: Iglesia Adventista del Séptimo Día Jama – Estadio Arnulfo Cevallos

Intriago

Ruta 2: Hotel Ciragan - Estadio Arnulfo Cevallos Intriago

Ruta 3: El mono aullador - Estadio Arnulfo Cevallos Intriago

Anexo D.

Rutas de evacuación ante inundaciones de la parroquia San Isidro

Ruta 1: Iglesia San Isidro – Santuario Virgen de Guadalupe

Ruta 2: Maternidad San Isidro - Santuario Virgen de Guadalupe

Ruta 3: Estación de servicio - Santuario Virgen de Guadalupe

Anexo E.

Rutas de evacuación ante inundaciones de la parroquia Convento

Ruta 1: Centro de Salud Convento – Estadio Convento

Ruta 2: Sala de Reuniones de los Testigos de Jehová - Estadio Convento

Ruta 3: Tenencia Política de Convento - Estadio Convento

Anexo F.

Rutas de evacuación ante inundaciones de la parroquia Eloy Alfaro

Ruta 1: Subcentro de Salud Parroquia Eloy Alfaro – Zona segura

Ruta 2: Iglesia Católica Eloy Alfaro – Zona segura

Ruta 3: UPC Eloy Alfaro Chone Manabí - Zona segura