



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
Facultad de Tecnología de la Construcción

Monografía

**EVALUACIÓN HIDROLOGICA E HIDRAULICA MEDIANTE LA APLICACIÓN DE
MODELOS, DEL PUENTE LA ZOMOPERA, PANTASMA**

Para optar al título de ingeniero civil

Elaborado por

Br. Helen Coralia Mendoza Gutiérrez.

Br. María Gabriela González Calero.

Tutor

M. Sc. Ing. Ricardo Javier Fajardo González.

Managua, diciembre 2017

DEDICATORIA

A Dios por su eterno amor y misericordia, por ser el fundamento de mi vida, por guiarme en mis metas y enseñarme que todo lo que se hace de la mano de Él es bueno.

A mi madre Auxiliadora Gutiérrez por cuidarme y enseñarme a ser valiente, a nunca darme por vencida, por darme su apoyo y consejos, por luchar por nuestra familia y amarme incondicionalmente.

A mi padre Henry Mendoza por ser mi ejemplo de humildad, amor y trabajo, por sus consejos y esfuerzo, por priorizar nuestra familia, por proveer lo necesario para cumplir mis sueños y creer en mí siempre.

A mis hermanos por amarme y cuidarme, por estar incondicionalmente conmigo, por apoyarme en esta meta, los amo con toda mi alma.

A mi tío Hugo Mendoza (q.e.p.d) por creer en mí siempre, por ser mi motivación y una de las personas que más he admirado en mi vida, y estoy segura que estarás orgulloso de mí.

Br. Helen Coralía Mendoza Gutiérrez.

DEDICATORIA

A Dios el Eterno por darme las fuerzas sabiduría y perseverancia siempre para cumplir esta meta por su amor incondicional y en todo momento estar a mi lado.

A mi madre María Elena Calero Valdivia por ser una mujer virtuosa, esforzada luchadora y dedicada con su amor y apoyo incondicional siempre ha estado a mi lado.

A mi Abuelita Ana María Ocampo por sus oraciones y palabras de sabiduría que me da en los momentos difíciles.

A mis hermanos Carlos González, Adania Juárez, Lennyn Juárez por ser parte de mi vida y apoyarme en todo.

Proverbios 16:3 “Pon todo en manos del Señor, y tus planes tendrán éxito”.

Br. María Gabriela González Calero.

AGRADECIMIENTOS

A Dios por brindarnos sabiduría, paciencia, perseverancia, salud y ponernos personas que formaron parte muy importante de este proceso.

A nuestras familias por su apoyo incondicional, por estar pendientes de todo lo que necesitamos hasta el final, por su amor continuo.

A nuestro tutor M. Sc. Ing. Ricardo Javier Fajardo González por motivarnos desde que cursamos la asignatura de hidrología, por exigirnos, guiarnos y estar con nosotras hasta el final de nuestra monografía.

A Ing. Elías Bladimir González por apoyarnos de gran manera, por compartir sus conocimientos y tiempo en todo este proceso.

A la Alcaldía de Santa María de Pantasma por su disponibilidad al brindarnos información y aprobación de relacionarnos con el proyecto.

RESUMEN EJECUTIVO

El presente trabajo monográfico consiste en realizar una evaluación hidrológica e hidráulica en la obra de drenaje puente la Zompopera cuya estación meteorológica principal es Jinotega, pertenece a la cuenca 055 Río Grande de Matagalpa, está ubicada en el departamento de Jinotega, en el municipio de Jinotega.

Tiene la finalidad de realizar dicho estudio con un rendimiento más óptimo gracias a los avances tecnológicos que se han facilitado por los programas computarizados como el HEC- HMS, HEC- RAS y ArcGis los cuales utilizamos.

La delimitación de la cuenca se realiza mediante ArcGis 10.2.2, determinando el punto de estudio el cual se divide en 5 sub cuencas donde se obtienen sus parámetros generales, de forma y todas las características de su red de drenaje. Una vez construido el modelo se exportan los datos a HEC- HMS 4.2. Mediante un hietogramas construido con el método de bloque alterno con un periodo de 100 años y 50 años, el tránsito de caudales es calculado por el método Muskingum – Cunge. Se encuentran los caudales en el punto de cierre.

Luego se realiza un análisis hidráulico el cauce principal utilizando el modelo HEC-RAS v. 5.0.3. Cuyos datos geométricos se obtienen mediante un levantamiento topográfico de al menos 4 secciones transversales del puente la Zompopera. Se utiliza caudal calculado para la determinación de las crecidas y niveles de agua.

Para el análisis de socavación se utiliza el modelo HEC-RAS v. 5.0.3.

INDICE

CAPITULO I: GENERALIDADES	1
1.1. INTRODUCCIÓN	1
1.2. ANTECEDENTES	3
1.3. JUSTIFICACIÓN	5
1.4. OBJETIVOS	6
1.4.1. Objetivo general.....	6
1.4.2. Objetivos específicos.....	6
1.5. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO	7
1.5.1. LOCALIZACIÓN.....	7
1.5.2. CARACTERÍSTICAS SOCIO- ECONÓMICAS	9
1.5.3. GEOGRAFÍA Y CLIMA	9
1.5.4. CARACTERÍSTICAS DEL CAUCE	10
1.5.5. DESCRIPCIÓN DE LA OBRA DE DRENAJE EXISTENTE	11
CAPITULO II: MARCO TEORICO.....	13
2.1. ANÁLISIS HIDROLÓGICO.....	13
2.1.1. Definición de hidrología	13
2.1.2. Ciclo hidrológico	15
2.1.2.1. Atmosfera estándar.....	16
2.1.2.2. Temperatura.....	17
2.1.2.3. Radiación solar.....	17
2.1.2.4. Humedad atmosférica.....	18
2.1.2.5. Viento	18
2.1.2.6. Clima	19
2.1.3. Geomorfología de la cuenca.....	20
Parámetros generales.....	20
Parámetro de relieve	24
Precipitación.....	26
Escorrentía.....	29
Tránsito de Caudales	32

2.1.4.	ARC-GIS.....	33
2.1.5.	HEC-HMS.....	37
2.2.	ANÁLISIS HIDRÁULICO.....	41
2.2.1.	Introducción al Modelo HEC-RAS.....	42
2.2.2.	Componente de datos geométricos.....	42
2.2.3.	Ubicación de las secciones transversales.....	47
2.2.4.	Longitudes entre las secciones relativas del puente.....	50
2.2.5.	Áreas de flujo inefectivo en la ubicación del puente.....	51
2.2.6.	Datos geométricos del puente.....	53
2.3.	ANÁLISIS DE SOCAVACIÓN.....	58
2.3.1.	Modelo.....	58
2.3.2.	Socavación por contracción.....	58
2.3.3.	Socavación por expansión.....	59
2.3.4.	Profundidad total de socavación.....	60
CAPITULO III: DISEÑO METODOLÓGICO.....		61
3.1.	Información.....	61
3.2.	Modelación.....	61
3.2.1.	Análisis Hidrológico.....	61
3.2.2.	Modelo para análisis hidráulico y de socavación.....	67
3.3.	Resultados, conclusiones y recomendaciones.....	72
CAPITULO IV: ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....		73
4.1.	Morfología de la cuenca.....	73
4.1.1.	Delimitación de la cuenca.....	73
4.1.2.	Parámetros generales.....	74
4.1.3.	Parámetros de forma.....	74
4.1.4.	Parámetro de relieve.....	74
4.1.5.	Características de la red de drenaje.....	74
4.1.6.	Análisis e interpretación de las características morfológicas de la cuenca.	75
4.2.	ESTUDIO HIDROLÓGICO.....	76
4.2.1.	Procesamiento de la información.....	76

4.2.2. Modelación HEC-HMS.....	80
4.2.3. Resultados.....	87
4.2.4. Análisis e interpretación del estudio hidrológico	89
4.3. ESTUDIO HIDRÁULICO	90
4.3.1. Datos y modelación	90
4.3.2. Parámetros hidráulicos	97
4.3.3. Resultados.....	98
4.3.4. Análisis e interpretación del estudio hidráulico	105
4.4. ESTUDIO DE SOCAVACIÓN	105
4.4.1. Datos y modelación	105
CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	108
5.1. CONCLUSIONES.....	108
5.1. RECOMENDACIONES	109
BIBLIOGRAFÍA	110
ANEXOS	

INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Macro localización del sitio.....	7
Figura 2: Micro localización del sitio estudio.....	8
Figura 3: Río la Zompopera aguas arriba del puente la Zompopera.....	10
Figura 4: Río la Zompopera aguas abajo del puente la Zompopera.....	10
Figura 5: Aproche de entrada.....	11
Figura 6: Vista parcial de superficie de rodamiento y aproche de salida.....	11
Figura 7: Puente la Zompopera visto desde aguas abajo.....	12
Figura 8. Ciclo hidrológico.....	15
Figura 9: Orden de drenaje.....	21
Figura 10: Perímetro de una cuenca.....	22
Figura 11: Ejemplo de Jerarquización por el método de Strahler.....	26
Figura 12: Esquema de curvas IDF.....	27
Figura 13: Esquema de hietograma por el método del bloque alterno.....	29
Figura 14: Grafica de efecto de retardo y atenuación en un hietograma de entrada y salida.....	32
Figura 15: Almacenamiento en cauce según el método Muskingum.....	33
Figura 16: Sistema esquemático de un río.....	43
Figura 17: Esquema del cauce: flujo del río, secciones transversales.....	44
Figura 18: Cuadro de diálogo HEC-RAS para datos de sección transversal.....	45
Figura 19: Ejemplo de áreas de flujo inefectivo.....	46
Figura 20: Ejemplo de modelación hidráulica de un puente.....	47

Figura 21: Esquema de las secciones.....	50
Figura 22: Ejemplo de porciones de áreas inefectivas de flujo secciones 2-2 3-3.....	51
Figura 23: Ejemplo de área inefectiva del flujo de agua, aguas arriba y abajo.....	52
Figura 24: Velocidad de caída w en dependencia de $D50$	59
Figura 25: Modelo de la cuenca y sus elevaciones.....	73
Figura 26: Jerarquización de la red fluvial.....	75
Figura 27: Uso de suelo.....	77
Figura 28: Tipo de suelo.....	78
Figura 29: Numero de curva.....	79
Figura 30: Modelo de la cuenca.....	81
Figura 31: Métodos utilizados en sub cuencas representativas.....	82
Figura 32: Método Utilizado en tránsito representativo.....	82
Figura 33: Hietograma generado en entrada de datos TR100.....	84
Figura 34: Hietograma generado en entrada de datos TR50.....	84
Figura 35: Especificaciones de control.....	85
Figura 36: Modelo meteorológico.....	86
Figura 37: Hidrograma especificado de cada sub cuenca.....	86
Figura 38: Gráfica del caudal para el punto de cierre TR100.....	88
Figura 39: Tabla de resultados para el punto de cierre TR50.....	88
Figura 40: Esquema del río en estudio.....	90
Figura 41: Sección transversal inicio de la estación 452.52.....	91

Figura 42: Sección transversal inicio de la estación 0.....	92
Figura 43: Fotografía del cauce y sus coeficientes de Manning.....	93
Figura 44: Esquema del puente aguas arriba para ambos periodos de 50 y 100 años.....	95
Figura 45: Esquema del puente aguas abajo para ambos periodos de 50 y 100 años.....	96
Figura 46: Caudal ingresado.....	97
Figura 47: Condición de frontera.....	97
Figura 48: Perspectiva perfil hidráulico evaluado vista en 24 grados.....	98
Figura 49: Perspectiva perfil hidráulico evaluado vista en 90 grados.....	99
Figura 50: Perfil hidráulico.....	100
Figura 51: Esquema de socavación.....	106

CAPITULO I: GENERALIDADES

1.1.INTRODUCCIÓN

La vulnerabilidad de los países centroamericanos es muy grande, en especial, por la debilidad de los programas de diagnóstico y de prevención. Las leyes son desactualizadas o no existen y, frecuentemente, son ignoradas, no sólo por los empresarios, sino también por los organismos estatales cuyo derecho y obligación debería ser la implementación de esas leyes para reducir los niveles de riesgo.

El presente trabajo de investigación, toma en consideración la construcción del puente la Zompopera, ubicado en Pantasma la cual es una región en el departamento de Jinotega, Nicaragua. Trata de la evaluación hidrológica e hidráulica para determinar las áreas más críticas mediante la aplicación de modelos. Para el proceso de esta evaluación es necesario recopilar información de fuentes especializadas en el área hidrológica, principalmente INETER un ente del estado que proporciona la regulación o manipulación de cada uno de los datos geología, uso de suelo y meteorología.

Generalmente la zona de estudio que se evaluará posee numerosas quebradas, en la hidrografía del municipio se encuentra la corriente caudalosa y delgada del rio Pantasma. Tiene como objetivo estimar las condiciones hidrológicas e hidráulicas requeridas para un nuevo puente en Pantasma.

Se realizará un análisis hidráulico en la cuenca numero 055 Jinotega con la que se trabajará mediante la aplicación de los modelos anteriormente mencionados HEC-RAS versión 5.0.3 y HEC-HMS versión 4.2.1, para esto se utilizará secciones transversales topografía parámetros hidráulicos tales como: velocidad de flujo, profundidad etc. Se derivaran tormentas de diseño para diferentes períodos de retorno con base en la información de precipitación disponible en el área de estudio (curvas de intensidad de lluvia de la estación Jinotega).

La caracterización morfológica de la cuenca así como sus condiciones actuales serán la base para definir los parámetros de los modelos de abstracciones y de transformación que se utilizó en el programa.

1.2. ANTECEDENTES

El territorio nicaragüense está dividido en 21 cuencas. Dentro de las cuencas y sobre las vías se sitúan distintas obras de drenaje. Su vulnerabilidad se evidenció con el paso del Huracán Mitch en octubre de 1998 el cual causó una destrucción parcial en 71 puentes. Asimismo, el invierno del año 2007 con fuertes lluvias y el paso del Huracán Félix causó daños, tomando como medida correctiva el Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI) la implementación del Plan de Emergencia de la Red Vial Invierno 2007.

Gracias a los avances tecnológicos se ha mejorado y facilitado el estudio reemplazando métodos anteriores y trabajando mediante software de modelación hidrológica e hidráulica.

A continuación se muestran una serie de estudios aplicando esta metodología en diferentes puntos de control, con diferentes versiones de software pero cuya necesidad medular es la misma;

Ing. Ricardo Javier Fajardo González, 2006. “Evaluación Hidráulica mediante el uso de los modelos, del tramo final del río Villalobos” Estudio especial presentado a la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos –ERIS.

Br. Sujey de los Ángeles Flores Escoto y Br. Carlos Ramón Collado Sandino/ Ingeniería Agrícola, Mayo del 2007. Monografía; “Estudio Hidrológico Orientado a Amenazas por Inundación en la Cuenca del Río Grande de Carazo” UNI- RUPAP.

Br. Jennifer Tamara Huembes Abarca, Br. Daysi Karelia Luna Zepeda/ Ingeniería Civil, Diciembre, 2012 “Evaluación Hidrológica e Hidráulica del cauce sin revestir Tangara Managua” utilizando la versión de HEC-RAS 4.0.

Br. Jairo Ramón Muñoz Pérez, Br. Oscar Daniel Silva Paredes, Mikeline Amparo Pérez Rivas/ Ingeniería Civil, febrero, 2013 “Análisis Hidrológico e Hidráulico del drenaje Pluvial del cauce villa Canadá Managua” utilizando HEC-HMS versión 3.5.

Br. Lester David Blandón Lumbi, Br. Jimmy Alberto Cruz Centeno, Br. Ignacio Antonio López Reyes/Ingeniería Civil, Abril, 2014 “Estudio Hidrotécnico para determinar la Estructura de Drenaje requerida para el Cruce Vehicular y Peatonal sobre el cauce las Jaguitas en vía de acceso a Sabana Grande” utilizando el modelo HEC-HMS versión 3.5 y la modelación hidráulica HEC-RAS versión 4.1.0 y cálculo de socavación.

Br. Jersson Manuel Acevedo Guevara, Br. Víctor Alfonso Mendoza Huembes /Ingeniería Civil, Octubre, 2015 “Evaluación Hidrotécnica del puente la Trinidad tramo empalme la Trinidad-San Rafael del Sur” elaborado en octubre del 2015 utilizando el Modelo Hidrológico HEC-HMS versión 3.5 la Modelación para el esquema de Cauce la Trinidad HEC-RAS versión 4.1.0 y modelo del puente la Trinidad HEC-RAS versión 3.5

1.3. JUSTIFICACIÓN

En toda obra hidráulica es de suma importancia realizar un estudio hidrológico e hidráulico para asegurar la ejecución de las mismas ya que son las que aportan gran parte al mejoramiento de la infraestructura del país.

El propósito de este estudio es simular el comportamiento hidrológico de la cuenca donde estará ubicado el puente la Zomopera con la ayuda de modelos matemáticos que resultan imprescindibles para lograr un objetivo difícilmente alcanzable por otros medios menos costosos. También se justifica el estudio de la cuenca por el riesgo de inundación por la gran superficie de usos y actividades económicas que se desarrollan en la zona. Los modelos facilitaran la manipulación de las variables que intervienen en el proceso lluvia-caudal aportan datos sobre la distribución espacial de la escorrentía superficial y mejoran la calidad de la cartografía temática.

La existencia de urbanizaciones, comunidades y zonas de cultivo aledañas al río justifican la realización del estudio.

El desarrollo del estudio permitirá conocer el riesgo al que están sometidas las obras e inversiones realizadas, además de evaluar el proyecto en ejecución del puente que cursa el río. Los modelos utilizados constituyen una herramienta de suma importancia en el análisis con la cual se puede pronosticar los riesgos asociados en la formulación de proyectos de desarrollo en la zona de estudio.

1.4. OBJETIVOS

1.4.1. Objetivo general

Evaluar a través de un análisis hidrológico e hidráulico el puente la Zompopera ubicado en Pantasma aplicando los Modelos, HEC-HMS versión 4.2, HEC-RAS versión 5.0.3

1.4.2. Objetivos específicos

1. Caracterizar el área de la cuenca en estudio.
2. Evaluar la información hidroclimática para el análisis de crecida.
3. Realizar el levantamiento topográfico de al menos 4 secciones transversales a la altura del puente la Zompopera.
4. Aplicar los modelos HEC-HMS versión 4.2, HEC-RAS versión 5.0.3 para la determinación de las crecidas y los niveles de agua.
5. Evaluar la socavación del puente producto de las crecidas.

1.5. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

1.5.1. LOCALIZACIÓN

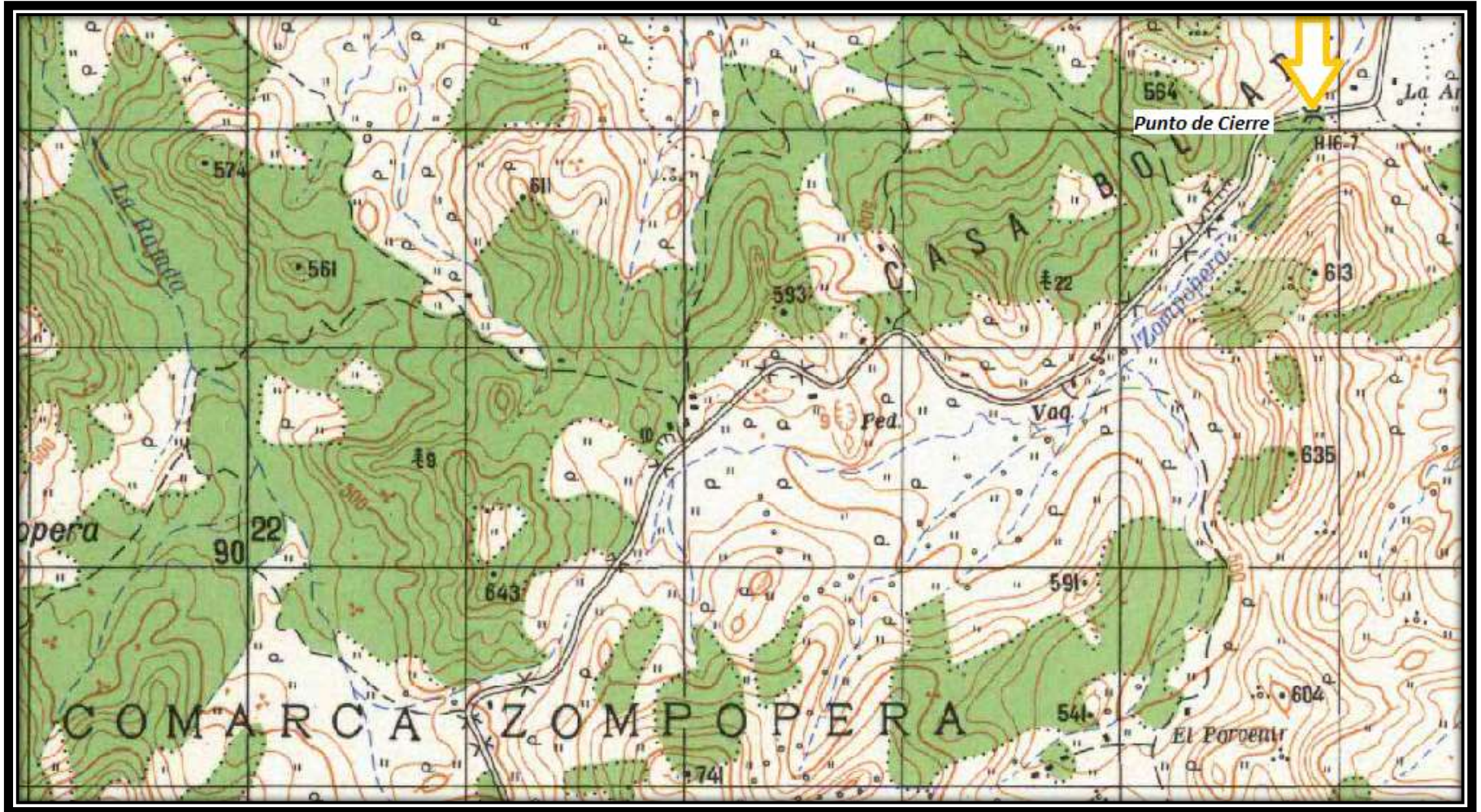
El puente la Zompopera está ubicado en el departamento de Jinotega, en el municipio de Santa María de Pantasma, comarca la Zompopera. La estación meteorológica principal de Jinotega, pertenece a la cuenca 055 Río Grande de Matagalpa, está ubicada en el departamento de Jinotega, en el municipio de Jinotega; Código 055020, Coord. X 604560.453 y Coord. Y 1447821.99

Figura 1: Macro localización del sitio



Fuente: Dibujado y editado en Adobe Illustrator

Figura 2: Micro localización del sitio estudio



Fuente: ArcMap versión 10.2.2

1.5.2. CARACTERÍSTICAS SOCIO- ECONÓMICAS

Las principales actividades económicas son la agricultura, basada en maíz, frijoles y café, así como la ganadería.

1.5.3. GEOGRAFÍA Y CLIMA

El municipio de Santa María de Pantasma presenta tres tipos de clima sabana tropical de altura. Existe una marcada estación seca entre los meses de noviembre al mes de abril. El período lluvioso comprende los meses de mayo a octubre. Ver Anexo A.

De acuerdo al Sistema de Köppen modificado (Enrique García. 1988), en el país se presentan los siguientes tipos o categorías de climas:

Clima Caliente y Sub-Húmedo con Lluvia en Verano; (AW 0, AW 1, AW 2). Se caracteriza por presentar una estación seca (Noviembre - Abril) y otra lluviosa (Mayo - Octubre).

Clima Monzónico; Am. Se caracteriza por registrar un periodo lluvioso de 9 ó 10 meses, con precipitaciones anuales de 2000 mm a 4000 mm. Las lluvias disminuyen en los meses de Marzo y Abril. Las temperaturas medias anuales oscilan entre 25 °C y 26 °C.

Clima Caliente y Húmedo con Lluvia todo el Año; A (f) , En esta área llueve durante todo el año y registra acumulados anuales de precipitación de 5000 mm a 6000 mm²⁵ Las lluvias se reducen en los meses de Marzo y Abril y las temperaturas medias anuales oscilan entre 25 °C y 27 °C.

Clima Seco y Árido; BS 1, Se caracteriza por mostrar una estación seca muy severa, con temperaturas medias anuales que oscilan entre 23°C y 27°C. Clima Templado Lluvioso; C [(A) Cam y (A) Cbm]. Se caracteriza por mostrar temperaturas medias anuales del orden de los 18 C, debido a que corresponde a lugares situados arriba de los 1000 metros.

1.5.4. CARACTERÍSTICAS DEL CAUCE

Figura 3: Río la Zomopera aguas arriba del puente la Zomopera



Fuente: Elaboración propia

Figura 4: Río La Zomopera aguas abajo del puente la Zomopera



Fuente: Elaboración propia

1.5.5. DESCRIPCIÓN DE LA OBRA DE DRENAJE EXISTENTE

Figura 5: Aproche de entrada



Fuente: Elaboración propia

Figura 6: Vista parcial de superficie de rodamiento y aproche de salida



Fuente: Elaboración propia

Figura 7: Puente la Zomopera visto desde aguas abajo



Fuente: Elaboración propia

CAPITULO II: MARCO TEORICO

2.1. ANÁLISIS HIDROLÓGICO

En una obra hidráulica a evaluar se inicia con el estudio hidrológico, que se compone de un análisis morfológico de la cuenca, así como de un proceso hidrológico y los parámetros de transformación de la precipitación a escorrentía con el fin de obtener el caudal de diseño. Se pueden utilizar métodos manuales o softwares como HEC-HMS.

2.1.1. Definición de hidrología

Existen varias definiciones de hidrología, pero la más completa es quizás la siguiente:

"Es la ciencia natural que estudia al agua, su ocurrencia, circulación y distribución en la superficie terrestre, sus propiedades químicas y físicas y su relación con el medio ambiente, incluyendo a los seres vivos".

Aceptando esta definición, es necesario limitar la parte de la hidrología que se estudia en la ingeniería a una rama que comúnmente se llama ingeniería hidrológica o hidrología aplicada que incluye aquellas partes del campo de la hidrología que atañen al diseño y operación de proyectos de ingeniería para el control y aprovechamiento del agua.

El ingeniero que se ocupa de proyectar, construir o supervisar el funcionamiento de las instalaciones hidráulicas debe resolver numerosos problemas prácticos de muy variado carácter. Por ejemplo, se encuentra con la necesidad de diseñar puentes, estructuras para el control de avenidas, presas, vertedores, sistemas de drenaje para poblaciones, carreteras y aeropistas y sistemas de abastecimiento de agua. Sin excepción, estos diseños requieren de análisis hidrológicos cuantitativos para la selección del evento de diseño necesario.

El objetivo de la hidrología es la determinación de esos eventos, que son análogos a las cargas de diseño en el análisis estructural, por poner un ejemplo de la ingeniería civil. Los resultados son normalmente sólo estimaciones, con aproximación limitada en muchos casos y burda en algunos otros. Sin embargo, estas estimaciones rara vez son menos aproximadas que las cargas usadas en el análisis estructural o el volumen de tráfico en carreteras, por ejemplo. El análisis hidrológico exhaustivo es, pues, el primer paso fundamental en la planeación, diseño y operación de proyectos hidráulicos. En la fase de planeación y diseño, el análisis se dirige básicamente a fijar la capacidad y seguridad de estructuras hidráulicas.

Las dimensiones físicas o la capacidad de conducción de una estructura hidráulica se determinan, desde luego, de acuerdo con los volúmenes y gastos que se deseen almacenar, controlara transmitir. En este sentido, se requieren estudios hidrológicos para determinar la disponibilidad de fuentes naturales y para saber si el abastecimiento de la fuente es adecuado en todo tiempo, o si se requerirá de otras estructuras para corregir las deficiencias o para disponer de los volúmenes excedentes de agua. La seguridad de las presas en lo que concierne a la capacidad del vertedor y a la elevación máxima del embalse, depende, en gran medida, de la determinación de una tormenta de diseño y de su conversión a una avenida generada en la cuenca, o bien directamente de la última, y en menor grado de las olas y la marea generadas por el viento. Asimismo, la estabilidad de muros y terraplenes depende de los estudios hidrológicos e hidráulicos que definen los niveles probables del agua, así como la duración y cambios en el tiempo de dichos niveles.

La hidrología también juega un papel muy importante en la operación efectiva de estructuras hidráulicas, especialmente aquellas que se destinan a la generación de energía y control de avenidas, donde se requiere con frecuencia de pronóstico de avenidas y sequias. Es así que la hidrología, en cuanto trata con un aspecto importante y vital del medio ambiente, que es el agua, es una ciencia esencial para el aprovechamiento de los recursos hidráulicos y el diseño de obras de defensa.

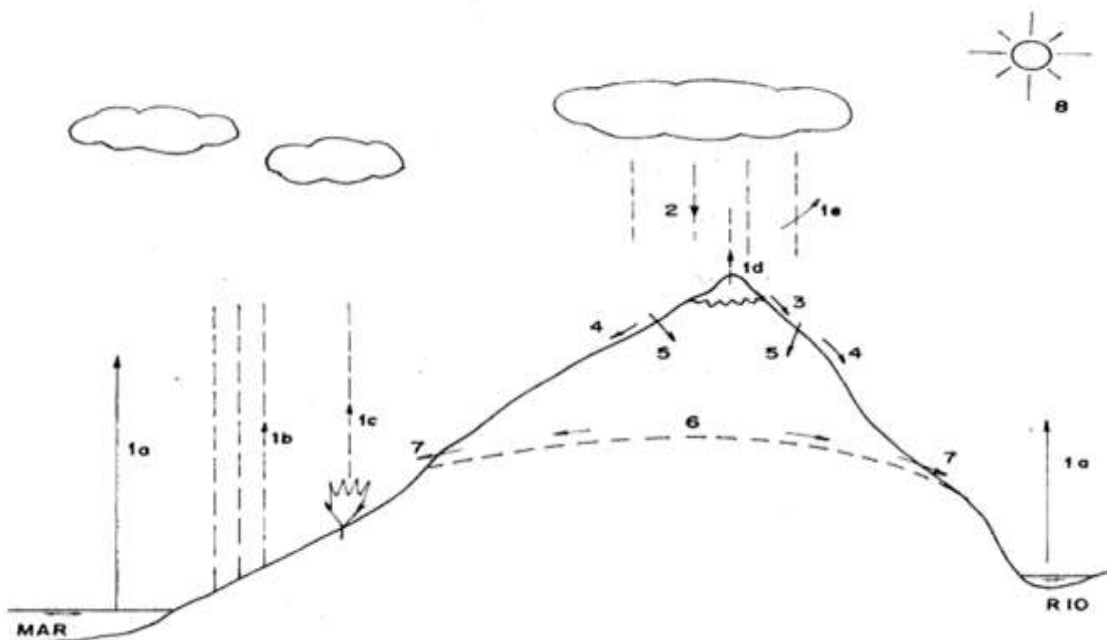
Aunque esta ciencia está lejos de tener un desarrollo completo, existen varios métodos analíticos y estadísticos que son en mayor o menor grado aceptados en la profesión ingenieril.

2.1.2. Ciclo hidrológico

Se denomina ciclo hidrológico el conjunto de cambios que experimenta el agua en la naturaleza, tanto en sus estados (sólido, líquido y gaseoso) como en su forma (aguas superficiales, aguas subterráneas, etc.).

Para la elaboración de proyectos, particularmente hidráulicos, el ingeniero requiere de datos sobre precipitación, caudal, evaporación, horas de sol, temperatura, vientos, etc. La hidrología enseña al manejo que se le da esta información, no siempre completa y muchas veces ausente en el lugar mismo del proyecto.

Figura 8. Ciclo hidrológico



Fuente: Chereque Moran, Lima, Perú. Ciclo hidrológico

(1a) Evaporación desde superficies de agua (mares, ríos).

- (1b) Evaporación desde superficies húmedas de suelo.
- (1c) Evaporación desde las plantas (transpiración).
- (1d) Evaporación desde la nieve.
- (1e) Evaporación desde la precipitación misma.
- (2) Precipitación, en forma de lluvia, nevada o granizada.
- (3) Fusión.
- (4) Escorrentía.
- (5) Infiltración.
- (6) Capas de agua subterránea.
- (7) Manantiales.
- (8) Rayos solares.

2.1.2.1. Atmosfera estándar

El interés de su estudio en Hidrología radica en que en ella tiene lugar parte del ciclo hidrológico. Se define como aquella capa de aire que rodea a la tierra y donde se realiza parte del ciclo hidrológico.

La atmósfera resulta comportándose como un gran reservorio de vapor de agua, un sistema amplio de transporte de agua y un gran colector de calor.

Composición.- La atmósfera está compuesta de aire seco y vapor de agua. La composición del aire seco es la siguiente, con los porcentajes en volumen:

Tabla 1: Composición de la atmósfera

Nitrógeno	Oxígeno	Argón	Otros gases
78%	21%	0.94%	0.06%

Fuente: Fundamentos de la Hidrología de superficie Aparicio Mijares

Estos porcentajes medios son más o menos fijos hasta una altura de unos 20 Km.

Desde el punto de vista de la variación de la temperatura la atmosfera se divide en capas. Las que se conocen de ordinario son tres:

Tropósfera Es la capa inferior de la atmosfera comprendida desde el nivel del mar hasta unos 6 km. En los polos y unos 17 km en el ecuador la temperatura disminuye a razón de 0.6 grados centígrados por cada 100 metros de ascenso se caracteriza por ser la zona de las perturbaciones atmosféricas. En ella se forman las nubes, tienen lugar los vientos, las lluvias, etc.

Estratósfera Se extiende por encima de la tropósfera hasta una altitud de 30 a 40 Km. La temperatura permanece sensiblemente constante en todo su espesor.

La superficie que separa la tropósfera de la estratósfera es la tropo pausa. Marca el límite de la atmósfera meteorológica.

Ionósfera Se ubica encima de la estratósfera y se desvanece gradualmente en el espacio. La temperatura aumenta con la altura.

2.1.2.2. Temperatura

Las estaciones meteorológicas disponen de un termómetro de máxima, un termómetro de mínima. Y algunas veces de un termógrafo. Estos aparatos están situados a 1.50 m. del suelo, en una cubierta de madera provista de persianas que permiten la libre circulación del aire, pero que protegen los termómetros de la radiación solar directa.

Por convención, la temperatura media diaria se calcula tomando la media aritmética de las temperaturas máximas y mínima, leídas en los termómetros de máxima y de mínima, respectivamente.

2.1.2.3. Radiación solar

La intensidad de la energía radiante en los confines de la atmósfera es de unos 2 cal gr/cm²/min. Durante su recorrido a través de la atmósfera terrestre, la radiación se debilita por dispersión, en las moléculas de aire seco, y por absorción, por el agua, el polvo y los gases. El resto de radiación solar que llega a la tierra constituye la radiación directa.

Radiación difusa, es la que proviene de la radiación solar previamente dispersa en la atmósfera. Puede, a veces, exceder en intensidad a la radiación directa.

Cuando ambas radiaciones inciden sobre los objetos, una parte se refleja nuevamente al aire donde a su vez vuelve a reflejar. El problema real no es tan sencillo; pero una descripción como la hecha puede ser suficiente con fines de ilustración.

2.1.2.4. Humedad atmosférica

La humedad atmosférica expresa el contenido de vapor de agua de la atmosfera, que proviene de la evaporación que tiene lugar en los espejos de agua, en los suelo, húmedos o través de las plantas.

La humedad atmosférica interesa a la Hidrología por dos motivos: por ser el origen de las aguas que caen por precipitación y porque determina en cierto modo la velocidad con que tiene lugar la evaporación.

2.1.2.5. Viento

Es un factor importante del ciclo hidrológico porque influye en el transporte del calor y de la humedad y en el proceso de la evaporación.

El viento produce olas en los embalses, olas cuya altura es necesario calcular para determinar la altura de las presas.

El viento es muy susceptible a la influencia del relieve y de la vegetación, por lo que se tiende a estandarizar su medida a algunos metros sobre el suelo. Del viento interesa su velocidad (se mide con los anemómetros.) y su dirección (se mide con las veletas). La "dirección del viento" es la dirección de donde sopla. La velocidad se expresa en m/s, Km/h o en nudos (1 nudo = 0.514 m/s = 1.85 Km/h).

A fin de tener una idea del orden de magnitud de la velocidad de los vientos, se reproduce la escala de Beaufort que consta de 13 grados:

Tabla 2: Escala de Beaufort

	Km/h
Calma	0 - 1
Ventolina	2 - 6
Viento suave	7 - 12
Viento leve	13 - 18
Viento moderado	19 - 26
Viento regular	27 - 35
Viento fuerte	36 - 44
Viento muy fuerte	45 - 54
Temporal	55 - 65
Temporal fuerte	66 - 77
Temporal muy fuerte	78 - 90
Tempestad	91 - 104
Huracán	Mayor que 104

Fuente: Fundamentos de la Hidrología de superficie Aparicio Mijares

Variación de los vientos: Durante el invierno existe la tendencia de los vientos de soplar desde las áreas interiores más frías hacia el océano que permanece a mayor temperatura. Durante el verano es al revés, los vientos tienden a soplar desde los cuerpos de agua que se mantienen a baja temperatura hacia la superficie caliente de las masas continentales. De manera similar, debido a las diferencias de temperatura entre la masa continental y el agua, se producen brisas diurnas hacia la playa o el mar.

2.1.2.6. Clima

Se deriva del griego inclinación aludiendo seguramente a la inclinación del eje terrestre. Las estaciones tienen lugar debido al movimiento de traslación de la tierra alrededor del sol, con su eje de rotación inclinado con respecto al plano de traslación.

Son numerosas las definiciones que existen de clima, pero todas ellas aluden al estado medio de la atmósfera.

Para la Organización Meteorológica Mundial, clima es el "conjunto fluctuante de condiciones atmosféricas caracterizado por los estados y la evolución del tiempo, en el curso de un período suficientemente largo en un dominio espacial determinado".

Los elementos que permiten distinguir un clima de otro son: la temperatura, la precipitación, la presión, el viento y la radiación solar. Los dos primeros son los principales.

Los factores que condicionan el clima son: la latitud, la altitud, y la continentalidad. La latitud determina la intensidad de radiación solar, la altitud determina la temperatura. La continentalidad se refiere a la mayor o menor proximidad de un lugar a los mares. Muchas veces juegan papel importante en el condicionamiento del clima las corrientes marinas. Otros factores de importancia eventual son la orientación, los vientos dominantes, la naturaleza del terreno y la vegetación.

2.1.3. Geomorfología de la cuenca

Parámetros generales

Los parámetros generales recogen los aspectos más básicos de una cuenca hidrográfica, constituyen la información mínima que se debe conocer para tener una idea general de la naturaleza y comportamiento de una cuenca.

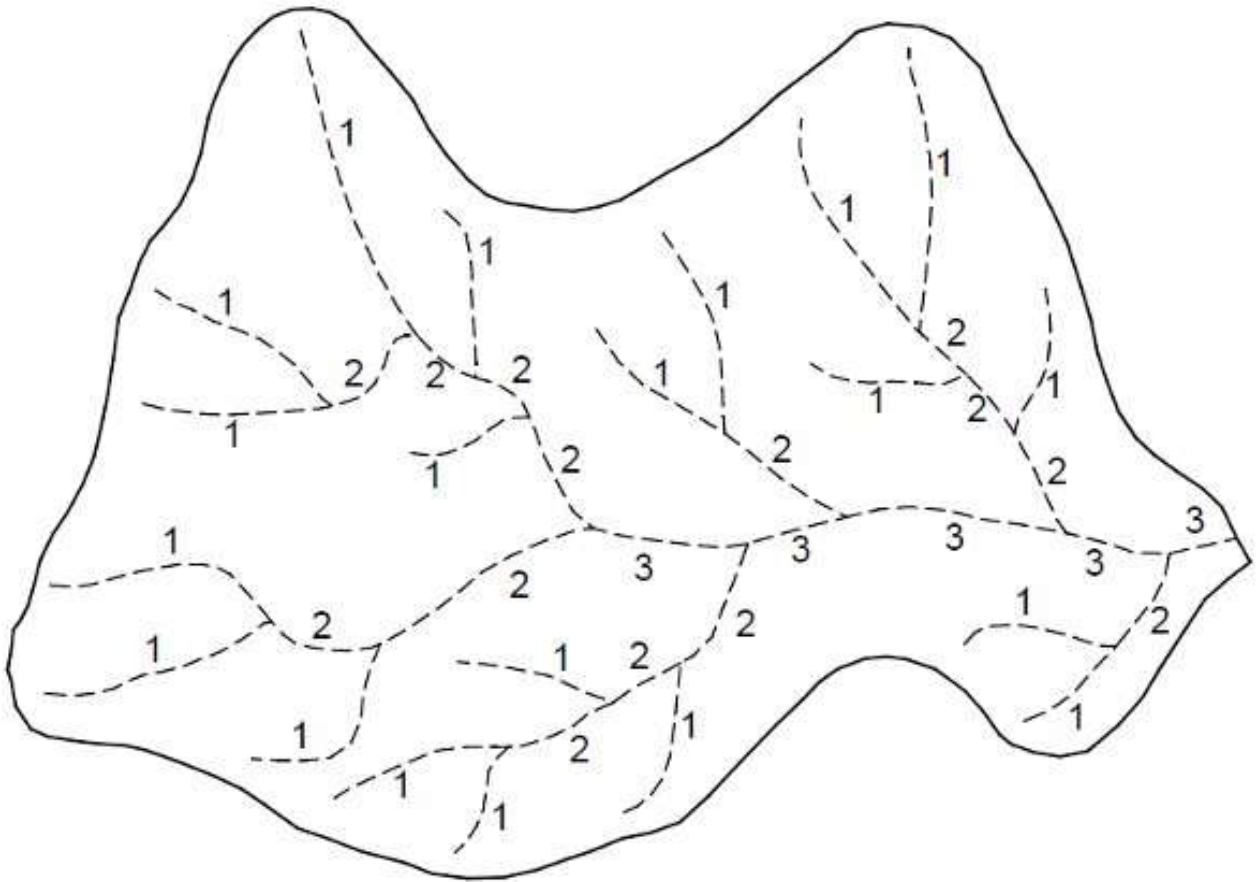
Los parámetros generales son:

a) Área de la cuenca

El área de la cuenca está definida por el espacio que delimita la curva del perímetro. La curva del perímetro se puede trazar mediante fotointerpretación de fotografías aéreas o mapas topográficos, o el empleo de softwares especializados. El área es el factor más importante en la relación escorrentía – características morfológicas.

El área se puede calcular por métodos manuales utilizando papel milimetrado o un planímetro; así como por medio de herramientas informáticas tales como softwares SIG (ArcView, ArcGis, etc.) o de dibujo asistido (ACAD, etc.)

Figura 9: Orden de drenaje



Fuente: Universidad Politécnica de Valencia. Morfología de la cuenca hidrográfica.

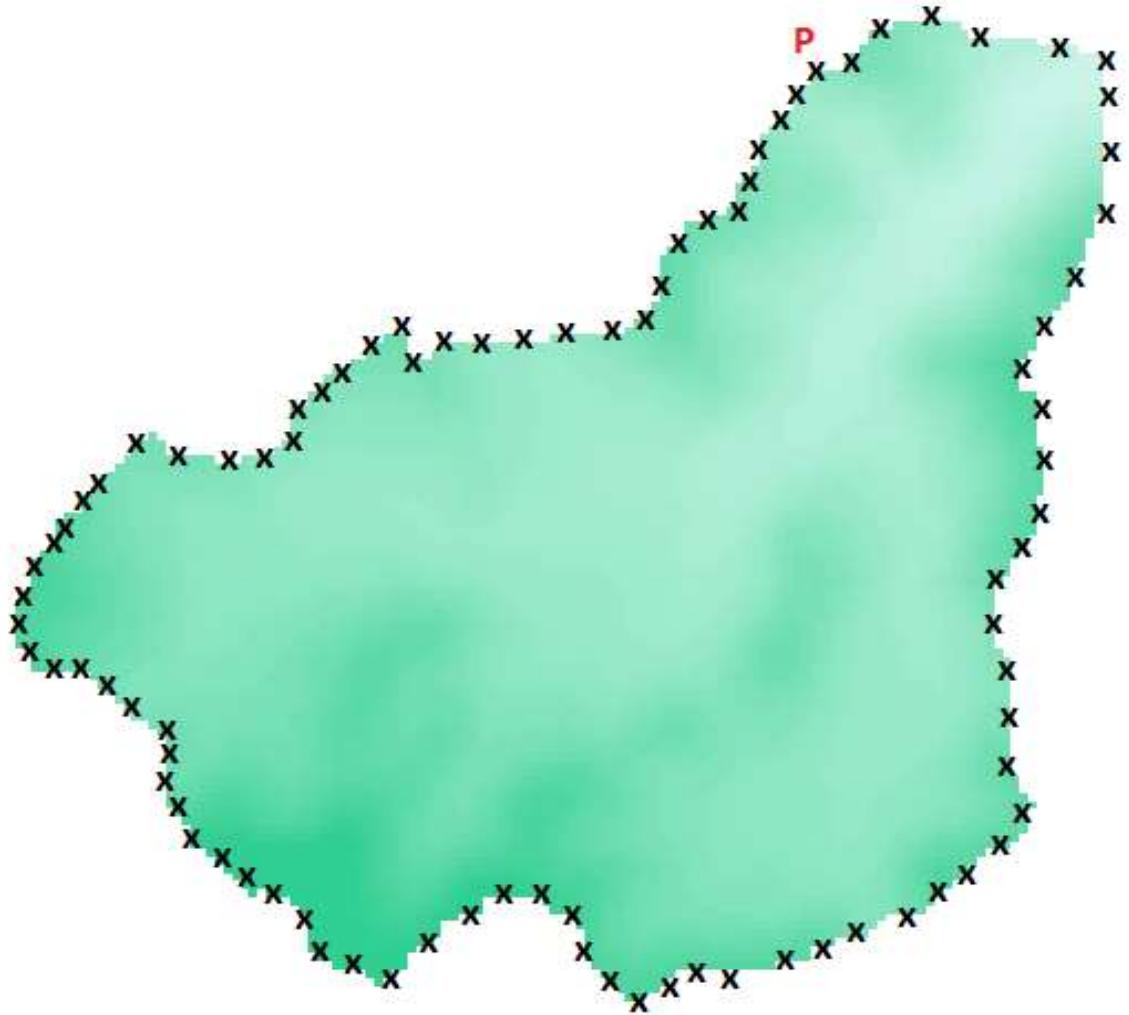
b) Longitud de cauce

La longitud de cauce es la longitud del cauce principal de la cuenca. Es la distancia equivalente que recorre el río entre el punto de desagüe, aguas abajo y el punto situado a mayor distancia topográfica, aguas arriba. Influye grandemente en la generación de escorrentía y por ello es fundamental en el cálculo de la mayoría de los índices morfométricos.

c) Perímetro

El perímetro es la longitud de la divisoria de aguas que forma la cuenca. Define la forma de la cuenca ya que para una misma superficie, los perímetros de mayor valor corresponden a cuencas alargadas mientras que los de menor valor lo hacen con cuencas redondeadas.

Figura 10: Perímetro de una cuenca



Fuente: Interface de Usuario proyecto ArcGis elaborado para la cuenca en estudio.

d) Ancho

El ancho es la relación que hay entre el área y la longitud de cauce.

e) Desnivel altitudinal

Es el valor de la diferencia entre la cota más alta del cauce llamada altura máxima y la cota más baja del cauce llamada altura mínima.

Parámetros de forma

Los parámetros de forma determinan el comportamiento hidrológico, ya que cuencas con la misma área, pero con diferente forma presentan diferentes respuestas hidrológicas. Por lo tanto, algunos parámetros tratan de cuantificar las características por medio de índices o coeficientes.

Los parámetros de forma son:

a) Coeficiente de compacidad o coeficiente de Gravelius

El coeficiente de compacidad relaciona el perímetro de la cuenca con el perímetro de una cuenca circular teórica de igual área. Este coeficiente estima la relación entre el ancho promedio del área de captación y la longitud de la cuenca. Toma siempre un valor mayor a la unidad, creciendo con la irregularidad de la cuenca.

Para una cuenca con un coeficiente de compacidad en aumento, el tiempo de concentración será mayor. De ahí, es de esperarse que la magnitud de la escorrentía generada por una precipitación en ella sea menor que en aquella que posee un menor coeficiente de compacidad. La forma de la cuenca es un indicador de la manera como se distribuyen espacialmente las tormentas y del patrón de escorrentía de la cuenca. Una forma alargada implica que el agua discurre por varios cauces hasta llegar a un cauce principal, lo cual resulta en una respuesta más lenta.

De acuerdo al valor del índice de compacidad, pueden realizarse clasificaciones sobre la elongación de las cuencas. Un ejemplo de esto es definir las como circulares, si presentan un valor, entre 1.0 y 1.25; ovaladas, entre 1.25 y 1.50; oblongas, entre 1.50 y 1.75; rectangular oblonga, entre 1.75 y 2.0; rectangular alargada, más de 2. Cabe resaltar que esta clasificación no es única, otras referencias bibliográficas pueden utilizar diferentes valores para catalogar las cuencas.

b) Factor de forma

Es una característica que incide mayormente en la tasa de velocidad a la que el flujo llega al cauce principal y luego al sitio de interés.

Cuencas con formas más alargadas y estrechas, comparadas en igualdad de condiciones con otras más anchas, poseen picos de descarga más bajos. De la misma forma, cuencas cuyo centroide se encuentra más alejado de su punto de descarga, presentan picos más bajos, es decir, a medida que esta distancia se acorta, los picos de descarga se vuelven mayores. Por lo anterior, la importancia de definir este factor muestra que el pico más elevado traslada un volumen determinado en menor tiempo, lo cual obliga a tener en cuenta este fenómeno en el diseño de la estructura de drenaje. Por consiguiente, esta situación debe advertir al diseñador sobre futuras condiciones de las obras a construir. Uno de los efectos que se pueden dar por este fenómeno es la sobre elevación del flujo a causa del remanso, dependiendo además de las condiciones de entrada de la obra.

En cuanto a la dirección de la precipitación, cuando ésta avanza de forma transversal al eje de las cuencas alargadas, las tasas de escorrentía son menores que cuando la precipitación avanza de forma longitudinal al eje. El factor de forma (K_f) es la relación entre el ancho promedio de la cuenca (B) y la longitud del curso principal del río (L). Mientras que el ancho promedio, es la relación del área de la cuenca (A) y la longitud de su cauce principal.

c) Rectángulo equivalente

Es la transformación geométrica de la cuenca real a una superficie rectangular de lados L y l del mismo perímetro de tal forma que las curvas de nivel se convierten en rectas paralelas a los lados menores del rectángulo (l). Esta cuenca teórica tendrá el mismo coeficiente de Gravelius y la misma distribución altitudinal de la cuenca original.

Parámetro de relieve

El relieve de una cuenca tiene más influencia sobre la respuesta hidrológica que su forma. De forma general se puede decir que a mayor relieve o pendiente se genera escorrentía en lapsos de tiempos menores:

El parámetro de relieve es; pendiente media del cauce o pendiente de fondo de cauce:

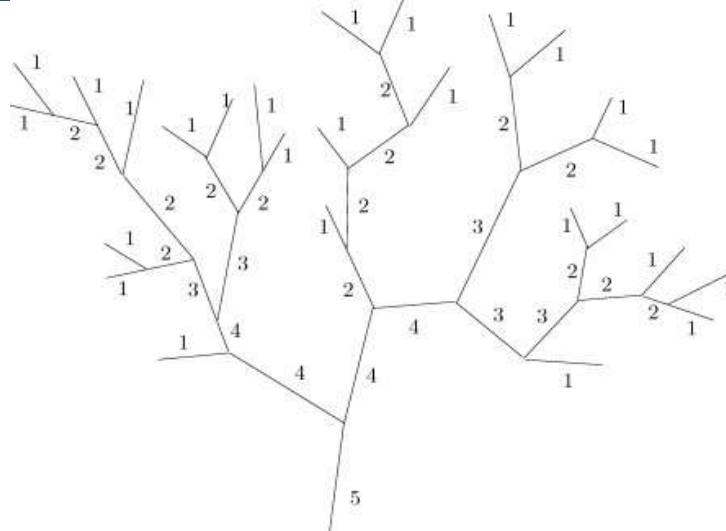
Es la relación existente entre el desnivel altitudinal del cauce y su longitud. Puede ser expresada como decimal o porcentaje.

Características de la red de drenaje

a) Jerarquización de la red fluvial

La jerarquización permite tener un mejor conocimiento de la complejidad y desarrollo del sistema de drenaje de la cuenca. El orden se relaciona con el caudal relativo del segmento de un canal. Hay varios sistemas de jerarquización, siendo los más utilizados el método de Horton y el método de Strahler. Por el método de Horton los canales van numerados en función del número de afluentes que tengan, de forma que aquel que fluye desde el origen y no tiene ningún afluente es de orden 1, mientras que uno de orden 2 recibe dos afluentes. Si un canal recibe un afluente de orden 1 y otro de orden 2, su orden será 3. El orden de los canales va aumentando de uno en uno, de forma que, aunque un canal recibiera uno de orden 2 y otro de orden 3, su orden sería 4. Cada canal tiene un único orden, que se corresponderá con el mayor que puede tener al final de su recorrido. El método de Strahler es muy parecido a Horton, con la diferencia de que un mismo canal puede tener segmentos de distinto orden a lo largo de su curso, en función de los afluentes que le llegan en cada tramo. El orden no se incrementa cuando a un segmento de un determinado orden confluye uno de orden menor.

Figura 11: Ejemplo de Jerarquización por el método de Strahler



Fuente: Universidad Politécnica de Valencia. Morfología de la cuenca hidrográfica.

b) Densidad de drenaje

Es un importante indicador de la forma del terreno y del grado de erosión que puede tener la cuenca en función de los factores geológicos, de vegetación y de tipo de suelo.

En algunos casos, la densidad de drenaje no proporciona la verdadera medida de la eficiencia de drenaje. Sin embargo, de forma general, refleja el potencial de la magnitud de inundación. A manera genérica, cuanto mayor sea el valor de la densidad de drenaje, mayor será el pico y el volumen total de la escorrentía. Generalmente, los valores van desde 0.5 km/km² para cuencas con pobre drenaje, hasta 3.5 km/km² para cuencas poco drenadas.

Precipitación

Los aspectos a considerar de la precipitación son:

a) Definición

La precipitación es el punto de partida de la mayoría de los estudios concernientes al uso y control del agua ya que es la fuente primaria del agua de la superficie terrestre.¹

¹ Aparicio Mijares, Francisco. *Fundamentos de la Hidrología de superficie*. Grupo Noriega Editores, 1992

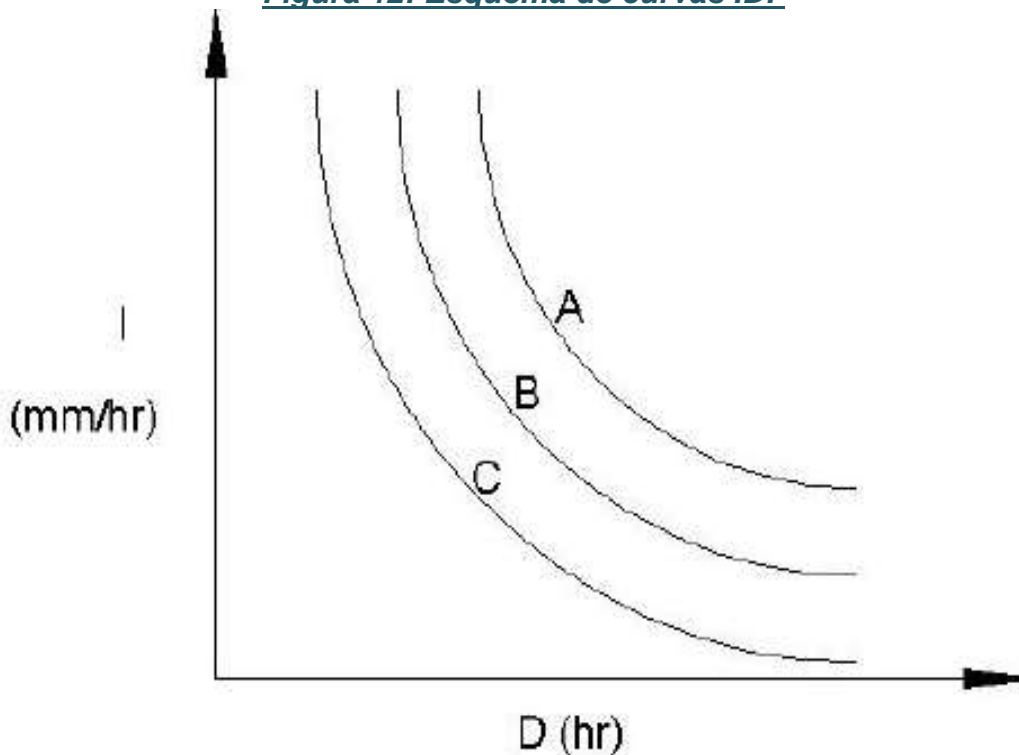
b) Estación meteorológica y su selección:

Los datos de precipitación se obtienen de las estaciones meteorológicas. En Nicaragua el funcionamiento y la administración de los datos de las mismas está a cargo del Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (INETER). De las estaciones meteorológicas existentes que miden intensidad, el Ministerio de Transporte e Infraestructura seleccionó aquellas que son representativas y dividió el territorio nacional mediante los polígonos de Thiessen para definir el área de influencia de las mismas a como lo muestra el siguiente mapa.²

c) Curvas de intensidad, duración y frecuencia

La intensidad es la profundidad de la lluvia por unidad de tiempo. Las curvas IDF relacionan las intensidades de precipitación para distintos períodos de retorno.

Figura 12: Esquema de curvas IDF



Fuente: MTI. Guía Hidráulica para el diseño de estructuras de drenaje en caminos rurales. Septiembre 2011

² MTI. Guía Hidráulica para el diseño de estructuras de drenaje en caminos rurales. Septiembre 2011

d) Período de retorno y su selección:

El período de retorno es el tiempo promedio para que un evento o suceso sea igualado o excedido. También es conocido como el intervalo de recurrencia. Para la selección del mismo se utiliza la siguiente tabla en base a la Clasificación Funcional establecida por el MTI.

Tabla 3: Períodos de retorno en base a clasificación funcional de la carretera

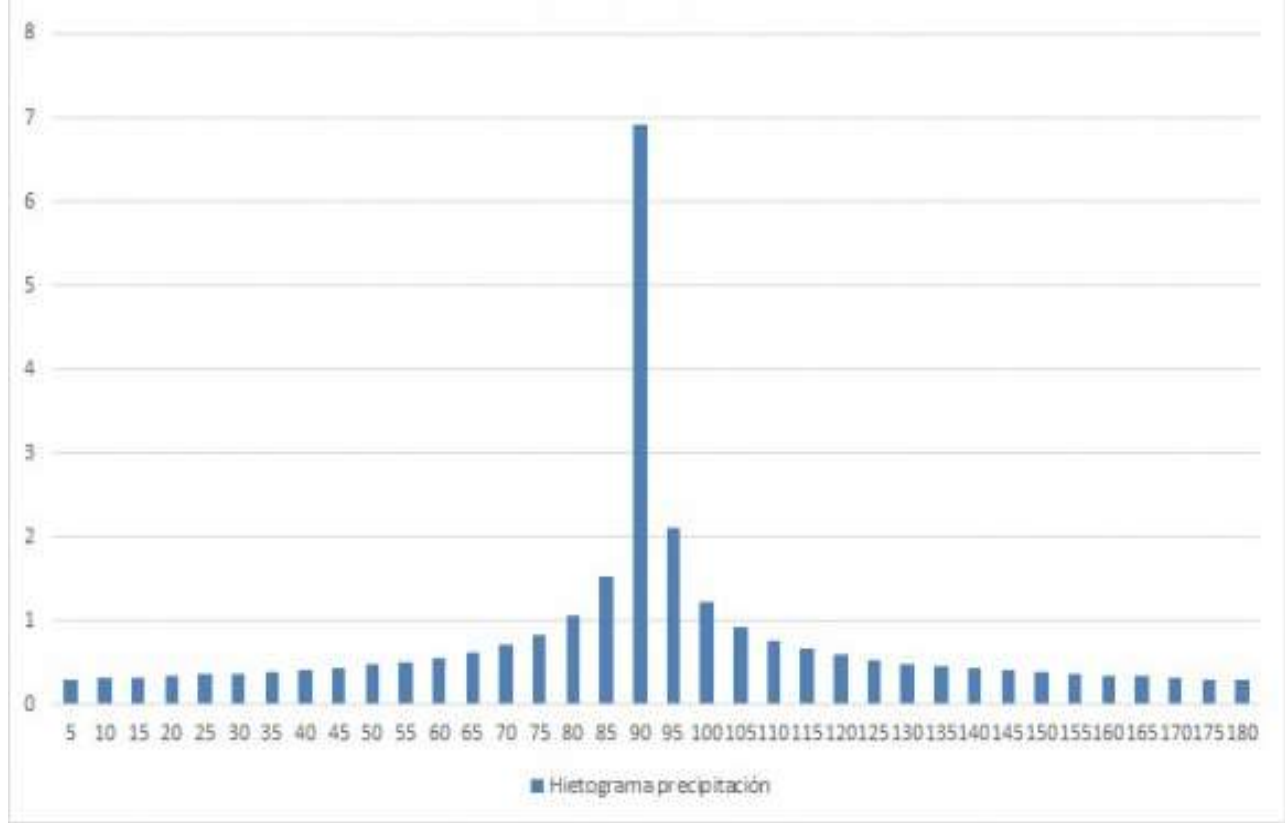
Tipo	Revisión de Flujo			
	10	25	50	100
Clasificación Funcional de Carreteras				
Troncal Principal				
Caja – Puente			X	X
Puentes Grandes			X	X
Puentes Pequeños			X	X
Troncal Secundaria				
Caja – Puente			X	X
Puentes Grandes			X	X
Puentes Pequeños			X	X
Colectora Principal				
Caja – Puente			X	X
Puentes Grandes			X	X
Puentes Pequeños	-	-	-	-
Colectora Secundaria				
Caja – Puente		X	X	X
Puentes Pequeños		X	X	X
Caminos Vecinales				
Caja – Puente		X	X	X
Puentes Grandes		X	X	X
Puentes Pequeños		X	X	X

Fuente: MTI. Manual para la revisión de estudios hidrotécnicos de drenaje mayor. Octubre 2008

e) Método del bloque alterno

Metodología que permite desarrollar un hietograma utilizando como base las curvas IDF. El método produce un hietograma que da la profundidad de la precipitación que ocurre en una serie de intervalos de un tiempo especificado. Se toma la diferencia entre los valores de profundidad de precipitación y se añade. El hietograma es ordenado de tal forma que la intensidad máxima quede en el centro de la duración requerida.

Figura 13: Esquema de hietograma por el método del bloque alterno



Fuente: Olivares, Jordi. Como obtener hietogramas a partir de Curvas IDF. <http://www.hidrojing.com/como-obtener-hietogramas-a-partir-de-curvas-idf-para-hec-hms-y-swmm/>

Escorrentía

Los aspectos a considerar en la escorrentía son:

a) Definición³

Escorrentía o escurrimiento es el agua que circula sobre o bajo la superficie de la tierra producto de la precipitación y que llega a una corriente para ser drenada al final de la cuenca.

b) Tiempo de concentración⁴

El tiempo de concentración (t_c) se define como el tiempo mínimo necesario para que todos los puntos de una cuenca aporten agua de escorrentía de forma simultánea al punto de salida de ésta.

³ Chow, Ven Te; Maidment, David R; Mays, Larry W. Hidrología aplicada. McGraw Hill. 1994

⁴ COMITRAN. Manual de Consideraciones Técnicas Hidrológicas e Hidráulicas para la Infraestructura Vial en Centroamérica. SIECA. 2016

Está determinado por el tiempo que tarda en llegar a la salida de la cuenca el agua que procede del punto hidrológicamente más alejado, y representa el momento a partir del cual el caudal de escorrentía es constante; el punto hidrológicamente más alejado es aquél desde el que el agua de escorrentía emplea más tiempo en llegar a la salida.

Se debe seleccionar para un determinado periodo de retorno la intensidad que corresponde a una duración de la lluvia igual al tiempo de concentración de la cuenca.

Existen una serie de fórmulas que permiten el cálculo de este tiempo, en Nicaragua se utiliza la fórmula del Proyecto Hidrometeorológico Centroamericano (PHCA) desarrollada por el Ingeniero Basso y colaboradores.

c) Pérdidas

Pérdida es la diferencia entre la precipitación total y la precipitación neta. Existen una serie de métodos para calcular la pérdida en una cuenca hidrográfica. Cada método tiene sus restricciones en el tamaño de las sub cuencas, así como en sus aplicaciones, a como se detalla en la siguiente tabla.

Tabla 4: Restricciones en el uso de métodos hidrológicos

Método	Limitación de Tamaño	Comentarios
Racional	0 – 3.0 km ²	El Método puede ser usado para la estimación de flujos picos y el diseño de sitios pequeños o subdivisión de sistemas de alcantarillado pluvial. No usarse para diseñar almacenamientos.
SCS	0 – 8.1 km ²	El Método puede ser usado para la estimación de flujos picos e hidrogramas para todas las aplicaciones de diseño.
USGS	0.10 – 64.75 km ²	El Método puede ser usado para estimación de flujos picos para todas las aplicaciones de diseño.
USGS	0.51 – 64.75 km ²	El Método puede ser usado para estimación de hidrogramas para todas las aplicaciones de diseño.

Fuente: MTI. Manual para la revisión de estudios hidrotécnicos de drenaje mayor. Pg. 17

El método del número de curva de escorrentía fue desarrollado por el servicio de conservación suelos, hoy servicio de conservación de recursos naturales.

El número de curva varía de un rango de 1 a 100, en función del tipo de suelo, uso de la tierra y tratamiento, condición superficial del suelo y condiciones de humedad antecedentes.

La abstracción inicial consiste principalmente de intercepción, infiltración y almacenaje de superficie, todo lo cual ocurre antes de que comience la escorrentía.

Tabla 5: Número de curva según el uso del suelo

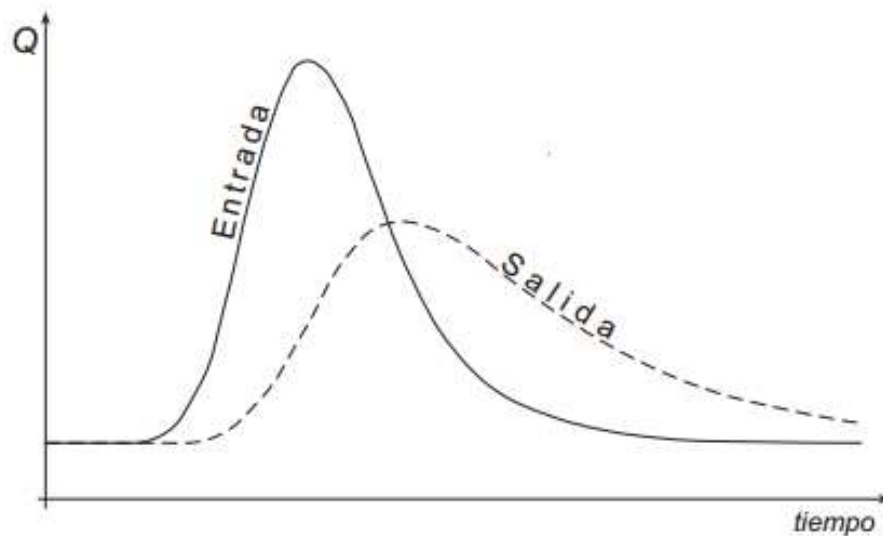
Descripción del uso de la tierra	Grupo hidrológico del suelo			
	A	B	C	D
Tierra Cultivada				
sin tratamientos de conservación	72	81	88	91
con tratamientos de conservación	62	71	78	81
Pastizales				
Condiciones pobres	68	79	86	89
Condiciones óptimas	39	61	74	80
Vegas de ríos condiciones óptima	30	58	71	78
Bosques				
Troncos delgados, cubierta pobre, sin hierbas	45	66	77	83
Cubiertas buenas	25	55	70	77
Áreas abiertas, césped, parques, campos de golf, cementerios, etc.				
Óptimas condiciones: cubierta de pasto en el 75%<	39	61	74	80
Condiciones aceptables	49	69	79	84
Áreas comerciales de negocios (85% impermeable)	89	92	94	95
Distritos industriales (72% impermeables)	81	88	91	93
Residencial				
1/8 acre o menos 65% impermeable	77	85	90	92
1/4 acre 38% impermeable	61	75	83	87
1/3 acre 30% impermeable	57	72	81	86
1/2 acre 25% impermeable	54	70	80	85
1 acre 20% impermeable	51	68	79	84
Parqueaderos pavimentados, techos, accesos, etc.	98	98	98	98
Calles y carreteras				
Pavimentos con cunetas y alcantarillados	98	98	98	98
Grava	76	85	89	91
Tierra	72	82	87	89

Fuente: MTI. Manual para la revisión de Estudios Hidrotécnicos de drenaje mayor.

Tránsito de Caudales⁵

En el tránsito de caudales en un depósito o canal produce un aumento brusco del caudal de entrada que será reflejado en la salida atenuada (caudal máximo menor) y retardado (caudal máximo retrasado en el tiempo) a como muestra la gráfica:

Figura 14: Gráfica de efecto de retardo y atenuación en un hidrograma de entrada y salida



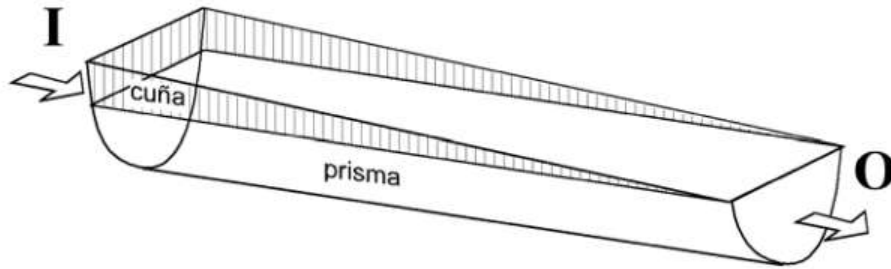
Fuente: Sánchez San Ramón, F Javier. Tránsito de hidrogramas. Universidad de Salamanca

Para el cálculo de dicho efecto en un tramo de cauce existen diversos métodos entre los cuales está el Método Muskingum – Cunge. El Método Muskingum – Cunge combina el Método Tránsito de avenidas con modelos hidráulicos.

El Método Muskingum toma su nombre del distrito donde fue desarrollado en los años 30 por el Servicio de Conservación de Suelos. El método parte del concepto de retardo y atenuación aplicado a un tramo de canal. En el tramo se produce un almacenamiento (S) que se descompone en dos partes: almacenamiento en prisma, que sería proporcional al caudal de salida (O) y almacenamiento en cuña, que sería función de la diferencia entre el caudal de entrada y de salida ($I - O$) a como se aprecia en la figura.

⁵ Sánchez San Ramón, F Javier. Tránsito de Hidrogramas. Universidad de Salamanca. Julio 2013
http://hidrologia.usal.es/temas/Transito_Hidrogramas.pdf

Figura 15: Almacenamiento en cauce según el método Muskingum



Fuente: Sánchez San Ramón, F Javier. Tránsito de Hidrogramas. Universidad de Salamanca

2.1.4. ARC-GIS⁶

El Instituto de Investigaciones de Sistemas Ambientales (ESRI por sus siglas en inglés) desarrolló el programa ArcMap, en el cual se puede visualizar información geográfica y modelos a diferentes escalas, así como entender las relaciones existentes en información espacial geográfica y crear mapas, gráficos y tablas. ArcGis a su vez cuenta con la extensión HEC-GeoHMS desarrollada como un grupo de herramientas hidrológicas geoespaciales para crear entradas hidrológicas que puedan utilizarse directamente con HEC-HMS.

2.1.4.1. Conceptos generales ArcMap

El uso de ArcMap requiere de aplicar los siguientes conceptos de forma correcta.

- a) Tema: es una capa que representa un elemento geográfico del mundo real tales como ríos, departamentos, pozo entre otros. Su representación se hace mediante los elementos de tema polígonos, líneas, y puntos.
- b) Vista: Interfase gráfica del ArcMap en la cual se manipula un mapa
- c) Layout: Interface gráfica de ArcMap en la cual se crea el diseño de impresión de un mapa.
- d) Vector: Provee ubicación exacta de objetos geográficos representados por polígonos, líneas y puntos utilizando un sistema de coordenadas.

Casco Arévalo R. ArcGis 9.3, Hec-GeoHMS, HEC-HMS 4.2 Publicación electrónica.

- e) Raster: Modelo de cuadrícula o celdas rectangulares donde cada celda es definida por su número de línea y columna cuyo valor asignado representa un atributo del objeto geográfico que representa.
- f) Coberturas: Modelos de datos georelacionales de ESRI.
- g) Shape: formato de datos geográficos de ArcView que pueden representar objetos geográficos de polígonos, líneas y puntos.
- h) Geodatabase: Unidad primaria en las clases de datos geográficos siendo una colección de clases de datos, clases geográficas, objeto clases y clases de relaciones:
 - ✓ Clases de datos: representa los modelos de datos geográficos conocidos en Geodatabase como clase geográfica, clase raster y clase TIN.
 - ✓ Objetos clase: Tabla dentro de un Geodatabase que mantienen información descriptiva de los objetos geográficos que representan o relacionan, pero no tienen ninguna representación geométrica.
 - ✓ Clase de relación: Tabla que guarda las relaciones entre objetos geográficos de una o varias clases geométricas u objeto clases.

2.1.4.2. Procedimientos para determinar y analizar una cuenca

Una vez creado el proyecto en ArcGis, se importa el Modelo Digital de Elevaciones, DEM por sus siglas en inglés, del área en estudio y se utiliza ArcHydro Tools para procesar el terreno. En la Tabla 4 se detallan las herramientas a utilizar y la función que realizan cada una de ellas para llevar a cabo el proceso del terreno.

Tabla 6: Herramientas y sus funciones para procesar el terreno

Herramienta	Función
Fill Sinks	Rellena las imperfecciones existentes en la superficie del DEM con el objeto de determinar correctamente la dirección de flujo.
Flow Directions	Define la dirección del flujo de una celda a otra indicando el descenso con mayor pendiente de una celda a otra.
Flow Accumulation	Calcula la acumulación de flujo en cada celda determinando el número de celdas aguas arriba que vierten sobre cada una de las celdas inmediatamente aguas abajo.
Stream Definition	Utiliza Flow Accumulation y especificaciones del usuario para definir los cauces
Stream Segmentation	Utiliza la información de flow directions y stream definitions para individualizar los cauces.
Catchment Grid Delineation	Crea cuadrícula donde cada celda tiene un valor que indica a que área de captación pertenece dicha celda.
Catchment Polygon Processing	Transforma la cuadrícula de Catchment Grid Delineation a un polígono.
Drainage Line Processing	Utiliza Stream Segmentation y Flow Direction para crear línea de drenaje que identifica a que área de captación pertenece.
Adjoint Catchment Processing	Establece que áreas de captación no reciben drenaje aguas arriba y crea un polígono que establece todos las áreas aguas arriba que van drenando.

Fuente: Arc Hydro Tools-Tutorial. 2011.

Una vez procesado el terreno se procede a establecer el primer enlace con HMS. Para ello se crea un nuevo proyecto en el componente HEC-GeoHMS, se le nombra y se procede a insertar el punto del proyecto. Para concluir se realiza la función “Project Generation” y se seleccionan las capas correspondientes para que el programa genere la cuenca.

Se debe verificar que las subcuencas generadas tengan las áreas indicadas para el método hidrológico que se proyecta a utilizar. Se unen y dividen las sub cuencas según las características que las mismas tengan y los criterios del método hidrológico.

HEC-GeoHMS tiene las herramientas que permiten extraer las características físicas de los ríos y las sub cuencas a una tabla de atributos. La Tabla 5 detalla las herramientas y las funciones que realizan:

Tabla 7: Herramientas HEC-GeoHMS para características físicas.

Herramienta	Función
River Length	Calcula la longitud de los cauces y lo guarda en campo llamado RivLen
River Slope	Calcula la pendiente de los cauces, identificando la elevación aguas arriba y la elevación aguas abajo. Guarda la información en los campos ElevUp, ElevDS y Slp.
Basin Slope	Calcula la pendiente media de cada sub cuenca. Guarda la información en campo BasinSlope
Longest Flow Path	Crea una poli línea que almacena la longitud, cotas aguas arriba y aguas abajo, así como la pendiente del flujo más largo
Basin Centroid	Crea un punto donde se guarda el centroide de cada sub cuenca. Para determinar la ubicación del centroide se puede utilizar el método del centro de gravedad o el método del flujo más largo.
Centroid Elevation	Calcula la elevación de cada centroide.
Centroidal Longest Flow Path	Crea una poli línea que muestra el flujo desde el centroide junto con el flujo más largo.

Fuente: Merwade, V. Tarrain Processing and HMS-Model Development using GeoHMS. Purdue University. 2016.

En HEC-GeoHMS se selecciona los parámetros hidrológicos de la cuenca los cuales son, Método de pérdida, Método de transformación, Método flujo base y Método de Tránsito de Avenida. Se completa este procedimiento al realizar las funciones “River autname” y “Basin autname” para asignar nombre a cada sub Cuenca y río.

Los datos SIG del Ministerio de Agricultura sobre uso y tipos de suelo permiten calcular en número de curva asignado un valor por cada celda. En el componente HEC-GeoHMS se utiliza la función “Subbasin Parameters from Raster” para calcular el número de curva de cada cuenca.

En el componente HEC-GeoHMS se ejecuta la función “CN Lag” para calcular el tiempo de retardo en cada subcuenca. La función “Muskingum – Cunge and Kinematic Wave Parameters” permite al usuario establecer las propiedades hidráulicas de los tránsitos presentantes en la cuenca.

El enlace de ArcGis a HEC-HMS se completa al realizar las siguientes funciones:

- a) “Maps to HMS Units”: se selecciona las capas correspondientes
- b) “Check Data”: se verifica la información y reporte indica que no se presenta ningún problema.

- c) “HMS Schematic”: se crea los esquemas de HEC-HMS
- d) “HMS Legend”: se insertan las simbologías de HEC-HMS
- e) “Add coordinates”: se agregan coordenadas geográficas a los elementos en las tablas de atributos.
- f) “Prepare Data for Model Export”: se preparan los datos para poder exportar el modelo de GIS a HMS.
- g) “Background Shape File”: se crea archivo shape que servirá de mapa en el Proyecto HEC-HMS.

2.1.5. HEC-HMS⁷

El programa HEC-HMS (Hydrological Engineering Center – Hydrologic Modeling System), fue desarrollado por el Centro de Ingeniería Hidrológica de la Armada de Estados Unidos con el propósito de simular la respuesta hidrológica de una cuenca a un evento dado. El programa fue diseñado para resolver una variedad de problemas en diferentes condiciones geográficas, incluyendo cuencas de gran tamaño, cuencas urbanas y cuencas naturales.

Los hidrogramas producidos por el programa pueden ser utilizados de manera directa o en conjunto con otros programas para elaborar estudios de disponibilidad de recursos hídricos, drenaje urbano, pronóstico de inundaciones, impacto de urbanizar el área, diseño de embalses, control de inundaciones entre otros. La interfaz está organizada de tal forma en que HEC-HMS está dividido en, modelo de cuenca, modelo meteorológico, especificaciones de control y entrada de datos.








2.1.5.1. Modelo de la cuenca

El modelo de la cuenca es la representación esquemática representativa de la cuenca física por medio del empleo de elementos hidrológicos. El programa considera los elementos detallados en la Tabla 8:

⁷ *Hydrologic Modeling System HEC-HMS. Quick Start Guide version 4.2 August 2016*

http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-hms/documentation/HEC-HMS_QuickStart_Guide_4.2.pdf

Tabla 8: Elementos y descripción HEC-HMS

Elemento/Símbolo	Descripción
Sub Cuenca  Subbasin-1	Representación de la sub cuenca física. Dada la precipitación, el flujo es calculado restando las pérdidas, transformando los excedentes de precipitación en escorrentía y sumando el flujo básico
Tramos de Tránsito  Reach-1	Representa el flujo aguas abajo. El flujo de entrada es provisto por el elemento aguas arriba. Su flujo de salida es calculado tomando en cuenta el método del tránsito seleccionado.
Uniones  Junction-1	Se utiliza para combinar tramos aguas arriba. El flujo de entrada es provisto por uno o más elementos aguas arriba. Su flujo de salida es calculado sumando los flujos de entrada y asumiendo que no hay almacenamiento.
Fuentes  Source-1	Se utiliza para introducir flujo en el modelo de la cuenca. Provee dato de salida de flujo especificado por el usuario.
Sumidero  Sink-1	Se utiliza para representar el punto de cierre de la cuenca. Recibe los datos de flujo entrante de uno o más elementos aguas arriba.
Embalses  Reservoir-1	Se utiliza para modelar la retención de un hidrograma causado por un tipo de embalse. Recibe los datos de flujo entrante de uno o más elementos aguas arriba y el flujo de salida se calcula según el método seleccionado por el usuario.
Derivaciones  Diversion-1	Se utiliza para modelar flujo que deja de circular por el canal principal. Recibe los datos de flujo de entrada de uno o más elementos aguas arriba. Tiene dos flujos de salida, el derivado y el que permanece en el canal. El usuario debe proveer el dato de flujo derivado.

Fuente: Hydrologic Modeling System HEC-HMS. Quick Start Guide version 4.2 August 2016.

HEC-HMS v 4.2 dispone de una serie de métodos para calcular las pérdidas, tránsito y flujo base con el fin de determinar el caudal de salida. Estos modelos son:

Tabla 9: Tipos de pérdidas y sus métodos

Tipo	Método
Pérdidas	Déficit y tasa constante Inicial y tasa constante Exponencial Número de curva CN SCS Green y Ampt Consideración de la humedad del suelo (SMA) DC por celdas CN SCS por celdas SMA por celdas
Transformación lluvia - caudal	Hidrograma Unitario (HU) de Clark Onda cinemática ModClark HU SCS HU Snyder HU Especificado por el usuario Hidrograma en S del usuario
Flujo Base	Recesión restringida Constante Mensual Depósito Lineal Recesión

Fuente: Hydrologic Modeling System HEC-HMS. Quick Start Guide version 4.2 August 2016.

Modelo meteorológico

La función del modelo meteorológico es calcular la precipitación de cada sub cuenca. Este modelo puede utilizar precipitaciones puntuales o por celdas y a la vez modelar precipitación sólida y líquida junto con la evapotranspiración.

Los métodos incluidos se detallan en la Tabla 10:

Tabla 10: Tipos de datos y sus métodos

Series temporales de datos	Pares de datos	Datos por celdas
Pluviómetros	Funciones de almacenamiento-caudal	Precipitación
Medidores de Caudal	Funciones cota – Almacenamiento	Temperatura
Limnímetros	Funciones cota – área	Radiación solar
Termómetros	Funciones caudal – Derivación	Coeficiente de cultivo

Medidores de radiación solar	Secciones transversales	Capacidad de almacenamiento
Medidores de coeficiente de cultos	Hidrogramas unitarios	Tasa de percolación
	Curvas de porcentajes	Coeficientes de almacenamiento
	Funciones de fusión de nieve	Déficit de humedad
	Patrones de tasa de función de nieves	Área impermeable
		CN – SCS
		Cotas
		Equivalente de aguas de nieve
Contenido de agua		
Tasa de fusión de nieve		

Fuente: Hydrologic Modeling System HEC-HMS. Quick Start Guide version 4.2 August 2016.

2.1.5.2. Especificaciones de control

Las especificaciones de control establecen la duración de la simulación e incluye la hora de comienzo y fin del proyecto.

2.1.5.3. Entrada de datos

La entrada de datos puede corresponder a datos de series temporales, pares de datos y datos por celdas. Estos datos son utilizados como parámetros de contorno en el modelo de cuenca y el modelo meteorológico. Los mismos pueden ser introducidos a mano o bien referenciarse al registro HEC – Data Storage System (HEC – DSS). En el caso de los datos por celdas estos deben ser referenciados a un HEC-DSS existente. Los componentes de los datos se detallan en la Tabla 11.

Tabla 11: Método de entrada de datos y su descripción

Método	Descripción
Tormenta asociada a frecuencia	Se usa para desarrollar un evento de precipitación donde los volúmenes correspondientes a distintas duraciones tienen una probabilidad de excedencia consistente.
Pluviómetros con peso	Aplica pesos definidos por el usuario a los pluviómetros que el usuario desee.
Precipitación por celdas	Permite usar productos por precipitación por celdas, como por ejemplo los datos de Radar.
Inversa de la distancia	Calcula la precipitación media en una sub cuenca aplicando una ponderación basado en la inversa de la distancia al cuadrado.
Tormenta del SCS	Aplica una distribución temporal tipo SCS aun volumen total de lluvia en 24 horas.
Hietograma especificado	Aplica un hietograma definido por el usuario a un elemento de sub cuenca.
Tormenta de proyecto estándar.	Aplica una distribución temporal a un volumen índice de precipitación. Válido únicamente para los Estados Unidos.

Fuente: Hydrologic Modeling System HEC-HMS. Quick Start Guide version 4.2 August 2016.

Resultados

Los resultados se obtienen de una corrida “Run” en donde HEC-HMS realiza todo el modelo hidrológico y genera un caudal de descarga, permitiendo al usuario hacer uso de distintos reportes que genera.

2.2. ANÁLISIS HIDRÁULICO⁸

El diseño o evaluación de las dimensiones de la obra transversal se hace por medio de un análisis hidráulico cuyo objetivo principal es determinar la sección hidráulica más adecuada que permita el paso libre del flujo que transporta el cauce en análisis. Por lo tanto, se debe tener el levantamiento topográfico, el cual debe ser planimétricos y altimétrico. Entre las obras de drenaje transversal se tienen las alcantarillas y los puentes.

⁸ US Army Corps of Engineers Hydrologic Engineering Center. HEC-RAS River Analysis System User's Manual. Davis, California. 2016

2.2.1. Introducción al Modelo HEC-RAS

Hydrologic Engineering Center – River Analysis System (HEC-RAS) es un programa que realiza la modelación hidráulica de cauces abiertos, ríos y canales artificiales de régimen permanente y no permanente con el propósito de facilitar el cálculo de los perfiles de agua y de los parámetros hidráulicos del cauce. HEC-RAS puede modelar una red de ríos o un solo río y realizar análisis de régimen subcrítico, supercrítico o una mezcla de ambos.

HEC-RAS realiza la:

- ✓ Delimitación de fajas marginales de los ríos.
- ✓ Predicción de áreas de inundación y mitigación del mismo río o sistema para diferentes períodos de retorno.
- ✓ Determinación de las variables hidráulicas para el diseño de estructuras en los ríos como lo son puentes y alcantarillas entre otros.
- ✓ Determinación de la altura óptima en el diseño de una carretera que puede ser afectado por el caudal del río.

2.2.2. Componente de datos geométricos

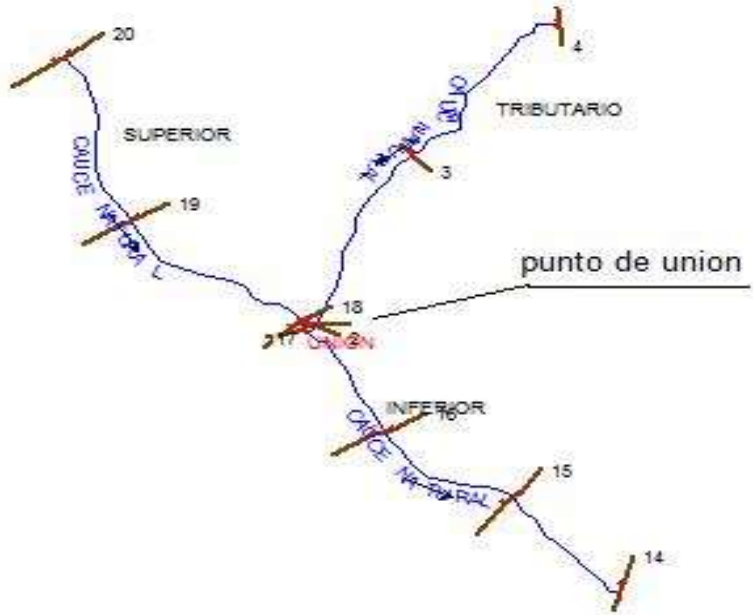
Los datos geométricos consisten en establecer un esquema del sistema de río, los datos de las secciones transversales, la longitud del tramo, los coeficientes de pérdida de energía por fricción debido a contracción y expansión, la información de de las conexiones de flujo en los tramos del río o cauce y los datos de la estructura de hidráulica que estén localizados en el tramo del río o cauce.

2.2.2.1. Sistema esquemático del río o cauce

En HEC-RAS cualquier conjunto de datos geométricos debe tener un sistema esquemático del río o cauce el cual es desarrollado por un dibujo y conectados por varios tramos. El esquema de río o cauce se realiza para definir el extremo de aguas arriba como el extremo de aguas debajo de esta forma introducir los datos geométricos de las secciones que conforman el cauce o el río.

La conectividad de los tramos es lo que permite al modelo comprender el sistema de drenaje y los cálculos de un tramo a otro que conllevan. El dibujo del tramo se realiza de aguas arriba hacia aguas abajo para dar dirección al flujo. La conexión de los tramos se hace a través de una unión que es un punto donde dos o más flujos convergen o se dividen.

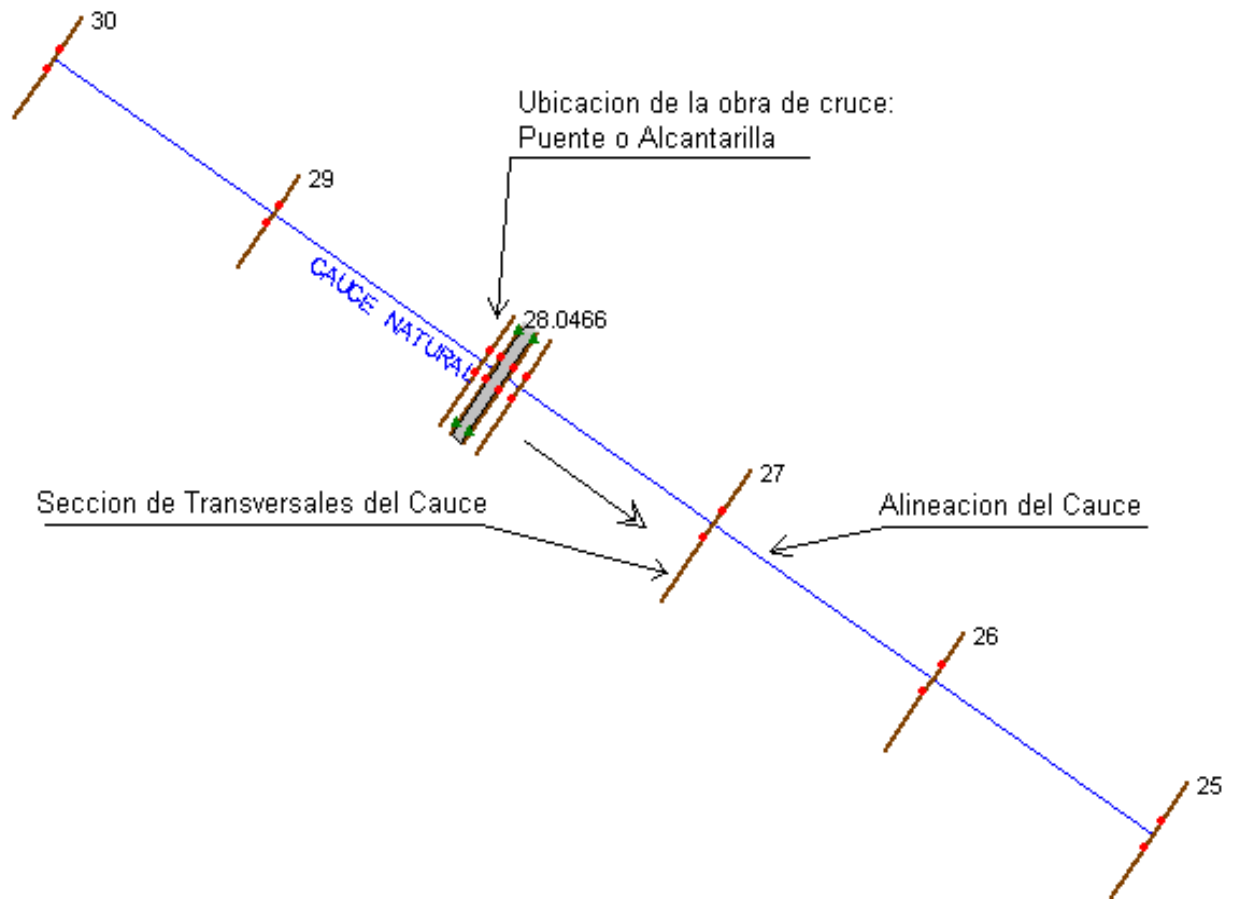
Figura 16: Sistema esquemático de un río



Fuente: US Army Corps of Engineers Hydrologic Engineering Center. HEC-RAS River Analysis System User's Manual. Davis, California. 2016

Los datos geométricos de los tramos son diversas secciones transversales a lo largo del cauce secciones transversales a lo largo del cauce o cauces considerados incluyendo secciones aguas arriba y aguas abajo referentes a una estructura hidráulica. Las secciones transversales se introducen utilizando la cota del terreno de varios puntos, cuya distancia de separación es conocida. El sistema numérico para cada sección debe ser consistente tomando en cuenta que HEC-RAS asume que los valores altos corresponden a las secciones aguas arriba mientras que los valores bajo corresponden a las secciones aguas abajo.

Figura 17: Esquema del cauce: flujo del río, secciones transversales y obra de cruce



Fuente: US Army Corps of Engineers Hydrologic Engineering Center. HEC-RAS River Analysis System User's Manual. Davis, California. 2016

2.2.2.2. Secciones transversales del río o cauce

Las condiciones geométricas para el análisis de flujo en corrientes naturales son especificadas en términos de la superficie del terreno, de la sección transversal y las distancia entre ellas. Las secciones transversales se localizan a intervalos cuyo valor depende de la caracterización de la corriente, el flujo central del cauce y de las planicies de inundación.

La sección transversal se describe por medio de la estación y la elevación utilizando pares ordenados (x,y) de izquierda a derecha partiendo de aguas arriba hacia aguas abajo. En la columna “station” se introduce la distancia desde el margen izquierdo y en la columna “elevation” se introduce la cota del terreno de fondo de cauce en ese punto.

Figura 18: Ejemplo cuadro de diálogo HEC-RAS para datos de sección transversal

Cross Section Coordinates		
	Station	Elevation
1	0	102.135
2	3.34	102.25
3	3.44	102.253
4	8.283	102.418
5	8.302	102.419
6	8.442	102.425
7	10.63	102.5
8	11.341	102.504
9	12.923	102.506
10	13.017	102.507
11	13.106	102.507

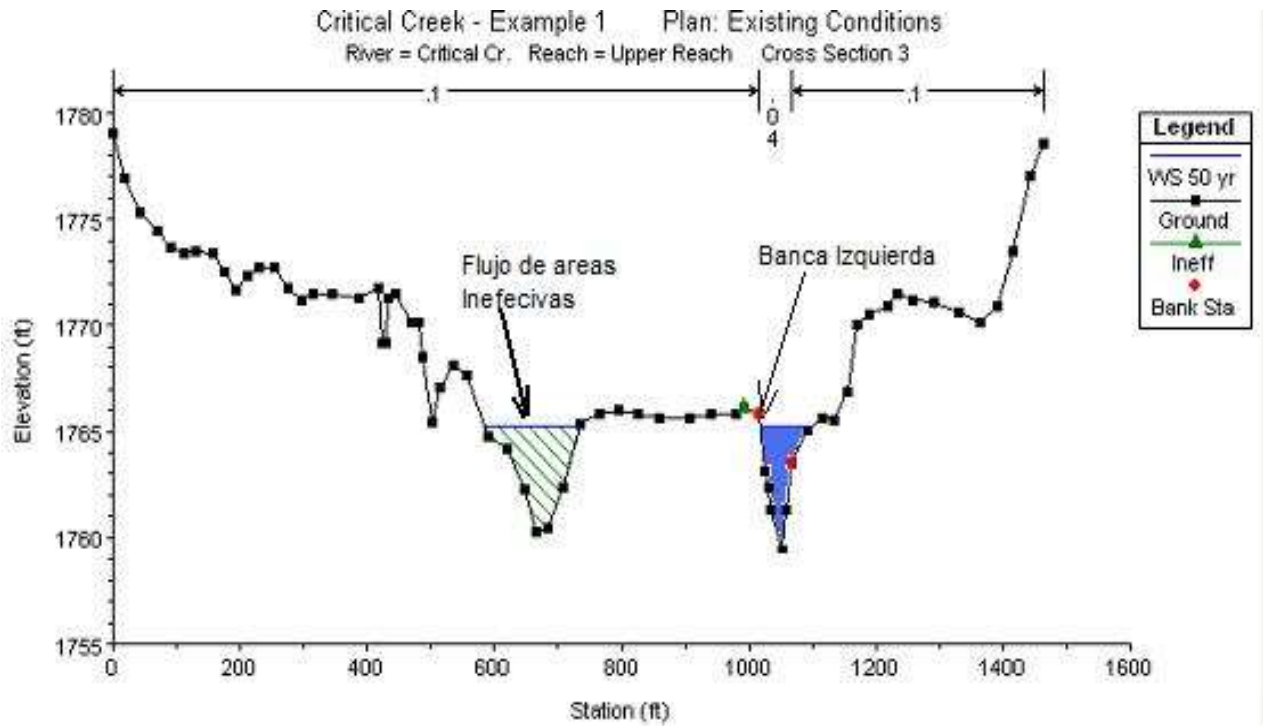
Fuente: Interface de Usuario proyecto HEC-RAS elaborado para el cauce y puente en Estudio

Al ser HEC-RAS un modelo hidráulico se deben considerar en cada sección la distancia entre márgenes tanto izquierdos como derechos y la distancia a lo largo del centro del cauce con respecto a la sección aguas abajo inmediatas, así como los valores del coeficiente de Manning en los márgenes y al centro del cauce. De la misma forma HEC-RAS necesita los puntos donde inicia la planicie de inundación, los cuales acotarán el canal principal.

2.2.2.3. Áreas de Flujo inefectivo

Las secciones transversales con flujo inefectivo son aquellas elevaciones más bajas que los bancos del cauce o río, que no contribuyen efectivamente a transportar el agua en la sección transversal del cauce o río. Las áreas de flujo inefectivo son zonas de la sección transversal donde el agua se estanca debido a que la elevación del banco es mayor que el nivel del agua en el cauce adyacente. Realizar la selección de las secciones transversales con flujo inefectivo evita un error en la altura de la superficie del agua, ya que de no hacerlo HEC RAS asume que en esta porción de sección existe transporte de agua.

Figura 19: Ejemplo de áreas de flujo inefectivo



Fuente: US Army Corps of Engineers Hydrologic Engineering Center. HEC-RAS River Analysis System User's Manual. Davis, California. 2016

2.2.2.4. Coeficientes de contracción y expansión

Un cauce en muchas ocasiones presenta secciones irregulares ocasionando pérdidas de energía entre las secciones contiguas. HEC-RAS determina que una contracción ocurre cuando la carga de velocidad aguas abajo es grande con respecto a la carga de velocidad aguas arriba, caso contrario determina una expansión:

Tabla 12: Coeficientes de contracción y expansión en flujo sub-críticos

Transición	Contracción	Expansión
Sin pérdidas	0.0	0.0
Gradual	0.1	0.3
Sección típica de puente	0.3	0.5
Transiciones abruptas	0.6	0.8

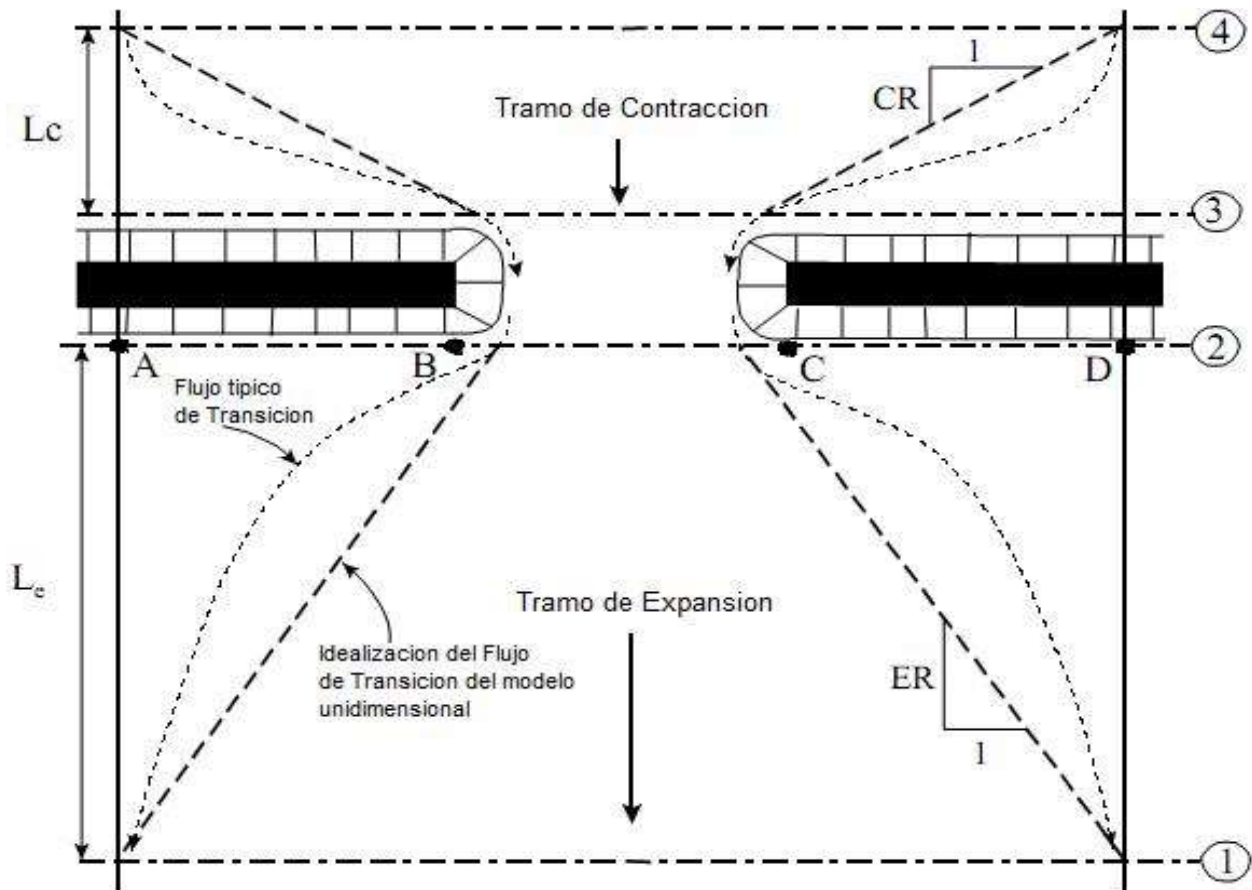
Fuente: US Army Corps of Engineers Hydrologic Engineering Center. HEC-RAS River Analysis System User's Manual. Davis, California. 2016

2.2.3. Ubicación de las secciones transversales

Un puente en ocasiones implica invadir parte del río o cauce lo cual conlleva un estrechamiento de su sección transversal produciéndose cambios en la velocidad del flujo y en la pendiente hidráulica de la corriente en que se construye. Un estrechamiento ocasiona los siguientes efectos:

- a) Sobre elevación llamada remanso aguas arriba de la contracción pudiendo provocar inundaciones.
- b) Aumento de la energía cinética del flujo que ocasiona socavaciones.

Figura 20: Ejemplo de modelación hidráulico de un puente



Fuente: US Army Corps of Engineers Hydrologic Engineering Center. HEC-RAS River Analysis System User's Manual. Davis, California. 2016

2.2.3.1. Primera sección transversal 1-1

Sección localizada aguas abajo de la estructura donde el flujo está totalmente expandido. En esta sección se inicia la expansión del flujo con un régimen gradualmente o rápidamente variado retardado y a partir de esta sección se restablecen las condiciones de flujo uniforme.

2.2.3.2. Longitud de expansión L_e

La longitud de expansión es la distancia entre el extremo aguas abajo del puente y la primera sección transversal. La longitud de expansión depende del grado, de la forma de contracción y la magnitud del flujo y de la velocidad del flujo.

Tabla 13: Rangos coeficientes de razón de expansión

b/B	S ft/mile	nob / nc = 1	nob / nc=2	nob / nc = 4
0.1	1	1.4 – 3.6	1.3 – 3.0	1.2 – 2.1
	5	1.0 – 2.5	0.8 – 2.0	0.8 – 2.0
	10	1.0 – 2.2	0.8 – 2.0	0.8 – 2.0
0.25	1	1.6 – 3.0	1.4 – 2.5	1.2 – 2.0
	5	1.5 – 2.5	1.3 – 2.0	1.3 – 2.0
	10	1.5 – 2.0	1.3 – 2.0	1.3 – 2.0
0.50	1	1.4 – 2.6	1.3 – 1.9	1.2 – 1.4
	5	1.3 – 2.1	1.2 – 1.6	1.0 – 1.4
	10	1.3 – 2.0	1.2 – 1.5	1.0 – 1.4

Fuente: US Army Corps of Engineers Hydrologic Engineering Center. HEC-RAS River Analysis System User's Manual. Davis, California. 2016

2.2.3.3. Segunda sección transversal 2-2

Sección que representa el terreno natural localizada muy cerca aguas abajo al pie del terraplén del puente para analizar las pérdidas de energía a través de este. Esta sección no debe ser localizada inmediatamente aguas abajo del tablero del puente, en general se recomienda una distancia aguas abajo de un metro del tablero del puente. En puentes que carecen de terraplenes la segunda sección transversal puede ser localizada suficientemente lejos aguas abajo del tablero del puente que permita una distancia suficiente para la expansión del flujo debido a las pilas, o un flujo a compresión desde el puente.

Esta sección presenta las siguientes características:

- a) Menor profundidad de flujo.
- b) Inicio del retardo del flujo.
- c) Aguas abajo de la misma presentan remolinos de agua.

2.2.3.4. Tercera sección transversal 3-3

Sección transversal localizada a pocos metros aguas arriba del puente que refleja la longitud requerida para la aceleración abrupta y contracción del flujo, que ocurre en el área inmediata de la abertura del puente. Esta sección transversal deberá representar el terreno natural o el área del canal y de la planicie de inundación justamente aguas arriba del terraplén del puente.

La tercera sección transversal representa un ancho mínimo del flujo. Esta sección presenta las siguientes características:

- a) El flujo se separa de las fronteras sólidas siendo la contracción del flujo mayor que el ancho de la abertura.
- b) Entre las secciones (2-2) y (3-3) surgen las pérdidas por contracción que ocurre justamente aguas arriba de la estructura del puente.

2.2.3.5. Cuarta sección transversal 4-4

Sección transversal donde las líneas de flujo son aproximadamente paralelas y la sección transversal es totalmente efectiva. Sección aguas arriba hasta donde influye el remanso y posiblemente termina el flujo uniforme en el cauce de aproximación y comienza un flujo gradualmente variado, donde se inicia la contracción del flujo.

2.2.3.6. Longitud de contracción L_c

La longitud de contracción del puente es la distancia entre el extremo de aguas arriba del puente y la primera sección transversal.

Tabla 14: Rangos coeficientes de razón de contracción

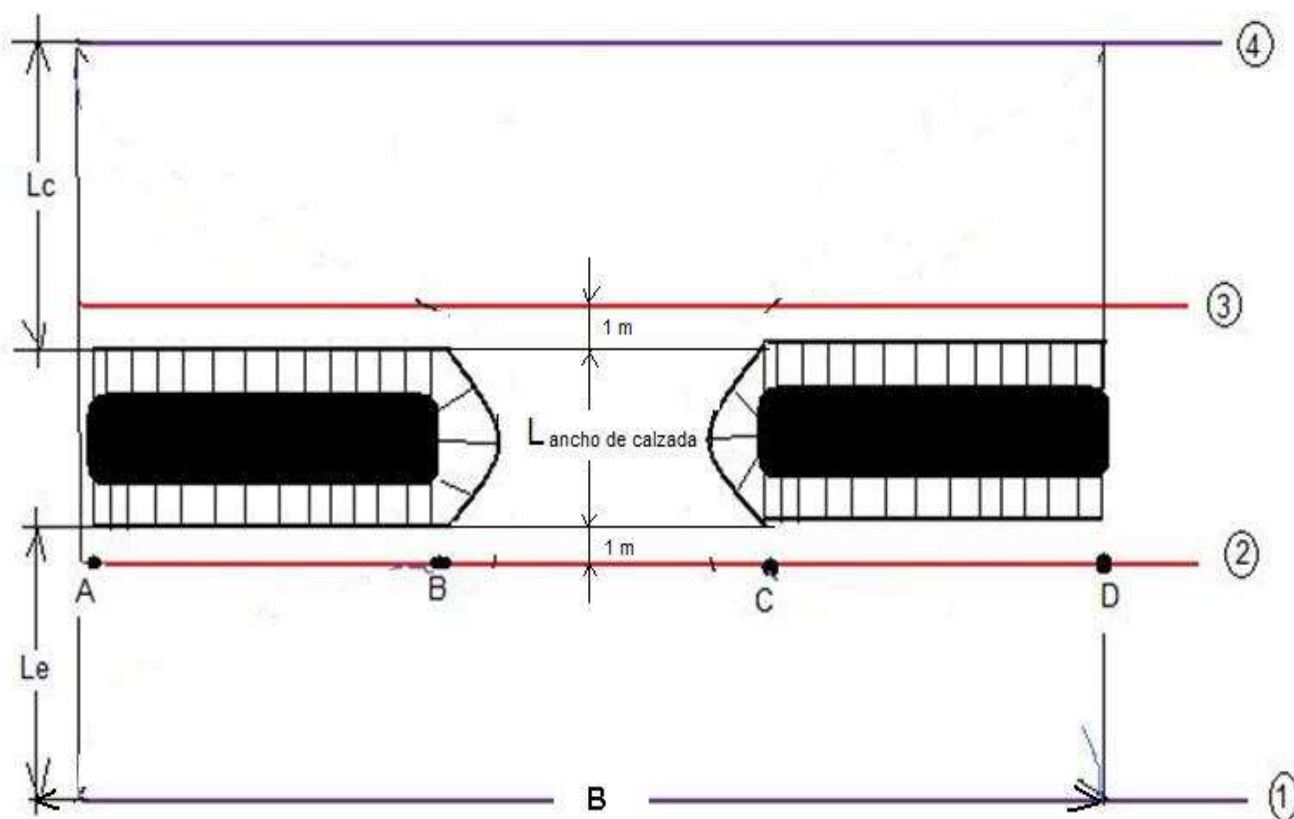
S ft/mile	nob / nc = 1	nob / nc=2	nob / nc = 4
1	1.0 – 2.3	0.8 – 1.7	0.7 – 1.3
5	1.0 – 1.9	0.8 – 1.5	0.7 – 1.2
10	1.0 – 1.9	0.8 – 1.4	0.7 – 1.2

Fuente: US Army Corps of Engineers Hydrologic Engineering Center. HEC-RAS River Analysis System User's Manual. Davis, California. 2016.

2.2.4. Longitudes entre las secciones relativas del puente

Las longitudes entre las secciones relativas son las distancias que hay entre las diferentes secciones, con características del flujo propio de cada segmento.

Figura 21: Esquema de las secciones



Fuente: US Army Corps of Engineers Hydrologic Engineering Center. HEC-RAS River Analysis System User's Manual. Davis, California. 2016

2.2.4.1. Longitud entre la sección 2-2 y la sección 1-1

Entre las secciones 2 y 1, el flujo es gradualmente o rápidamente variado retardado.

2.2.4.2. Longitud entre la sección 3-3 y la sección 2-2

Entre las secciones 3 y 2, el flujo es como el que se produciría al pasar por un orificio.

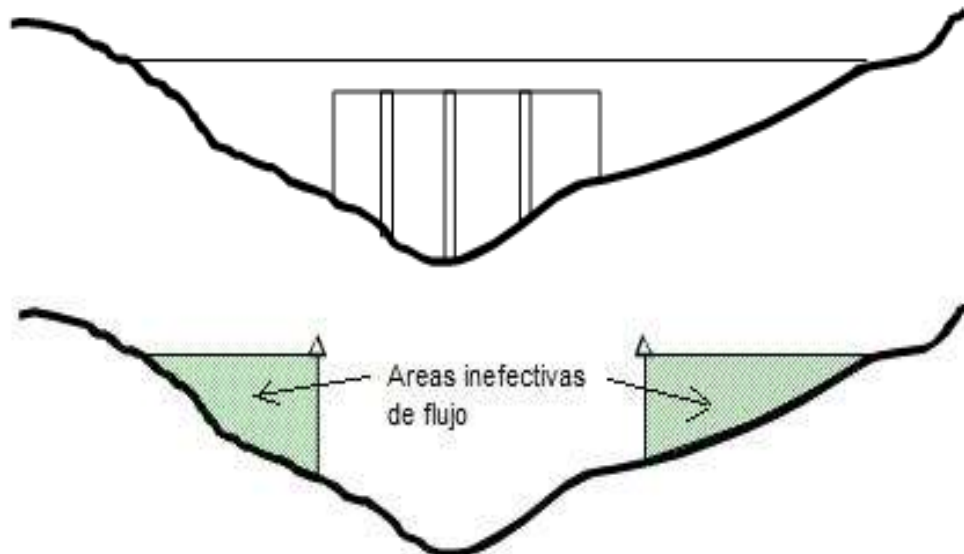
2.2.4.3. Longitud entre la sección 4-4 y la sección 3-3

Entre las secciones 4 y 3, el flujo de gradualmente variado a rápidamente variado acelerado.

2.2.5. Áreas de flujo inefectivo en la ubicación del puente

Área de la sección transversal en que el agua se acumula, pero no está siendo efectivamente transportada.

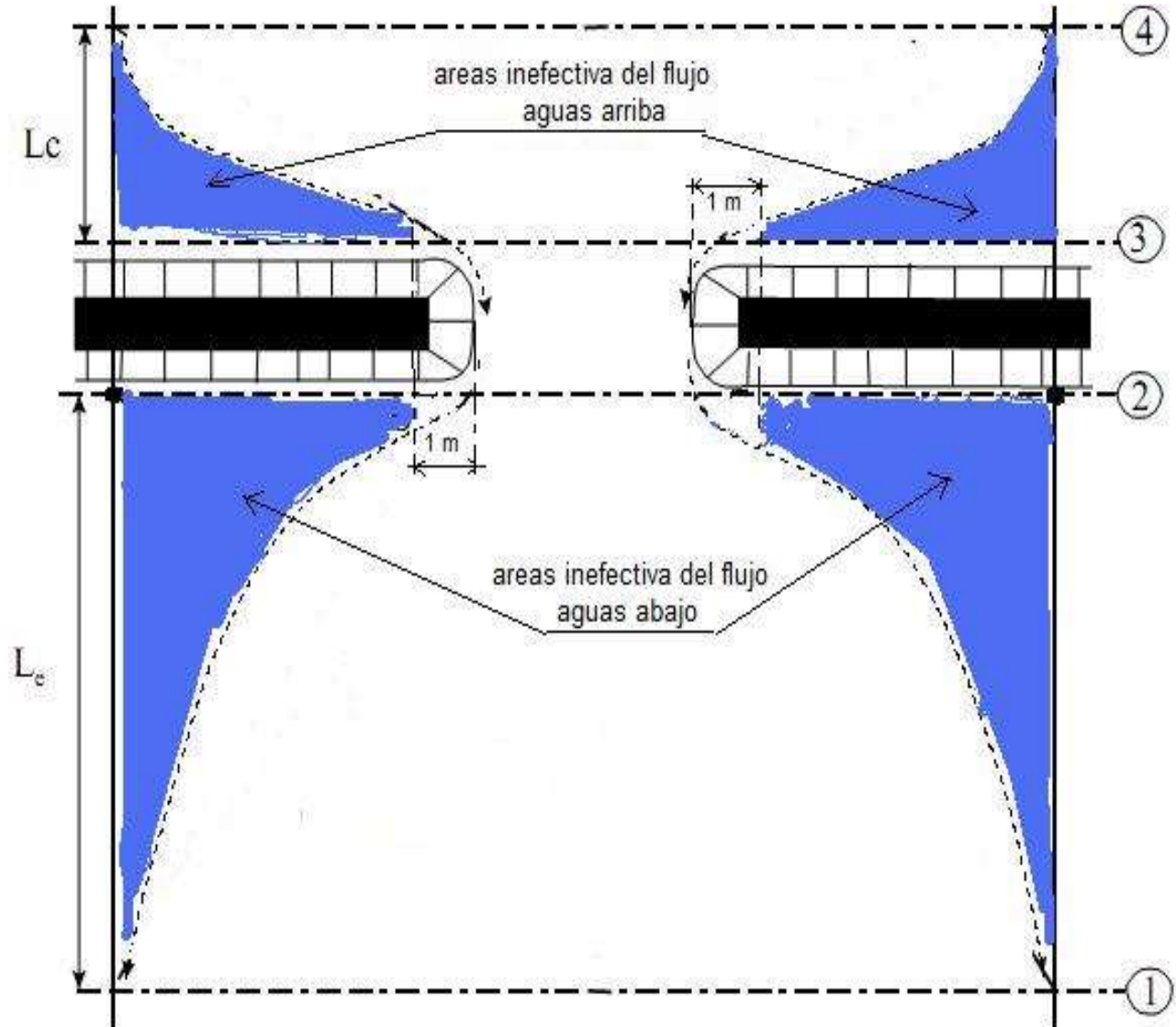
Figura 22: Ejemplo de porciones de áreas inefectivas de flujo secciones 2-2 y 3-3



Fuente: US Army Corps of Engineers Hydrologic Engineering Center. HEC-RAS River Analysis System User's Manual. Davis, California. 2016

En un puente las áreas inefectivas normalmente ocurren aguas arriba y aguas abajo del dique de la vía, fuera de la apertura del puente ocasionando áreas inefectivas de flujo aguas abajo y aguas arriba.

Figura 23: Ejemplo de área inefectiva del flujo de agua, aguas arriba y abajo



Fuente: US Army Corps of Engineers Hydrologic Engineering Center. HEC-RAS River Analysis System User's Manual. Davis, California. 2016

2.2.6. Datos geométricos del puente

2.2.6.1. Ubicación del puente

El puente se ubica entre las estaciones de las secciones 3-3 y 2-2, la cual se puede elegir una estación intermedia entre estas secciones o el promedio de estas estaciones.

2.2.6.2. Condiciones de borde

Las condiciones de borde son necesarias para establecer la superficie de agua inicial en los extremos aguas arriba y aguas abajo del cauce o río. Para iniciar los cálculos se necesita la superficie de agua inicial. Hay que tomar en consideración las siguientes condiciones:

- a) **Flujo sub crítico:** las condiciones de borde son necesarias solamente en el extremo aguas abajo.
- b) **Flujo supercrítico:** las condiciones de borde deben ser introducidas solamente en el extremo aguas arriba.
- c) **Flujo mixto:** las condiciones de borde deben introducirse en los extremos.

2.2.6.3. Información de descarga

La información de descarga se requiere en cada sección para poder calcular el perfil de superficie de agua. Los datos de descarga se introducen desde aguas arriba hacia aguas abajo para cada tramo, por lo menos un valor de flujo debe ser ingresado para cada tramo.

2.2.6.4. Coeficiente de rugosidad de Manning

El coeficiente de rugosidad de Manning es muy variable y depende de una cantidad de factores como rugosidad de la superficie, la variación de la vegetación del canal de acuerdo a la época del año, irregularidades del cauce, alineamiento del canal, depósitos y socavaciones, obstrucciones, tamaño y forma del canal, nivel y caudal, cambio estacional, material suspendido y transporte del fondo.

a) Rugosidad superficial

La rugosidad superficial se representa por el tamaño y la forma de los granos del material que forman el perímetro mojado y que producen un efecto retardador del flujo.

En general, granos finos (arena, arcilla, limo) dan como resultado un valor relativamente bajo de n , y granos gruesos (gravas), un valor alto de n . Por tanto, el efecto retardador en materiales finos es mucho menor que en materiales gruesos. Pueden clasificarse como:

- ✓ **Ligero:** Para la mejor superficie que se puede alcanzar con un material dado.
- ✓ **Menor:** Para canales bien dragados, ligeramente erosionados o con taludes ligeramente socavados.
- ✓ **Moderados:** Para canales de pobre a regularmente dragados o con taludes moderadamente erosionables o reblandecidos.
- ✓ **Severo:** Para cauces naturales fuertemente reblandecidos o canales muy erosionables, también para canales excavados en roca con superficie muy irregular.

b) Irregularidad del canal

En Canales naturales las irregularidades son por lo general el resultado de depósitos o sedimentos; sin embargo, cuando la variación es gradual el coeficiente n de Manning no se ve afectado significativamente, pero cuando se presentan cambios abruptos se puede generar un valor de n mucho mayor. Pueden clasificarse como:

- ✓ **Gradual:** si la sección cambia gradualmente en tamaño y forma.
- ✓ **Ocasional:** cuando grandes y pequeñas secciones están alternadas ocasionalmente, o cuando cambios de forma causan ocasionalmente movimientos del flujo principal de un lado a otro.
- ✓ **Frecuente:** cuando hay grandes y pequeñas secciones alternadas frecuentemente o cuando los cambios de forma causan movimientos frecuentes en el flujo principal de un lado a otro.

c) Vegetación

La vegetación puede considerarse como una clase de rugosidad superficial, pero también reduce de manera notable la capacidad del canal y retarda el flujo. Este efecto depende por completo de la altura, la densidad, la distribución y del tipo de vegetación. El efecto de la vegetación puede clasificarse como:

✓ **Bajo**

Gramma o maleza densa, de la cual el tipo bermuda y azul son típicas y donde la profundidad del flujo es dos o tres veces la altura de la vegetación.

Retoños de árboles o arbustos, donde la profundidad de flujo es tres o cuatro veces la altura de la vegetación.

✓ **Medio**

Gramma, donde la profundidad del flujo es una o dos veces la altura de la vegetación.

Tallos y retoños de árboles con cobertura moderadas, donde la profundidad de flujo es dos o tres veces la altura de la vegetación.

Vegetación de monte moderadamente denso a lo largo de las paredes de un canal sin vegetación significativa a lo largo del fondo, donde el radio hidráulico es mayor de 60 cm.

✓ **Alto**

Gramma, donde la profundidad promedio de flujo es aproximadamente igual a la altura de la vegetación.

Arboles pequeños o arbustos junto con vegetación de monte con poco follaje y radio hidráulico mayor de 60 cm

Arbustos y árboles como sauces de un año con montes en completo follaje a lo largo de las paredes, sin vegetación significativamente en el fondo y con radio hidráulico mayor de 60 cm.

✓ **Muy Alto**

Gramma, donde la profundidad promedio de flujo sea menor que la mitad de la altura de la vegetación.

Arbustos y árboles como sauces de un año, con montes en completo follaje en las paredes y a lo largo del fondo, con cualquier valor del radio hidráulico hasta 5 cm.

d) Alineamiento del canal

Un alineamiento con curvas suaves producirá valores de Manning relativamente bajos en tanto curvas abruptas incrementarán el valor de Manning. La sinuosidad se considera:

- ✓ menor para valores de 1.0 a 1.2,

- ✓ apreciable para valores de 1.2 a 1.5 y
- ✓ severa para valores iguales o mayores que 1.5.

e) Sedimentación y socavación

La sedimentación puede llegar a convertir un canal muy irregular en un canal relativamente uniforme, llevando a una disminución en el coeficiente de Manning. En tanto la socavación puede hacer lo contrario llevando a un aumento en el coeficiente.

f) Obstrucciones

Las obstrucciones tales como troncos de árbol, desechos de flujo, atascamientos, alcantarillas, y pilas de puentes entre otros tienden a incrementar el valor del coeficiente de Manning en dependencia de la naturaleza del obstáculo.

g) Tamaño y forma del canal

Un aumento en el radio hidráulico puede aumentar o disminuir el coeficiente de Manning, aunque no existe evidencia definitiva acerca del tamaño y la forma del canal como factores importantes que afecten el coeficiente de Manning.

h) Nivel y caudal

Tomando en cuenta las siguientes características hay distintas afectaciones al coeficiente de Manning.

- ✓ El coeficiente tiende a disminuir en muchos canales al aumentar el nivel del agua y la descarga.
- ✓ El coeficiente puede ser grande, no solo a pocas profundidades sino también en niveles altos si las bancas son rugosas, pastosas o cubiertas de hierba.
- ✓ El coeficiente varía en inundaciones en dependencia de la profundidad de la inundación
- ✓ El coeficiente puede suponerse constante en canales artificiales debido a que el lecho y las bancas son igualmente suaves y regulares y la pendiente del fondo es uniforme.

Tabla 15: Coeficientes de Manning

Descripción de la corriente	Mínimo	Normal	Máximo
A. Cauces naturales			
A.1. Cursos secundarios (Ancho de la superficie libre en crecida <30 m)			
A.1.1. Cursos en planicies			
Limpios, rectos, sin fallas ni pozos	0,025	0,030	0,033
Rectos con algunas piedras y pastos	0,030	0,035	0,040
Limpios con meandros, con algunos pozos y bancos	0,033	0,040	0,045
Meandros con algunas piedras y pastos	0,035	0,045	0,050
Meandros con muchas piedras	0,045	0,050	0,060
Tramos sucios, con pastos y pozos profundos	0,050	0,070	0,080
Tramos con mucho pasto, pozos profundos y cauce en crecida con muchos arbustos y matorral	0,075	0,100	0,150
A.1.2. Cursos Montañosos, carentes de vegetación en el fondo, laderas con pendientes pronunciadas y árboles y arbustos en las laderas que se sumergen en niveles de crecidas			
Cauce de grava, cantos rodados y algunas rocas	0,030	0,040	0,050
Cauce de cantos rodados, con grandes rocas	0,040	0,050	0,070
A.2. Cursos en Planicies inundadas			
A.2.1. Zonas de pastos, sin arbustos			
Pasto corto	0,025	0,030	0,035
Pasto alto	0,030	0,035	0,050
A.2.2. Zonas cultivadas			
Sin cultivo	0,020	0,030	0,030
Cultivos sembrados en línea en fase de madurez fisiológica	0,025	0,035	0,045
Cultivos sembrados a volco en fase madurez fisiológica	0,030	0,040	0,050
A.2.3. Zonas arbustivas			
Escasos arbustos y pasto abundante	0,035	0,050	0,070
Pequeños arboles y arbustos sin follaje	0,035	0,050	0,060
Pequeños árboles y arbustos con follaje	0,040	0,060	0,080
Arbustos medianos a densos durante la parada invernal	0,045	0,070	0,110
Arbustos medianos a densos durante la fase vegetativa	0,070	0,100	0,160
A.2.4. Zona arbórea			
Sauces densos, temporada invernal	0,110	0,150	0,200
Terreno claro con ramas sin brotes	0,030	0,040	0,050
Terreno claro con ramas con gran crecimiento de brotes	0,050	0,060	0,080
Zonas de explotación maderera con árboles caídos, poco crecimiento en las zonas bajas y nivel de inundación por debajo del nivel las ramas	0,080	0,100	0,120
Zonas de explotación maderera con árboles caídos, poco crecimiento en las zonas bajas y nivel de inundación que alcanza a las ramas	0,100	0,120	0,160
A.3 Curso importantes (Ancho de la superficie libre de crecida $\geq 30m$)			
En este caso, los valores del coeficiente n son inferiores a los correspondientes de cauces secundarios análogos, ya que los bancos ofrecen una resistencia efectiva menor			
Sección regular sin rocas ni arbustos	0,025		0,060
Sección Irregular y rugosa	0,035		0,100

Fuente: US Army Corps of Engineers Hydrologic Engineering Center. HEC-RAS River Analysis System

User's Manual. Davis, California. 2016

2.3. ANÁLISIS DE SOCAVACIÓN⁹

El cálculo de la socavación en puentes a través de HEC-RAS está basado en los métodos expuestos en la publicación Hydraulic Engineering Circular No. 18 (HEC No. 18, FHWA, 2016).

2.3.1. Modelo

Se parte del desarrollo de un modelo hidráulico del tramo del río en el cual se encuentra el puente analizado con suficientes secciones transversales aguas abajo del puente, de modo tal que cualquier condición aguas abajo no afecte los resultados hidráulicos dentro del puente, así como inmediatamente aguas, aguas arriba del puente, para evaluar los efectos del puente en el perfil de la superficie de agua aguas arriba. Al concluir desarrollados los cálculos del perfil de la superficie de agua para el evento de diseño, la socavación del puente puede ser evaluada.

La socavación total contiene los siguientes componentes, agradación y degradación a largo plazo; socavación por contracción; y socavación local en pilas y estribos. HEC-RAS permiten evaluar la socavación por contracción y la socavación local en pilas y estribos.

2.3.2. Socavación por contracción

2.3.2.1. Condición para determinar socavación con contracción con lecho vivo o con agua clara

El modelo calcula la velocidad crítica para inicio de la remoción V_c y la compara con la velocidad V del flujo en el canal principal o en el área de los márgenes aguas arriba del puente en la sección transversal próxima. El criterio de selección es:

a) Agua clara:

$V_c > V$ es decir la velocidad crítica del material de lecho es mayor que la velocidad en la sección próxima.

⁹ US Department of Transportation, Federal Highway Administration. Evaluating Scour at Bridges. 2016
<http://www.fhwa.dot.gov/engineering/hydraulics/pubs/hif12003.pdf>

b) Lecho vivo:

$V_c < V$ es decir la velocidad crítica del material de lecho es menor que la velocidad en la sección próxima.

2.3.2.2. Contracción con lecho vivo

Utilizar la ecuación de Laursen modificada para lecho vivo

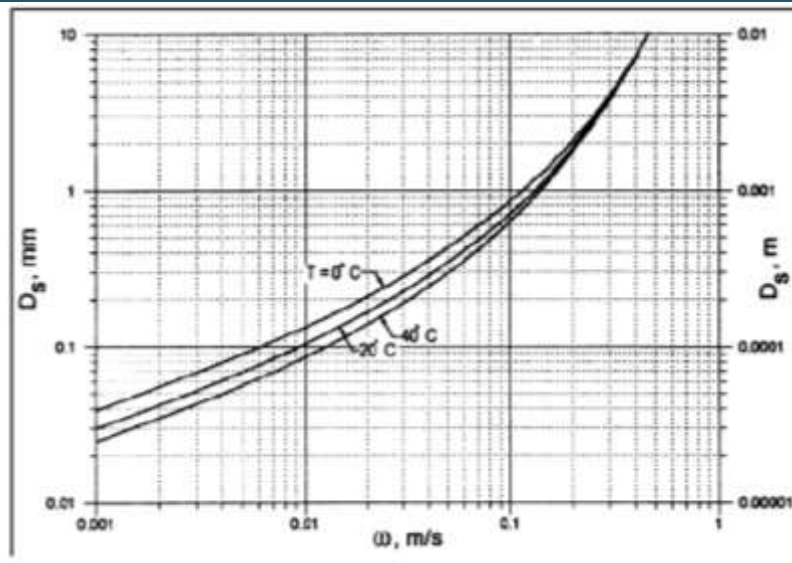
Tabla 16: Exponente K_1 para modo de transporte de material de lecho

V^*/w	K_1	Modo de Transporte del material del lecho
< 0.50	0.59	Descarga material de lecho por contacto principalmente
0.50 a 2.0	0.64	Descarga algún material de lecho suspendido
>2.0	0.69	Descarga material de lecho suspendido principalmente

Fuente: US Department of Transportation, Federal Highway Administration. Evaluating Scour at Bridges.

2016

Figura 24: Velocidad de caída w en dependencia de D_{50}



Fuente: Department of Transportation, Federal Highway Administration. Evaluating Scour at Bridges.

2016

2.3.3. Socavación por expansión

El parámetro principal para la elección de la ecuación a utilizar es la longitud definida como la distancia desde la proyección del pie del estribo en la sección próxima hasta el límite de agua en el lado correspondiente al estribo. Se utiliza el siguiente criterio:

- a) Ecuación de Hire: la longitud dividida entre la profundidad de flujo en esa misma zona es mayor que 25

b) Ecuación de Froehlich la longitud dividida entre la profundidad de flujo en esa misma zona es menor que 25

K_1 : Factor de corrección por la forma del estribo

Tabla 17: Factor de corrección por la forma del estribo

Descripción	K1
Estribos de paredes verticales	1.00
Estribo de paredes verticales con aletones	0.82
Estribo de paredes inclinadas	0.55

Fuente: US Department of Transportation, Federal Highway Administration. Evaluating Scour at Bridges.
2016

2.3.3.1. Ecuación de Froehlich

Tabla 18: Factor de corrección por la forma del estribo

Descripción	K1
Estribos de paredes verticales	1.00
Estribo de paredes verticales con aletones	0.82
Estribo de paredes inclinadas	0.55

Fuente: US Department of Transportation, Federal Highway Administration. Evaluating Scour at Bridges.
2016

2.3.4. Profundidad total de socavación

La profundidad total de socavación es una combinación del cambio de elevación a largo plazo, socavación por contracción, y socavación por expansión. Una vez que la socavación es calculada, el programa HEC-RAS automáticamente grafica la socavación en la sección transversal del puente y genera un reporte escrito.

CAPITULO III: DISEÑO METODOLÓGICO

3.1. Información

La información del tipo SIG es el Modelo Digital de Elevación (DEM) y el Tipo y Uso de Suelo para el área en estudio. El DEM se obtiene del proyecto ASTER de la NASA mientras que el tipo y uso de suelo se obtiene del Ministerio Agropecuario y Forestal, MAGFOR.

La información hidrometeorológica de la estación meteorológica seleccionada se obtiene en el Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales, INETER.

La información de campo consta de levantamiento topográfico del río y sus secciones transversales cada 20 metros, así como estudio de suelo.

3.2. Modelación

Se hace uso de ArcGis, HEC-HMS y HEC-RAS para completar la evaluación Hidrotécnica del puente La Zompopera.

3.2.1. Análisis Hidrológico

En el Análisis hidrológico se hace uso de modelo en ArcGis y de modelo en HEC-HMS versión 4.2.

Procesos en ArcGis

Partiendo del DEM, se procede a delimitar la cuenca del puente La Zompopera y sus ríos. La información en los archivos shape y en los vectores se utiliza para calcular los parámetros geomorfológicos de la cuenca.

Haciendo uso de los archivos tipo de suelo y uso de suelo se procede a procesarlos y calcular el número de curva de cada sub cuenca.

Luego de delimitar se hace el cálculo de los parámetros de la geomorfología de la cuenca y se emplean las siguientes ecuaciones:

Parámetros generales

Ancho

$$W = \frac{A}{L}$$

Donde:

W: Ancho de la cuenca en km.

A: Superficie de la cuenca en km².

L: Longitud de cauce en km.

Desnivel altitudinal

$$DA = H_{\max} - H_{\min}$$

Donde:

DA: Diferencia Altitudinal

H_{max}: Altura Máxima

H_{min}: Altura Mínima

Parámetros de Forma

Coefficiente de Gravelius

$$K_g = 0.28 \frac{P}{\sqrt{A}}$$

Donde:

K_g: Coeficiente de Gravelius

P: Perímetro de la cuenca en km

A: Área de la cuenca en km²

Factor de forma

$$K_f = \frac{A}{L^2}$$

Donde:

K_f: Factor de forma

A: Área de la cuenca en km²

L: Longitud en km

Altura (L) y base (l) de rectángulo equivalente

Se calcula empleando la siguiente fórmula:

$$L = \frac{K_g \sqrt{A}}{1.12} \left[1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{K_g} \right)^2} \right]$$

Donde

L: Altura del rectángulo en km

l: Base del rectángulo en km

K_g : Coeficiente de Gravelius

A: Área de la cuenca en km^2

$$l = \frac{K_g \sqrt{A}}{1.12} \left[1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{K_g} \right)^2} \right]$$

Parámetros de relieve

Pendiente de fondo de cauce

$$S_c = \frac{DA}{L}$$

Donde:

S_c : Pendiente de fondo de cauce

DA: Desnivel Altitudinal

L: Longitud de cauce

Características de la red de drenaje

$$D_d = \frac{\sum Lc_i}{A}$$

Donde:

D_d : Densidad de drenaje

$\sum Lc_i$: Suma total de las longitudes de todos los cauces en la cuenca, en km

A: Área de la cuenca en km^2

Se decide utilizar: para método de pérdida, SCS; para método de transformación, hidrograma unitario SCS y para método del tránsito de avenidas, Muskingum-Cunge desde ArcGis se asignan los métodos a cada subcuenca y tránsito.

Se procesa toda esta información y se obtiene archivo tipo basin con toda la información de la cuenca en estudio para ser utilizado en HEC-HMS versión 4.2.

Procesos en HEC-HMS

En el proyecto HEC-HMS para la cuenca en estudio ya se dispone de toda la información del Modelo de Cuenca que fue generado en ArcGis.

Se calcula el tiempo de concentración de la cuenca para determinar la duración de la lluvia que se utilizará en el estudio hidrológico.

La fórmula es:

$$T_c = 0.01026 \frac{L^{0.77}}{S^{0.385}}$$

Donde

T_c : Tiempo de concentración en minutos

L: Longitud del cauce principal en metros

S: Pendiente media del cauce principal en m/m

Se calcula el número de curvas basado en cuencas pequeñas experimentales la fórmula de abstracción inicial es:

$$Q = \frac{(P - 0.2S)^2}{P + 0.8S}$$

Donde:

Q: Escorrentía

P: Precipitación

S: Retención máximo potencial

El cálculo de la retención máxima potencial después que comienza la precipitación se calcula mediante:

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

Donde:

S: Retención máximo potencial

CN: Número de Curva

Para el tránsito de caudales se trabajar a partir de HEC-HMS se desarrolla el modelo matemático que se detalla a continuación:

$$S_{\text{prisma}} = K(O)$$

$$S_{\text{cuña}} = b(I - O)$$

Donde:

S: almacenamiento en el tramo

I: caudal de entrada en el tramo

O: caudal de salida en ese tramo

K: constante almacenamiento prisma

B: constante de almacenamiento cuña

Sumando las dos expresiones se obtiene:

$$S = S_{\text{prisma}} + S_{\text{cuña}} = KO + b(I - O) = bI + (K - b)O = K \left[\frac{b}{K} I + \frac{K - b}{K} O \right]$$

$$S = K \left[\frac{b}{K} I + \left(1 - \frac{b}{K} \right) O \right]$$

Si denominamos X a la relación b/K entre las dos constantes consideradas se obtiene:

$$S = K[XI + (1 - X)O]$$

Al aplicar dicha expresión para varios tiempos y en la ecuación

$$\frac{I_{i-1}}{2} - \frac{O_{i-1}}{2} = \frac{S_i - S_{i-1}}{\Delta t}$$

Se obtiene que para el caudal de salida en tiempo t.

$$O_i = C_0 I_i + C_1 I_{i-1} + C_2 O_{i-1}$$

Al combinar los métodos hidráulicos en la formulación del Método Muskingum – Cunge, se utilizan las constantes K y X del método Muskingum, mediante parámetros hidráulicos del cauce.

$$K = \frac{\Delta x}{c}$$

Δx : longitud del tramo del cauce considerado

c: “celeridad” = velocidad media, m

m: aproximadamente 5/3 para cauces naturales amplios.

$$X = \frac{1}{2} \left(1 - \frac{Q}{BS_0 c \Delta x} \right)$$

S_0 : pendiente media del cauce.

Q: Caudal

B: anchura del cauce

Se selecciona un período de retorno de 100 años y 50 años. Haciendo uso de las IDF se calcula el hietograma por medio del método del bloque alterno.

Se procede a:

- ✓ Crear componente de Entrada de Datos y utilizar el hietograma calculado anteriormente.
- ✓ Crear la especificación de control.
- ✓ Crear el Modelo Meteorológico y asignar la entrada de dato a cada sub cuenca.

Se concluyen los procesos en HEC-HMS realizando simulación y obteniendo los resultados.

3.2.2. Modelo para análisis hidráulico y de socavación

3.2.2.1. Topografía y estudio de suelo

El levantamiento topográfico se modela en Civil 3D, mientras que con el sondeo de suelo se procede a realizar análisis granulométrico.

3.2.2.2. Procesos en HEC-RAS para análisis hidráulico

En el proyecto HEC-RAS se importa la geometría del cauce y se seleccionan los coeficientes de Manning. Se establece el puente y se calculan las longitudes de expansión y contracción.

Estas pérdidas se calculan con las siguientes fórmulas:

Donde:

L: Longitud del cauce en peso de la descarga

$$h_p = LS_f + C \left| \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} - \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} \right|$$

S_f: Gradiente Hidráulico entre las secciones contiguas.

C: Coeficientes de pérdidas por expansión o contracción.

Donde:

L: Longitud del cauce en peso de la descarga

$$L = \frac{L_{BI}\bar{Q}_{BI} + L_C\bar{Q}_C + L_{BD}\bar{Q}_{BD}}{\bar{Q}_{BI} + \bar{Q}_C + \bar{Q}_{BD}}$$

L_{BI}, L_C, L_{BD}: Longitudes específicas del caudal en el cauce considerando la banca izquierda, línea central y la banca derecha.

Q_{BI}, Q_C, Q_{BD}: Promedio aritmético de caudales entre las secciones contiguas correspondiente a la banca izquierda, la línea central y la banca derecha.

El cálculo de la longitud de expansión utiliza la siguiente ecuación:

Donde:

$$L_e = RE L_{obs}$$

RE : razón de expansión

L_{obs} – longitud promedio de obstrucción lateral del puente

$$L_{obs} = \frac{\overline{AB} + \overline{CD}}{2}$$

La longitud de contracción dependerá mucho del grado, de la forma de contracción y la magnitud del flujo, y de su velocidad.

Donde

RC: Razón de contracción

$$L_c = RC L_{obs}$$

L_{obs} : Longitud promedio de la obstrucción lateral del Puente.

La longitud 2-2 y 1-1 sería:

$$L_{2-1} = L_e - 1$$

La longitud 2-2 y 3-3 sería:

$$L_{3-2} = 1 + L_{\text{ancho de calzada}} + 1$$

La longitud 4-4 sería:

$$L_{4-3} = L_c - 1$$

Se emplea un flujo uniforme, asignando el valor de caudal calculado en el análisis hidrológico. Luego se asignan las condiciones de frontera, seleccionando una pendiente normal y asignado los valores aguas arriba y aguas abajo calculados para obtener las longitudes de expansión y contracción.

Con los datos para flujo uniforme ingresados en el modelo, se procede a realizar simulación, seleccionando un régimen de flujo mixto para que la simulación nos indique el estado del flujo.

Se obtienen los resultados y se procede a analizar las tablas, secciones transversales y perfiles generados por la simulación.

3.2.2.3. Procesos en HEC-RAS para análisis de socavación

Con los datos del flujo uniforme ingresados en el modelo y con los resultados de esta simulación, se procede a realizar cálculo de diseño hidráulico. Esta función es la que realiza la modelación de la socavación del puente.

En la pestaña de socavación por contracción se asigna el valor del diámetro medio calculado en el estudio granulométrico del suelo y en la lista ecuaciones están:

Socavación por lecho vivo:

$$y_2 = y_1 \left[\frac{Q_2}{Q_1} \right]^{1/6} \left[\frac{W_1}{W_2} \right]^{K_1}$$

$$y_s = y_2 - y_0$$

Donde:

y_s : Profundidad media de socavación por contracción en m

y_2 : Profundidad media del flujo después de la socavación en la sección contraída, en m. Esta sección es la sección interna del puente aguas arriba.

y_1 : Profundidad media del flujo en el canal principal o en el área de margen del río en la sección transversal próxima al puente aguas arriba, en m.

y_0 : Tirante medio antes de la socavación en la sección contraída, en m.

Q_1 : Caudal en el canal principal en la sección transversal próxima al puente, la cual está transportando sedimentos, en m³/s.

Q_2 : Caudal en la sección contraída, la cual está transportando sedimentos, en m³/s.

W_1 : Ancho de la superficie de agua correspondiente al canal principal en la sección próxima al puente, en m.

W_2 : Ancho de la superficie de agua correspondiente al canal principal en la sección contraída, en m.

k_1 : Exponente para el modo de transporte del material de lecho

Con una velocidad:

$$V * = (gy_1S_1)^{1/2}$$

Donde:

V^* : velocidad cortante en el canal principal en la sección próxima al puente, m/s

ω : Velocidad de caída del material de lecho en dependencia de D50, m/s

Se selecciona “dejar por defecto” para que el programa calcule ambas y elija la mayor.

En la pestaña de socavación por expansión se selecciona el K_1 correspondiente y en la lista ecuación tenemos:

Ecuación de Hire

$$y_s = 4y_1 \left(\frac{K_1}{0.55} \right) K_2 F_1^{0.33}$$

Donde:

y_s : Profundidad de socavación, en m.

y_1 : Profundidad de flujo al pie del estribo, en m, medida en la sección interna del puente aguas arriba.

Ecuación de Froelich

$$y_s = 2.27K_1K_2(L')^{0.43}y_aFr^{0.61} + y_a$$

Donde:

y_s : Profundidad de socavación, en m.

K_1 : Factor de corrección por la forma del estribo,

K_2 : Factor de corrección por el ángulo de ataque (θ) del flujo con la pared del estribo. $\theta = 90$ cuando los estribos son perpendiculares al flujo, $\theta < 90$ si los estribos giran aguas abajo, y $\theta > 90$ si los estribos giran aguas arriba.

$$K_2 = \left(\frac{\theta}{90}\right)^{0.13}$$

L' : Longitud del estribo (o terracería del camino) proyectado perpendicular al flujo, en m.

y_a : Profundidad media del flujo en el área correspondiente al estribo, proyectada en la sección transversal próxima al puente, en m.

Fr : Número de Froude del flujo en el área correspondiente al estribo, proyectada en la sección transversal próxima al puente.

$$Fr = \frac{V_e}{(g y_a)^{0.5}}$$

Velocidad promedio del flujo en la sección próxima al puente, en m/s.

$$V_e = \frac{Q_e}{A_3}$$

Q_e : Flujo obstruido por el estribo o la terracería del camino en la sección próxima al puente, en m³/s.

A_e : Área de flujo correspondiente al estribo en la sección próxima al puente, en m².

Se selecciona “dejar por defecto” para que el programa calcule ambas y elija la mayor.

Con todos los datos asignados, se realiza modelación. Los resultados son un esquema de la socavación y un reporte que indica la socavación total a ambos lados.

3.3. Resultados, conclusiones y recomendaciones

Se realiza análisis de los parámetros morfológicos de la cuenca, del resultado de la modelación hidrológica en HEC-HMS versión 4.2, y del resultado de la modelación hidráulica y de socavación en HEC-RAS versión 5.0.3.

Tomando en cuenta los resultados y los análisis formulados en base a los mismos se elaboran las conclusiones y recomendaciones.

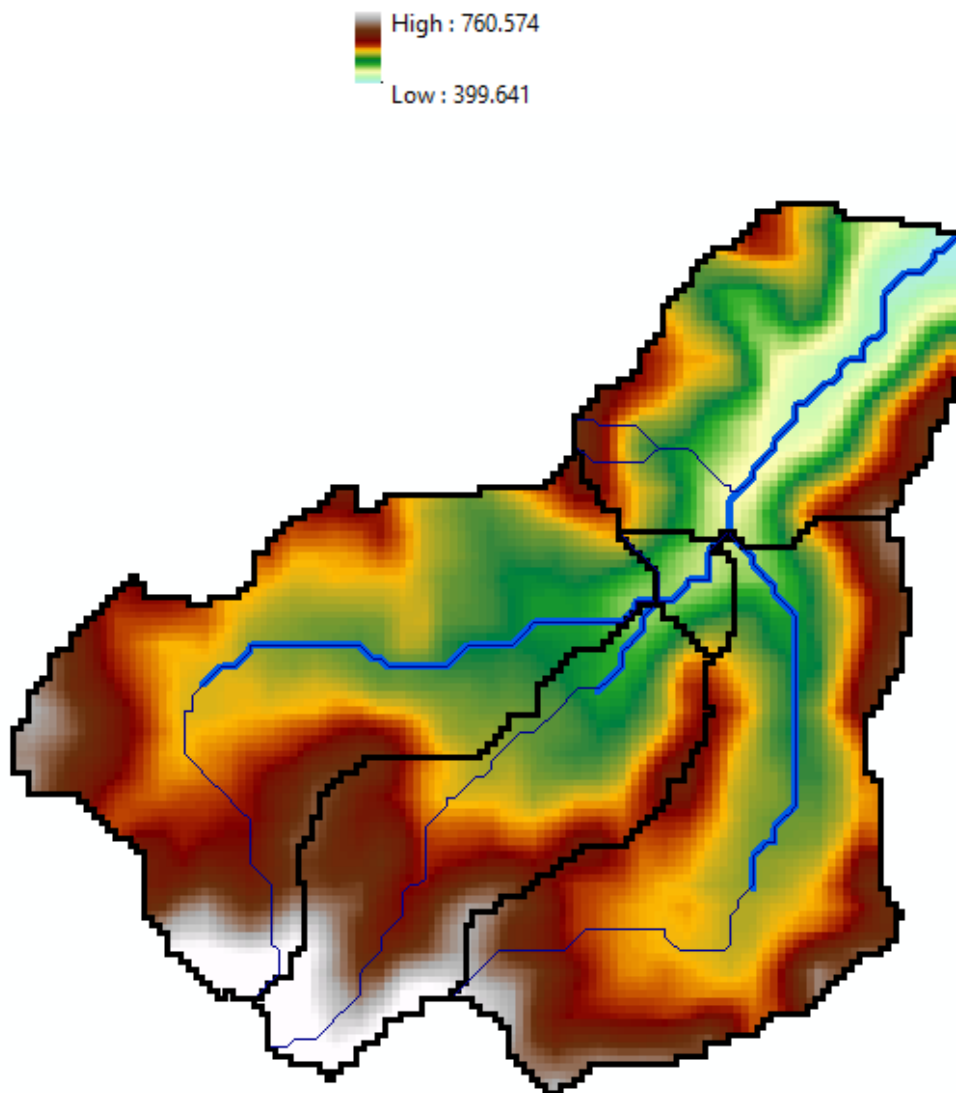
CAPITULO IV: ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1. Morfología de la cuenca

4.1.1. Delimitación de la cuenca

En ArcGis se delimita la cuenca y sus propiedades.

Figura 25: Modelo de la cuenca y sus elevaciones



Fuente: Interface de Usuario proyecto ArcGis elaborado para la cuenca en estudio

4.1.2. Parámetros generales

Tabla 19: Parámetros generales de la cuenca en estudio

Perímetro	13.97 km	
Superficie Total	8.30km ²	Método SCS
Longitud de Cauce	8.14km	Distancia equivalente que recorre el río entre el punto de desagüe, aguas abajo y el punto situado a mayor distancia topográfica, aguas arriba.
Ancho	1.02km	Relación que hay entre el área y la longitud de cauce
Altura Máxima	752.46 m	
Altura Mínima	399.64 m	
Desnivel Altitudinal	352.82 m	Diferencia entre Altura máxima y Altura Mínima

Elaborada por Br. Mendoza Gutiérrez y Br. González Calero

4.1.3. Parámetros de forma

Tabla 20: Parámetros de forma de la cuenca en estudio

Coefficiente de Gravelius (Kg)	1.4	cuenca ovalada; coeficiente se encuentra entre 1.25-1.50
Factor de forma (Kf)	0.1	Cuenca Alargada y estrecha.
Altura de rectángulo equivalente (L)	5.5 km	
Base de rectángulo equivalente (I)	1.5 km	

Elaborada por Br. Mendoza Gutiérrez y Br. González Calero

4.1.4. Parámetro de relieve

Tabla 21: Parámetros de relieve de la cuenca en estudio

Pendiente media	4.30%	Pendiente muy elevada pero congruente con la ubicación de la cuenca.
------------------------	-------	--

Elaborada por Br. Mendoza Gutiérrez y Br. González Calero

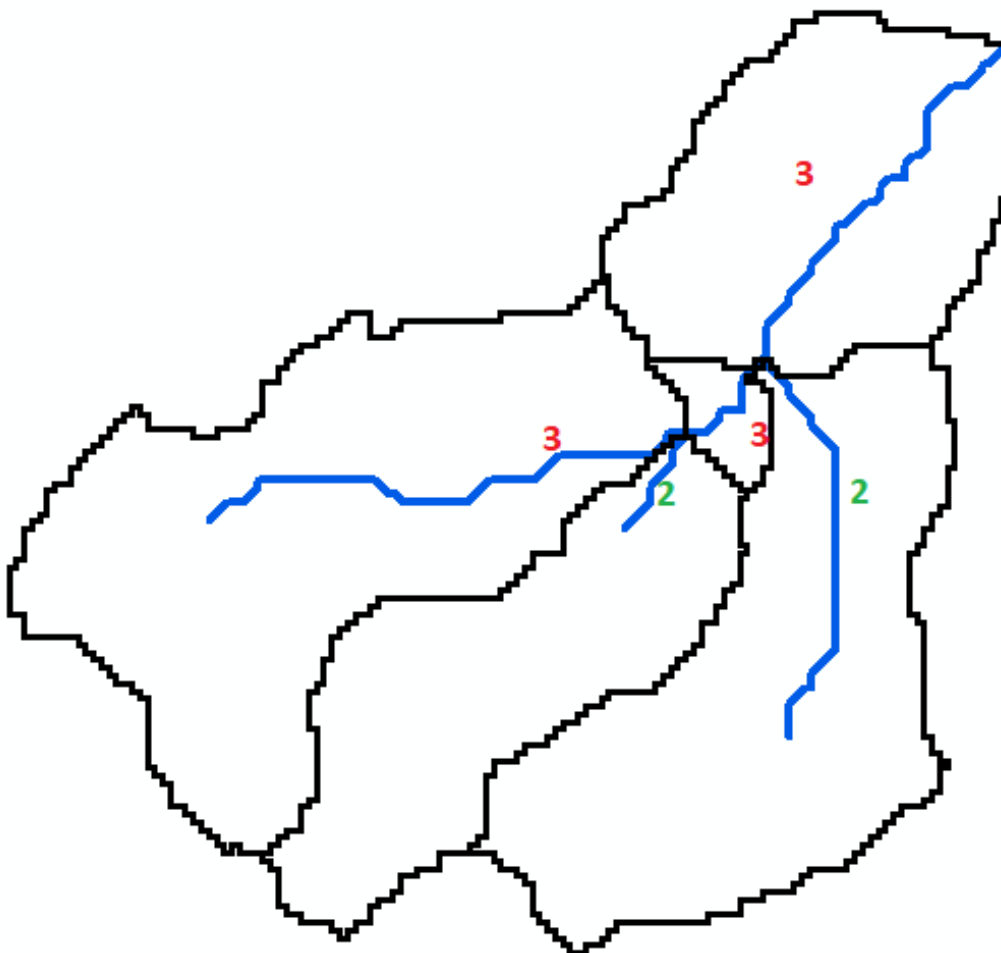
4.1.5. Características de la red de drenaje

Tabla 22: Características de la red de drenaje de la cuenca en estudio

Densidad de drenaje	0.68 km/km ²	cuenca con pobre drenaje
Orden de ríos	2	

Elaborada por Br. Mendoza Gutiérrez y Br. González Calero

Figura 26: Jerarquización de la red fluvial



Interface de Usuario proyecto ArcGis elaborado para la cuenca en estudio

4.1.6. Análisis e interpretación de las características morfológicas de la cuenca.

El Coeficiente de Gravelius de 1.36 indica que la cuenca ovalada lo que significa que el agua discurre por varios cauces hasta llegar al cauce principal, resultando en una respuesta más lenta. El factor de forma de 0.125 indica que al ser la cuenca alargada y estrecha posee descarga pico más baja que una cuenca equivalente más ancha. Las medidas del rectángulo equivalente confirman la forma descrita por el coeficiente de Gravelius y el Factor de forma, y muestra que el centroide se encuentra retirado de la base del mismo.

La densidad de drenaje de 0.68 km/km^2 indica que la cuenca tiene un pobre drenaje, es decir genera poca escorrentía. Su pendiente es de 4.3% la cual es muy elevada, pero congruente con la localización de la cuenca, a como está descrito en la sección 2.3. Geografía y Clima. La jerarquización nos permite observar lo que indica el Coeficiente de Gravelius, en donde la escorrentía debe transitar por varios cauces de orden 2 hasta llegar al cauce principal que es de orden 3.

La Morfología de la cuenca describe el área en estudio como una cuenca de repuesta lenta. Cabe recordar que la caracterización morfológica permite formar una primera idea de la naturaleza y comportamiento de una cuenca; aunque hay otras características que tienen mayor incidencia sobre la generación de escorrentía.

4.2. ESTUDIO HIDROLÓGICO

4.2.1. Procesamiento de la información

4.2.1.1. Selección de estación meteorológica

Se selecciona la estación meteorológica con código 55020 con coordenadas $13^{\circ}05'06''$ en latitud y $85^{\circ}59'48''$ en longitud ubicada en el municipio de Jinotega cuyo registro de información de 33 años comprendida entre 1981 al 2013.

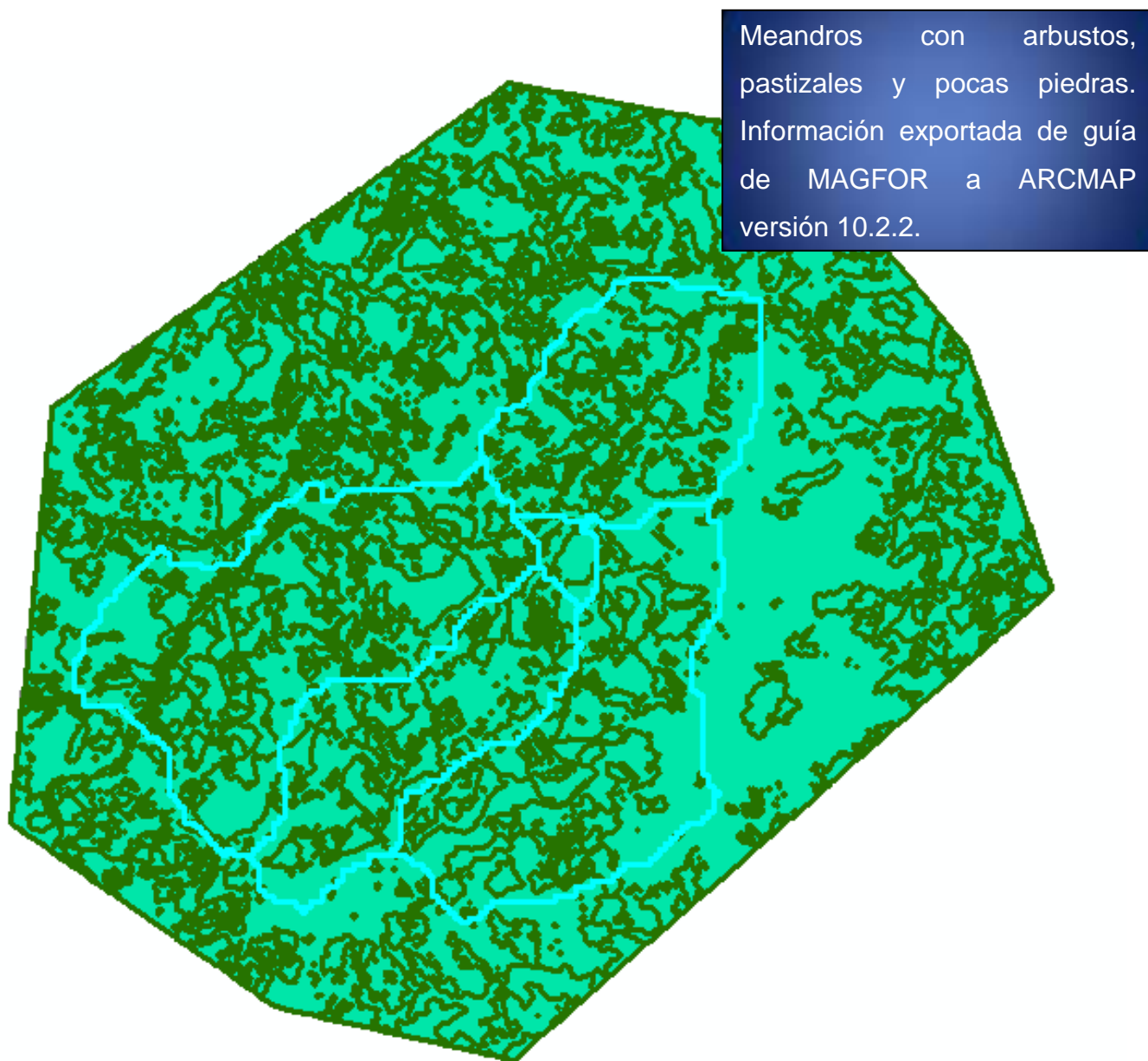
4.2.1.2. Selección del período de retorno

El puente La Zompopera es un puente pequeño ubicado en una carretera cuya clasificación es troncal secundaria, por lo tanto, se evaluó en períodos de retorno de 100 y 50 años.

4.2.1.3. Obtención de número de curva

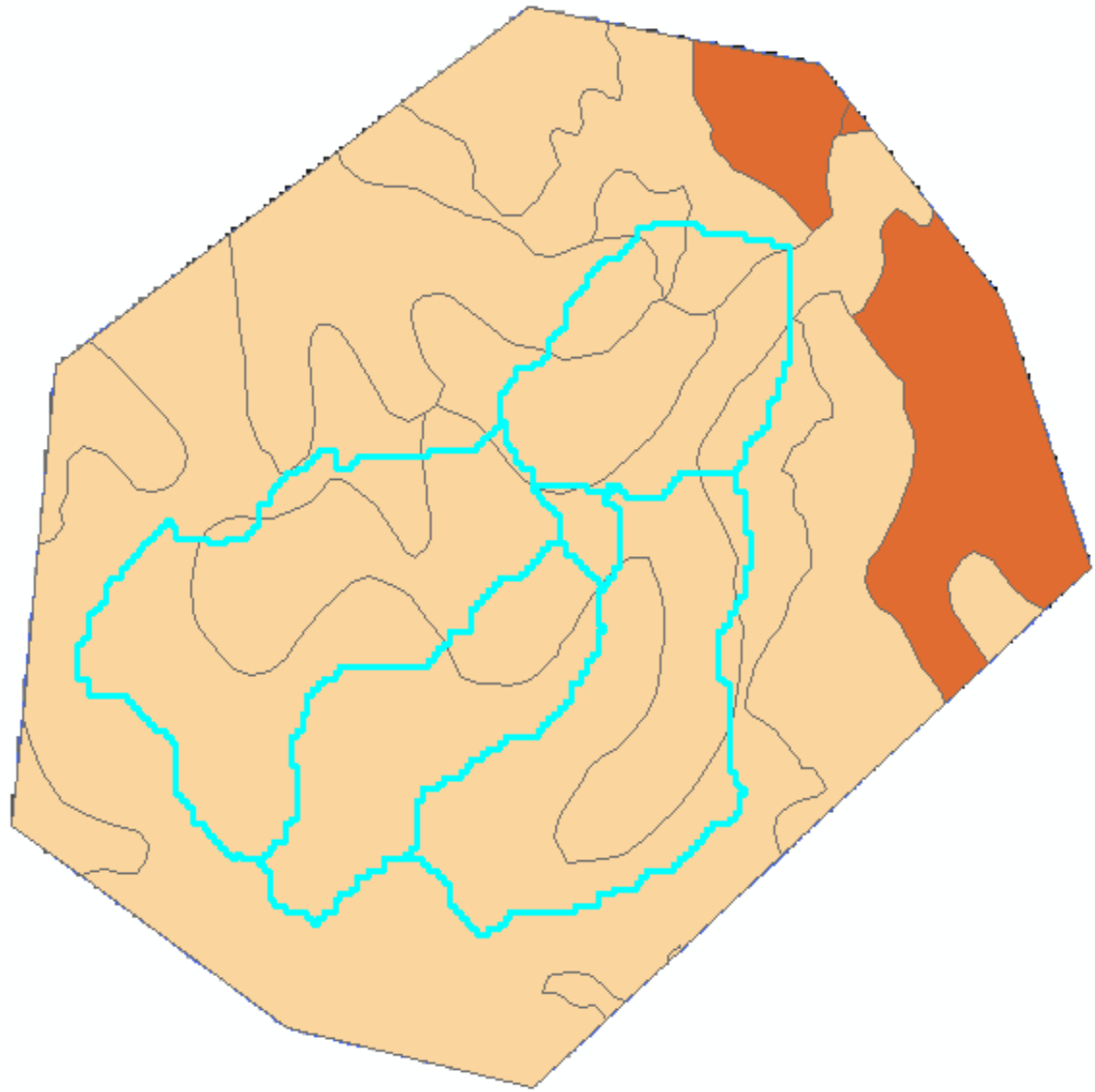
La Figura 27 muestra el Uso de Suelo y la Figura 28 muestra el Tipo de Suelo, utilizando ambos datos se calcula número de curva en cada cuenca a como lo muestra la Figura 29.

Figura 27: Uso de suelo



Interface de usuario proyecto ArcGis elaborado para la cuenca en estudio

Figura 28: Tipo de suelo

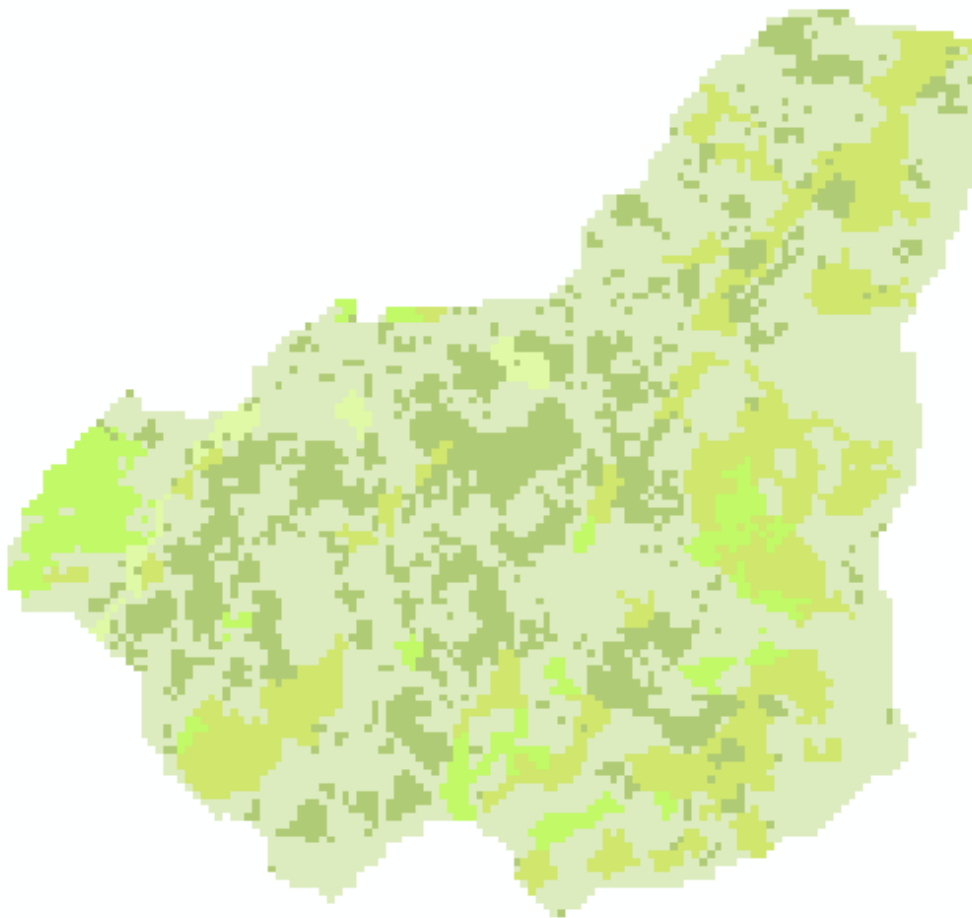
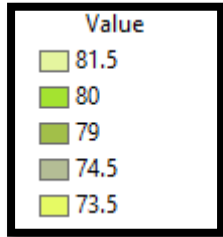


Perf_Leye

1:Prof. > 100cm,Fa,F,FL,FA,Dren.Buono,GE BuenoFert.Alta

Interface de usuario proyecto ArcGis elaborado para la cuenca en estudio

Figura 29: Número de curva



Interface de usuario proyecto ArcGis elaborado para la cuenca en estudio

4.2.2. Modelación HEC-HMS

4.2.2.1. Modelo de la cuenca

Del modelo de la cuenca trabajado en ArcGis y exportado a HEC-HMS se obtienen los siguientes valores para cada sub cuenca:

Tabla 23: Características de las sub cuenca generadas ArcGis y utilizadas en HEC-HMS

Cuenca	Área Km2	CN	LAG TIME	CN III
W100	1.52	80	23.01	90.19
W90	2.76	79.79	34.24	90.08
W80	2.27	79.02	28.06	89.65
W70	0.14	78.81	10.42	89.53
W60	1.62	79.28	19.57	89.79

Reporte de cuenca en estudio generado por ArcGis.

De la misma forma se obtienen los siguientes valores de los tránsitos que recorren la cuenca.

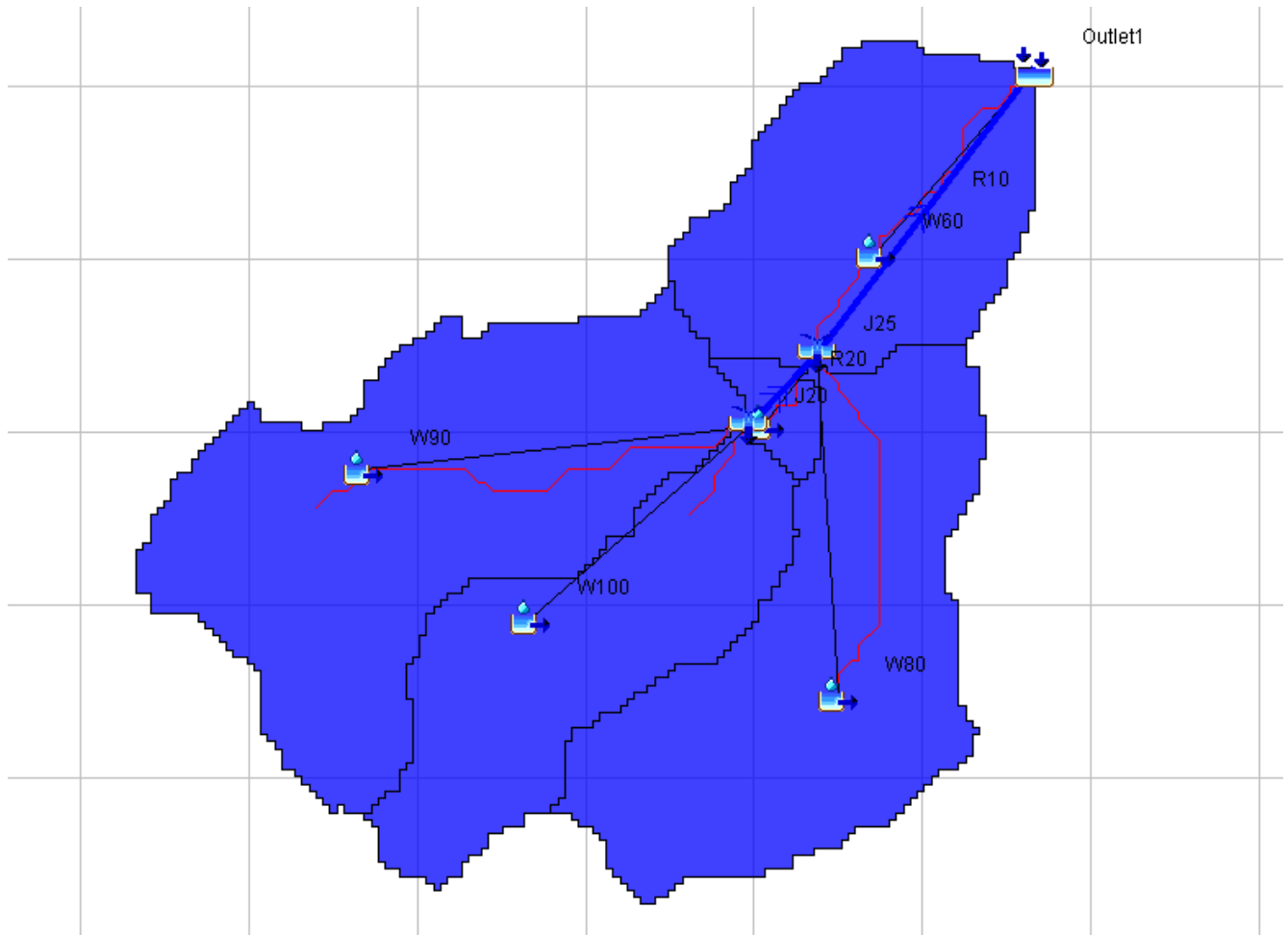
Tabla 24: Datos del Tránsito

Transito	Largo	Pendiente
R10	1747.0	0.25
R20	512.13	0.02

Elementos "Reach" en HEC-HM

En la Figura 30 se muestra el modelo de cuenca en HMS.

Figura 30. Modelo de la cuenca



Interface de usuario proyecto HEC-HMS elaborado para la cuenca en estudio

La Figura 31 muestra la pestaña de una subcuenca representativa y la Figura 32 muestra la pestaña de un tránsito representativo indicando los métodos utilizados.

Figura 31: Métodos utilizados en sub cuenca representativa

Subbasin | Loss | Transform | Options

Basin Name: LaZompopera
Element Name: W100

Description:

Downstream: J20

*Area (KM2) 1.5183

Latitude Degrees:

Latitude Minutes:

Latitude Seconds:

Longitude Degrees:

Longitude Minutes:

Longitude Seconds:

Canopy Method: --None--

Surface Method: --None--

Loss Method: SCS Curve Number

Transform Method: SCS Unit Hydrograph

Baseflow Method: --None--

Interface de usuario proyecto HEC-HMS elaborado para la cuenca en estudio

Figura 32: Método Utilizado en tránsito representativo

Reach | Routing | Options

Basin Name: LaZompopera
Element Name: R10

Description:

Downstream: Outlet1

Routing Method: Muskingum-Cunge

Loss/Gain Method: --None--

Interface de usuario proyecto HEC-HMS elaborado para la cuenca en estudio

4.2.2.2. Entrada de Datos

Los datos a utilizarse en el componente entrada de datos se calculan de la siguiente manera:

- a) Tiempo de concentración

$$T_c = 1 \text{ hora}$$

- b) Hietograma: del anexo A se toma la Tabla 23

Tabla 25: Parámetros de la Ecuaciones de Forma: $I=A/(t+d)^{b10}$

T Años	r	A	d	b
1.5	-0.99	4777.24	30.0	1.10
2	-0.99	1646.05	14.0	0.89
5	-0.99	2432.59	16.0	0.92
10	-0.99	1285.55	7.0	0.78
15	-0.99	1129.47	5.0	0.75
25	-0.99	880.12	2.0	0.69
50	-0.99	967.69	2.0	0.69
100	-0.99	1054.61	2.0	0.69

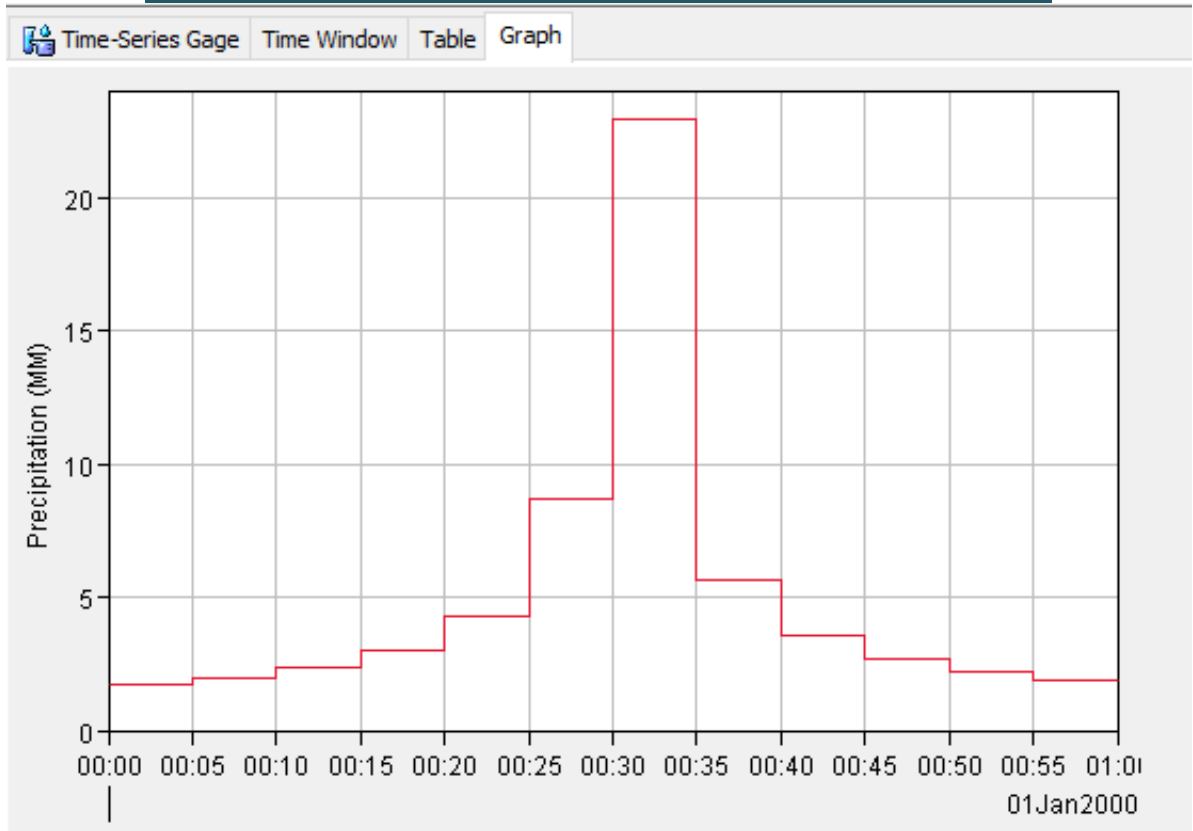
Fuente: INETER. Informe curvas de intensidad, duración y frecuencia de la precipitación de la estación meteorológica de Jinotega. Ver anexo A

Debido a que el tiempo de concentración es de 1 hora, se decide crear hietograma cuya duración sea de 1 hora. Se utilizan los datos de la Ecuación de Forma para elaborar Hietograma de lluvia utilizando el método del bloque alterno a como se muestra en Anexo C.

En HEC-HMS se crea Componente de Entrada de Datos llamado "Gage 1". En los datos de serie se especifica que los datos se ingresarán de forma manual con incrementos en milímetros a intervalos de 5 minutos. Se ingresa en la Ventana de Tiempo una duración de lluvia de 3 horas para TR 100 y 1 hora para TR 50 y se utilizan los datos del Hietograma de Anexo C en la pestaña Tabla. El modelo hidrológico ahora cuenta con los datos de lluvia.

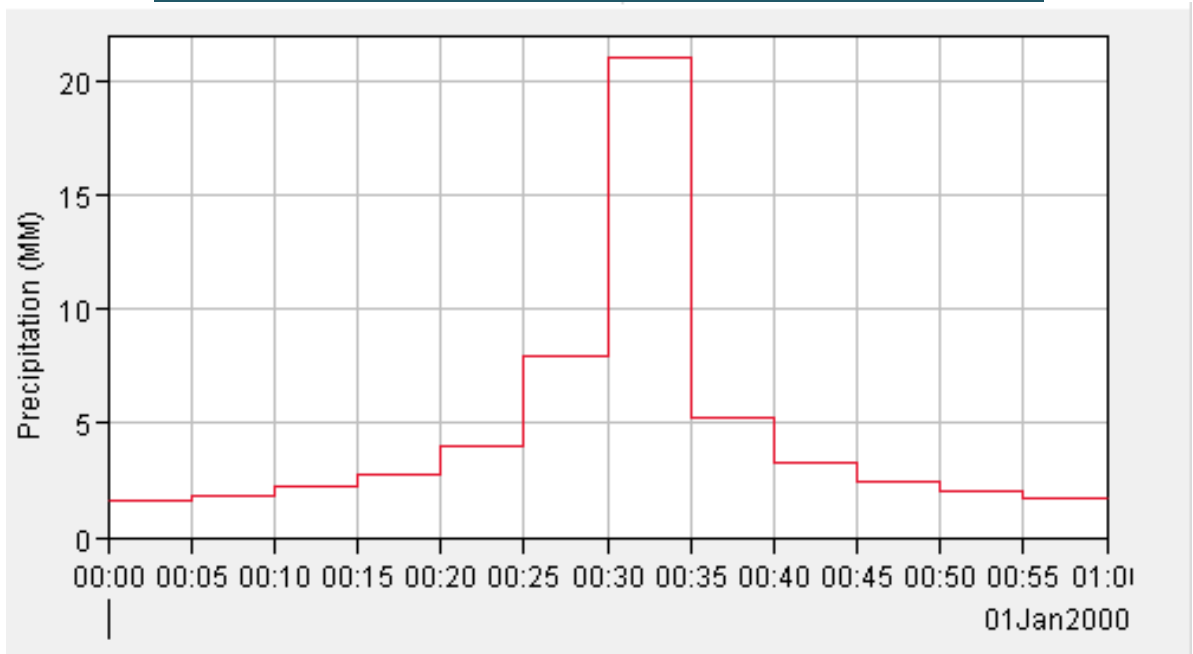
Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales curvas de intensidad, duración y frecuencia de la precipitación de la estación meteorológica de Jinotega.

Figura 33: Hietograma generado en entrada de datos TR100



Interface de Usuario proyecto HEC-HMS elaborado para la Cuenca en Estudio

Figura 34: Hietograma generado en entrada de datos TR50



Interface de Usuario proyecto HEC-HMS elaborado para la Cuenca en Estudio

4.2.2.3. Modelo de control

Figura 35: Especificaciones de control

Control Specifications	
Name:	Control 1
Description:	<input type="text"/>
*Start Date (ddMMYYYY)	01ene2000
*Start Time (HH:mm)	00:00
*End Date (ddMMYYYY)	01ene2000
*End Time (HH:mm)	03:00
Time Interval:	5 Minutes

Interface de usuario proyecto HEC-HMS elaborado para la cuenca en estudio

4.2.2.4. Modelo meteorológico

Se crea el modelo meteorológico seleccionando en precipitación la opción Hidrograma Especificado y se asigna a cada subcuenca la serie de datos a utilizarse a como muestra de manera representativa la Figura 36 y 37.

Figura 36: Modelo meteorológico

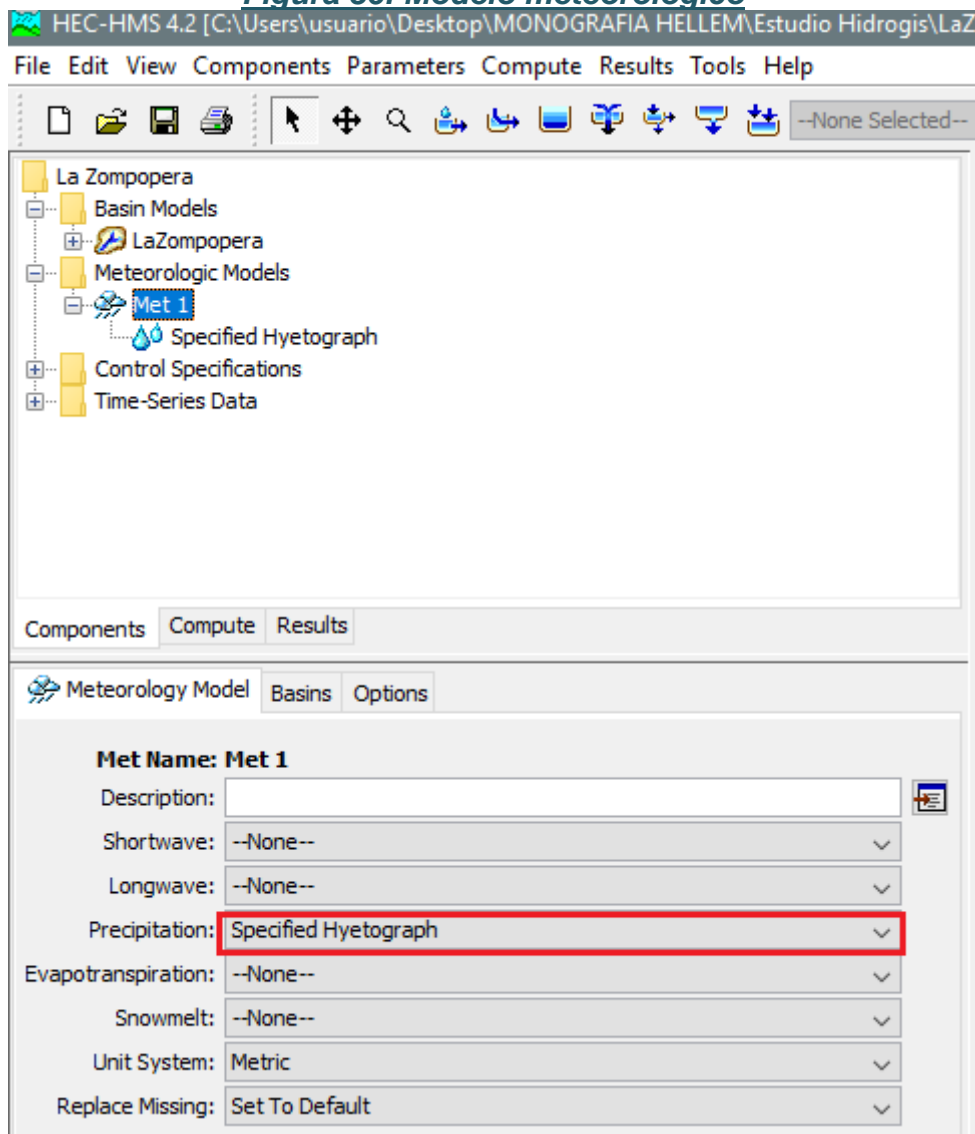


Figura 37: Hidrograma especificado de cada sub cuenca

Specified Hyetograph

Met Name: Met 1

Subbasin Name	Gage
W 100	Gage 1
W60	Gage 1
W70	Gage 1
W80	Gage 1
W90	Gage 1

Interface de Usuario proyecto HEC-HMS elaborado para la Cuenca en Estudio y adaptado.

4.2.3. Resultados

En la Tabla 22 se detalla cada elemento hidrológico el área drenada, la descarga pico, el tiempo pico y la precipitación de exceso. El caudal calculado para el punto de cierre es de 54.7 m³/s en TR100 y 42.0 m³/s en TR50 a como lo muestra el reporte de HEC-HMS presentado en la Figura 38 y Figura 39.

Tabla 26: Resultado HEC-HMS TR100

Elemento Hidrológico	Área Km2	Descarga Pico m3/s	Tiempo Pico	Precipitación de Exceso mm
W100	1.5183	12.7	01ene2000, 01:00	20.8
W90	2.7576	17.4	01ene2000, 01:15	20.43
W80	2.2662	15.7	01ene2000, 01:05	19.56
W70	0.144	1.8	01ene2000, 00:45	19.31
W60	1.6227	14.2	01ene2000, 00:55	19.88
Outlet1	8.3088	54.7	01ene2000, 01:05	20.1
J20	4.2759	28.5	01ene2000, 01:05	20.57
J25	6.6861	44.4	01ene2000, 01:10	20.19
R10	6.6861	44.2	01ene2000, 01:10	20.15
R20	4.2759	28.4	01ene2000, 01:10	20.55

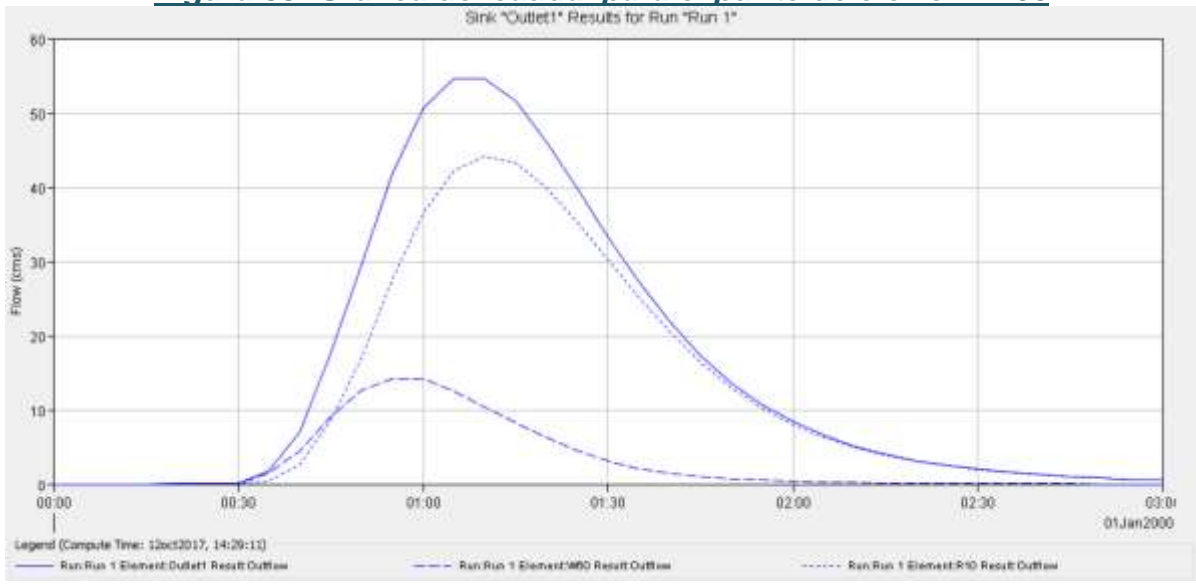
Fuente: "Global Summary Results for TR-100" proyecto HEC-HMS elaborado para la cuenca en estudio.

Tabla 27: Resultado HEC-HMS TR50

Elemento Hidrológico	Área Km2	Descarga Pico m3/s	Tiempo Pico	Precipitación de Exceso mm
W100	1.5183	10.7	01ene2000, 01:00	6.28
W90	2.7576	11.6	01ene2000, 01:00	2.86
W80	2.2662	12.2	01ene2000, 01:00	4.07
W70	0.144	1.5	01ene2000, 00:45	12.05
W60	1.6227	11.9	01ene2000, 00:55	7.49
Outlet1	8.3088	42	01ene2000, 01:00	3.57
J20	4.2759	22.4	01ene2000, 01:00	4.07
J25	6.6861	33.8	01ene2000, 01:00	3.71
R10	6.6861	30.1	01ene2000, 01:00	2.61
R20	4.2759	20.8	01ene2000, 01:00	3.23

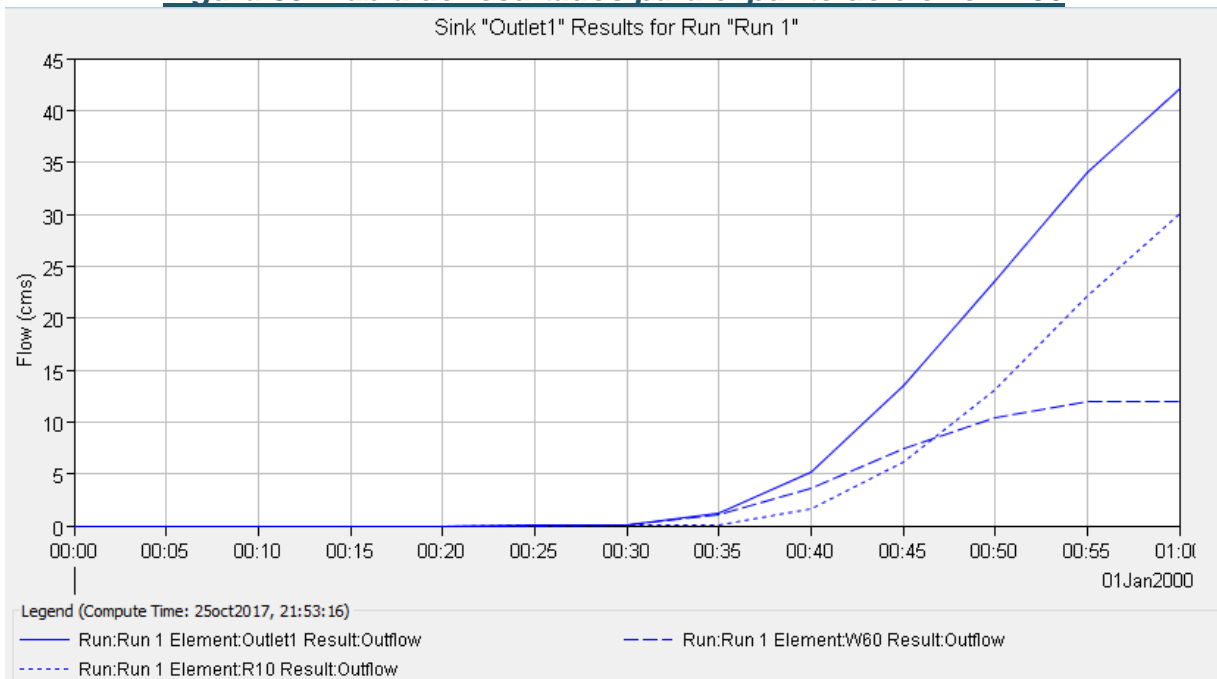
Fuente: "Global Summary Results for TR-50" proyecto HEC-HMS elaborado para la cuenca en estudio.

Figura 38: Gráfica del caudal para el punto de cierre TR100



Fuente: Interface de Usuario proyecto HEC-HMS elaborado para la cuenca en estudio

Figura 39: Tabla de resultados para el punto de cierre TR50



Fuente: Interface de Usuario proyecto HEC-HMS elaborado para la cuenca en estudio

4.2.4. Análisis e interpretación del estudio hidrológico

El caudal de 54.7 m³/s calculado para un TR 100 en HEC-HMS indica que la cuenca es propensa a generar escorrentía. Aunque los datos morfológicos de la cuenca inicialmente indicaban una cuenca de respuesta lenta, el número de curva muestra una cuenca con un bajo potencial de retención máxima. El modelo hidrológico demuestra que la capacidad de retención de una cuenca es más influyente en la generación de escorrentía que sus características morfológicas.

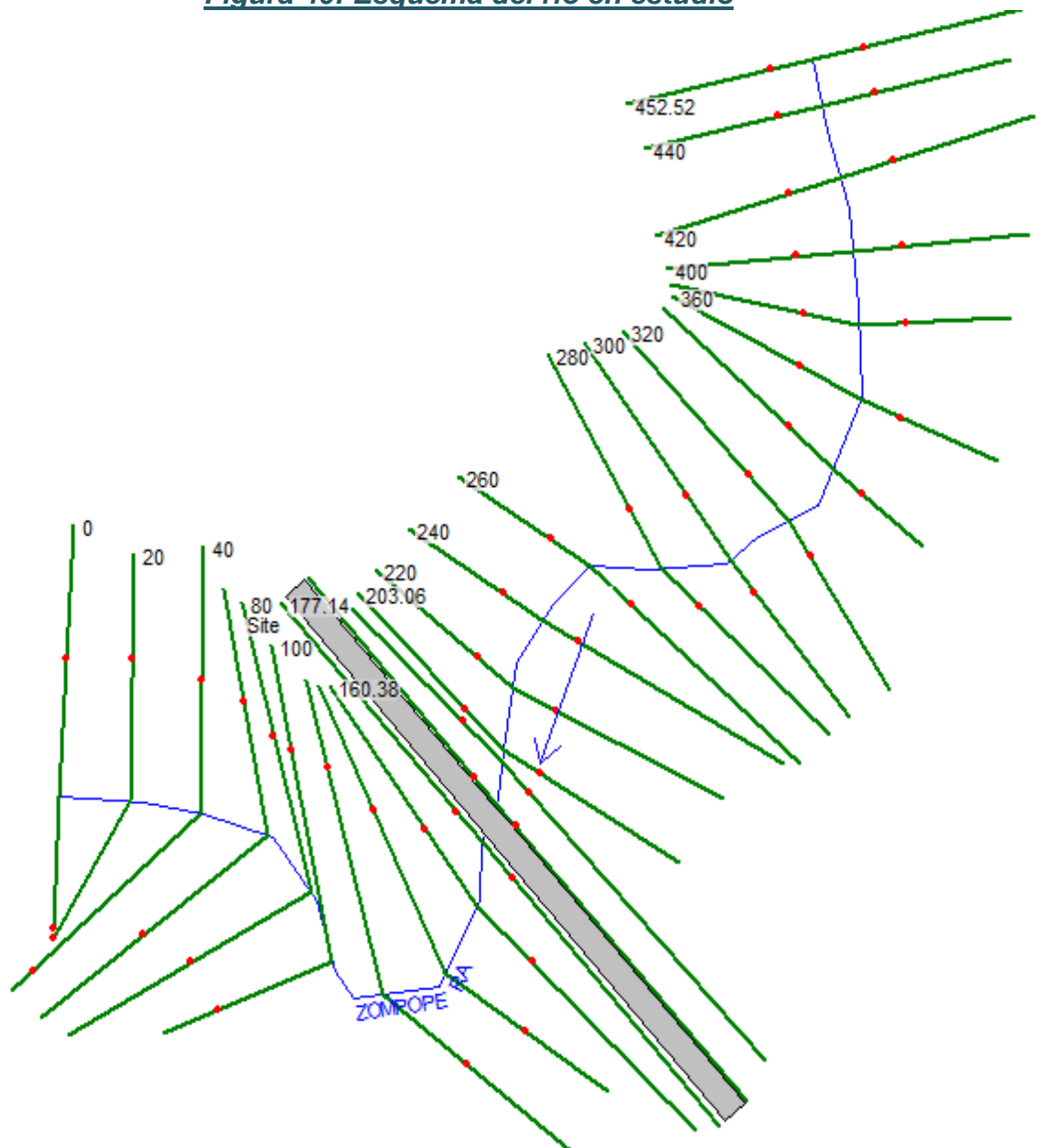
Estos resultados demuestran que el uso y tipo de suelo inciden grandemente en la generación de escorrentía. La cuenca del Río La Zomopera, ha sido parte del avance de la frontera agrícola y estos resultados muestran como el ser humano ha incidido en la repuesta hidrológica de la cuenca en estudio.

4.3. ESTUDIO HIDRÁULICO

4.3.1. Datos y modelación

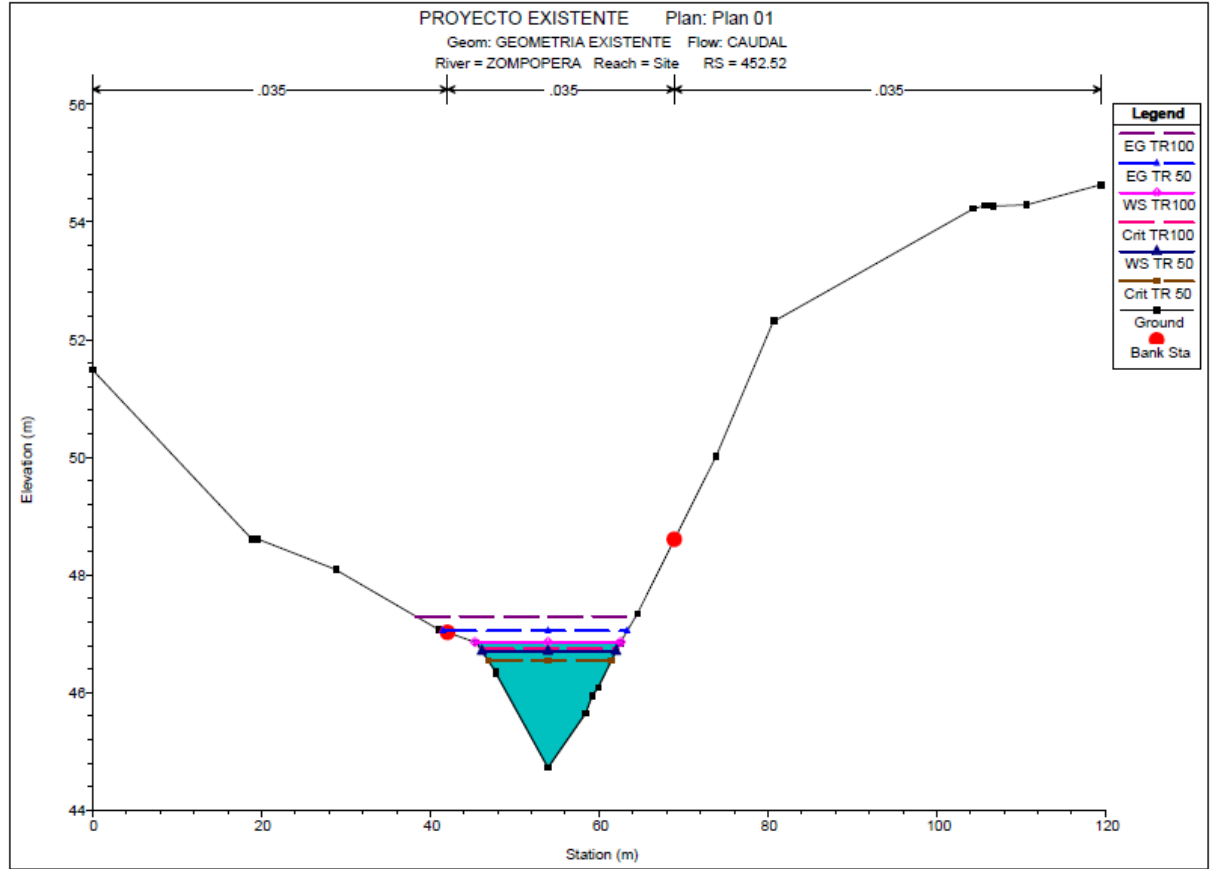
En el Anexo D se presenta modelo elaborado en Civil3D a partir del levantamiento topográfico. Se utilizan los datos geométricos para crear en modelo geométrico en HEC-RAS. La Figura 40 muestra el esquema del río y las Figuras 41 y 42 muestran dos secciones transversales del río.

Figura 40: Esquema del río en estudio



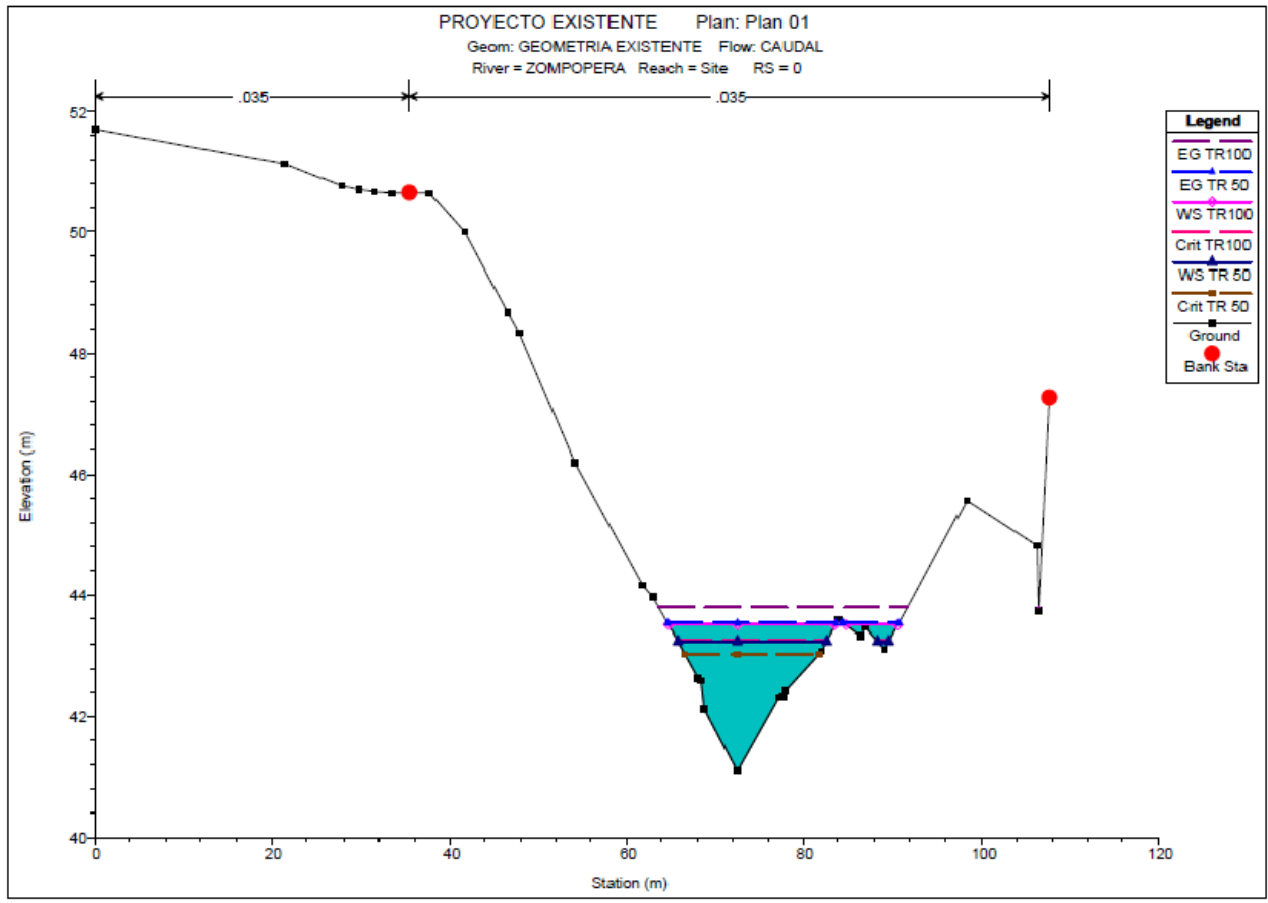
Fuente: Interface de usuario proyecto HEC-RAS elaborado para el cauce y puente en estudio

Figura 41: Sección transversal inicio de la estación 452.52



Fuente: Interface de usuario proyecto HEC-RAS elaborado para el cauce y puente en estudio.

Figura 42: Sección Transversal final de la estación 0



Fuente: Interface de usuario proyecto HEC-RAS elaborado para el cauce y puente en estudio

La Figura 43 evidencia la selección del coeficiente de Manning de 0.035 para la planicie de inundación y del coeficiente de Manning de 0.035 para el canal de inundación.

Figura 43: Fotografía del cauce y sus coeficientes de Manning



Fuente: Elaboración propia

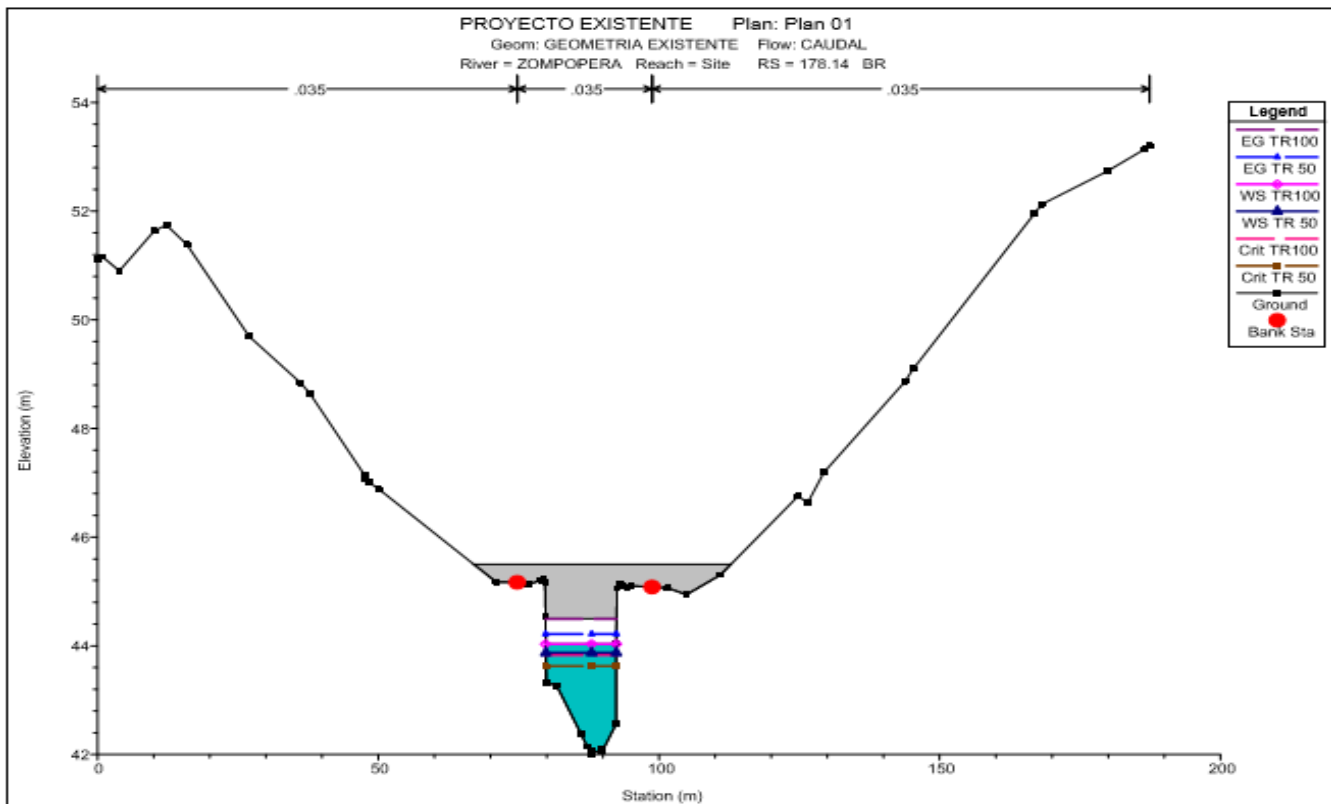
La Tabla 28 muestra los resultados del cálculo de las estaciones de contracción y expansión. Los cálculos fueron procesados en Excel.

Tabla 28: Cálculo de estaciones de contracción y expansión

ancho de cauce	39		
LE	16.76	longitud de expansión	
RE	2	razón de expansión	
nob/nc	1.2857		
b/B	0.3296		
nob	0.045	Manning planicie de inundación	
nc	0.035	Manning canal de inundación	
b	8.24	ancho de apertura del puente	
B	25	ancho total de la zona inundada	
s	45.04	pendiente pie/milla	
So	0.008530291	pendiente fondo cauce m/m	
elv 1	42.66	139.9606299	pies
elv 2	41.09	134.8097113	pies
dist	184.05	603.8385827	pies
Lobs	8.38	longitud de obstrucción promedio	
long 1	8.38		
long.2	8.38		
LC	15.922	longitud de contracción	
RC	1.9	razón de contracción	
nob/nc	1.286		
b/B	0.3296		
nob	0.045	Manning planicie de inundación	
nc	0.035	Manning canal de inundación	
b	8.24	ancho de apertura del puente	
B	25	ancho total de la zona inundada	
s	49.08392924	pendiente pie/milla	
So	0.009296199	pendiente fondo cauce m/m	
Elv 1	44.72	146.7191601	pies
Elv 2	42.25	138.6154856	pies
Dist	265.7	871.7191601	pies
Lobs	8.38	longitud de obstrucción promedio	
long 1	8.38		
long.2	8.38		
Ancho de puente+2	8	M	
Estación 1	160.38		
Estación 2	177.14	estación de referencia puente	
Puente	178.14	estación puente	
Estación 3	187.14		
Estación 4	203.062		
LONGITUD TOTAL	42.682		

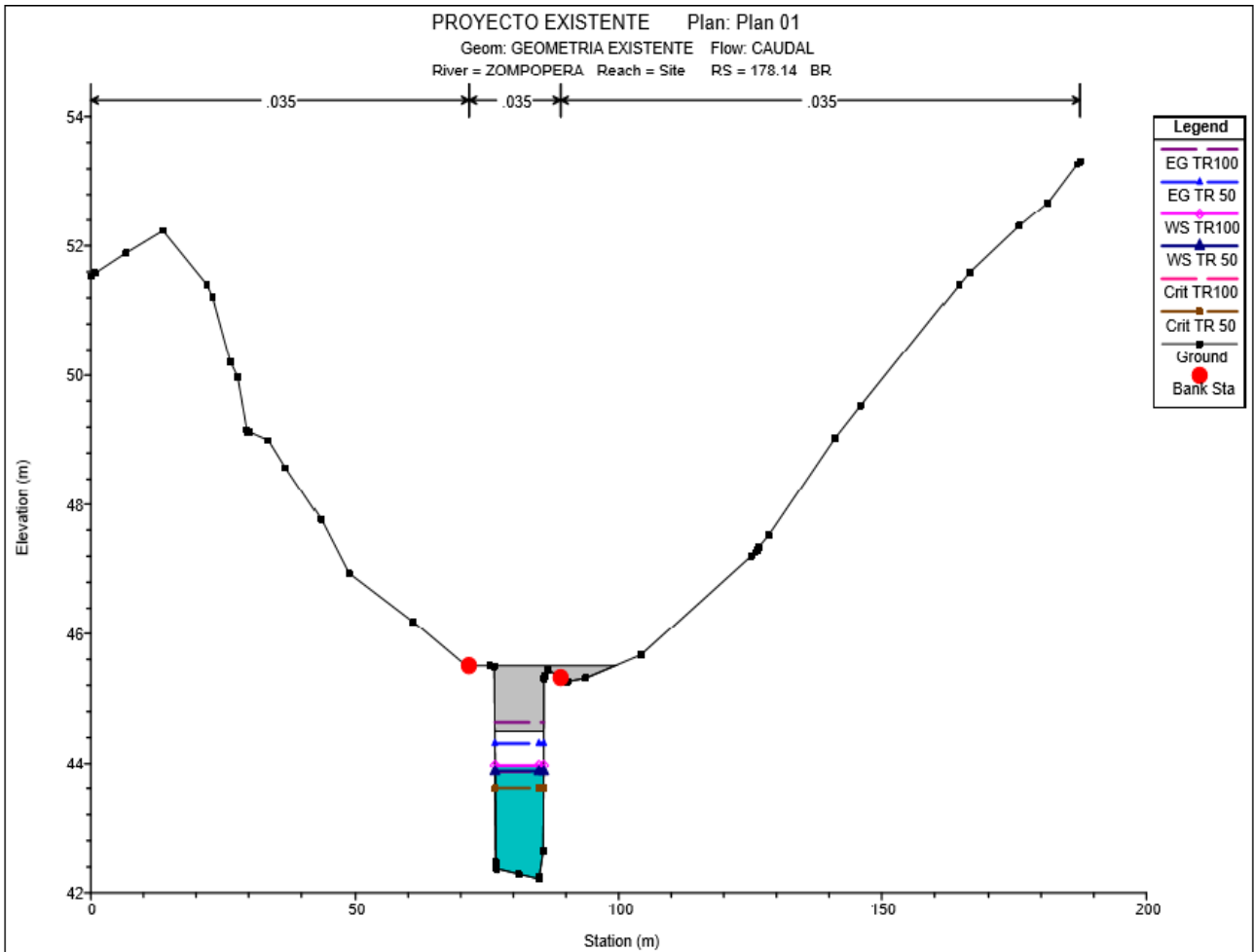
Se elabora modelo del puente en base a su geometría. La Figura 44 y Figura 45 muestra el esquema del puente aguas arriba y aguas abajo para periodos de retorno de 50 y 100 años.

Figura 44: Esquema del puente aguas arriba para ambos periodos de 50 y 100 años



Fuente: Interface de Usuario proyecto HEC-RAS elaborado para el Cauce y Puente en Estudio

Figura 45: Esquema del puente aguas abajo para ambos periodos de 50 y 100 años

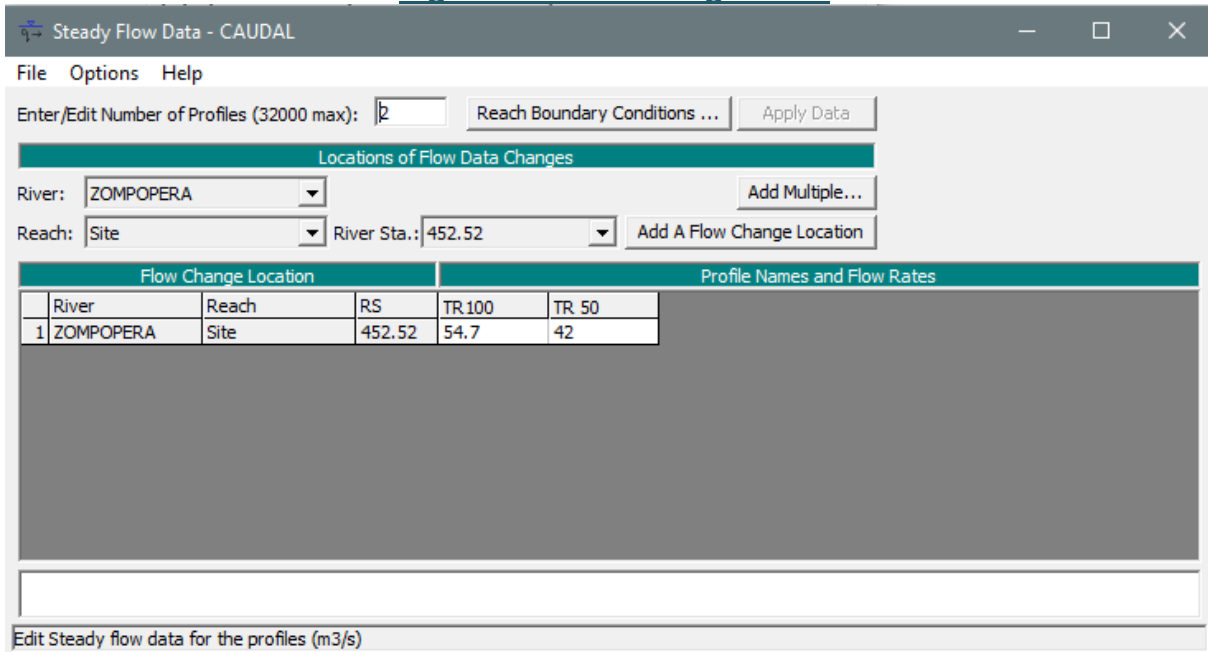


Fuente: Interface de usuario proyecto HEC-RAS elaborado para el cauce y puente en estudio

4.3.2. Parámetros hidráulicos

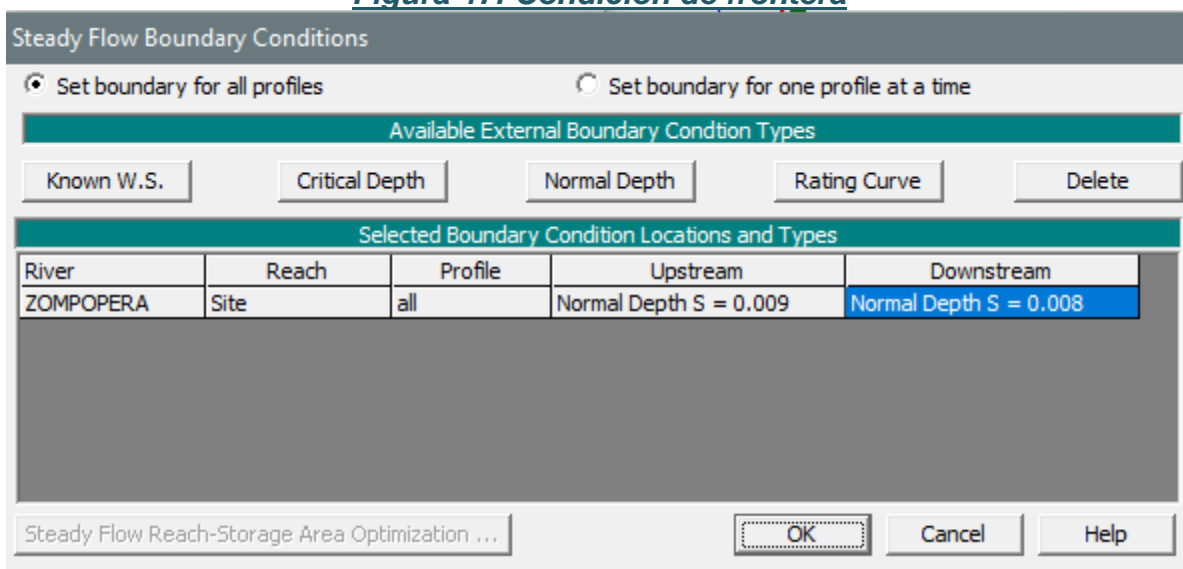
En los datos de flujo uniforme se asigna caudal de 54.7 m³/s para periodo de retorno de 100 años, y 42.0 m³/s para periodo de 50 años calculados en HEC-HMS y en las condiciones de frontera se establece una profundidad normal con respecto a la pendiente.

Figura 46: Caudal ingresado



Fuente: Interface de usuario proyecto HEC-RAS elaborado para el cauce y puente en estudio

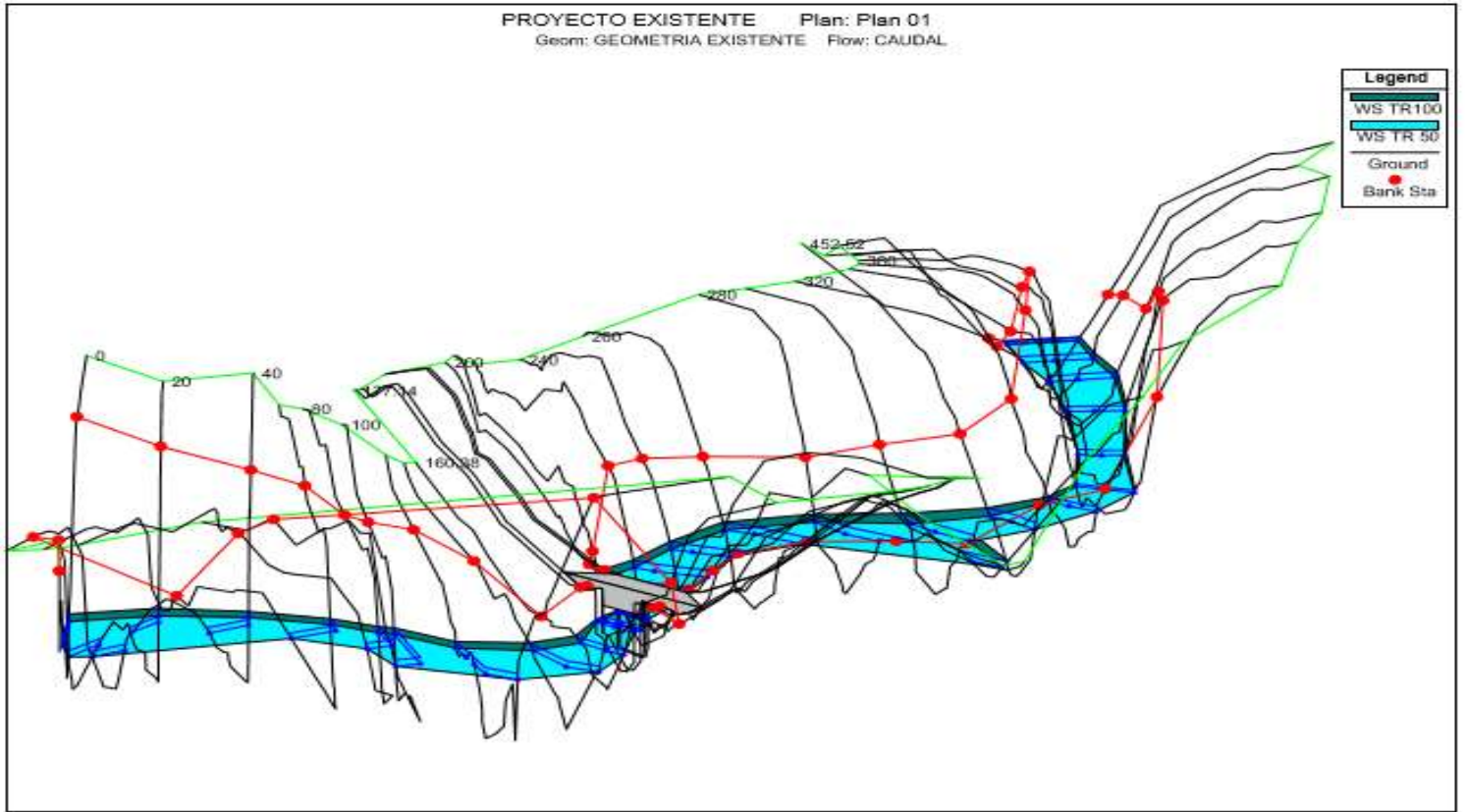
Figura 47: Condición de frontera



Fuente: Interface de usuario proyecto HEC-RAS elaborado para el cauce y puente en estudio.

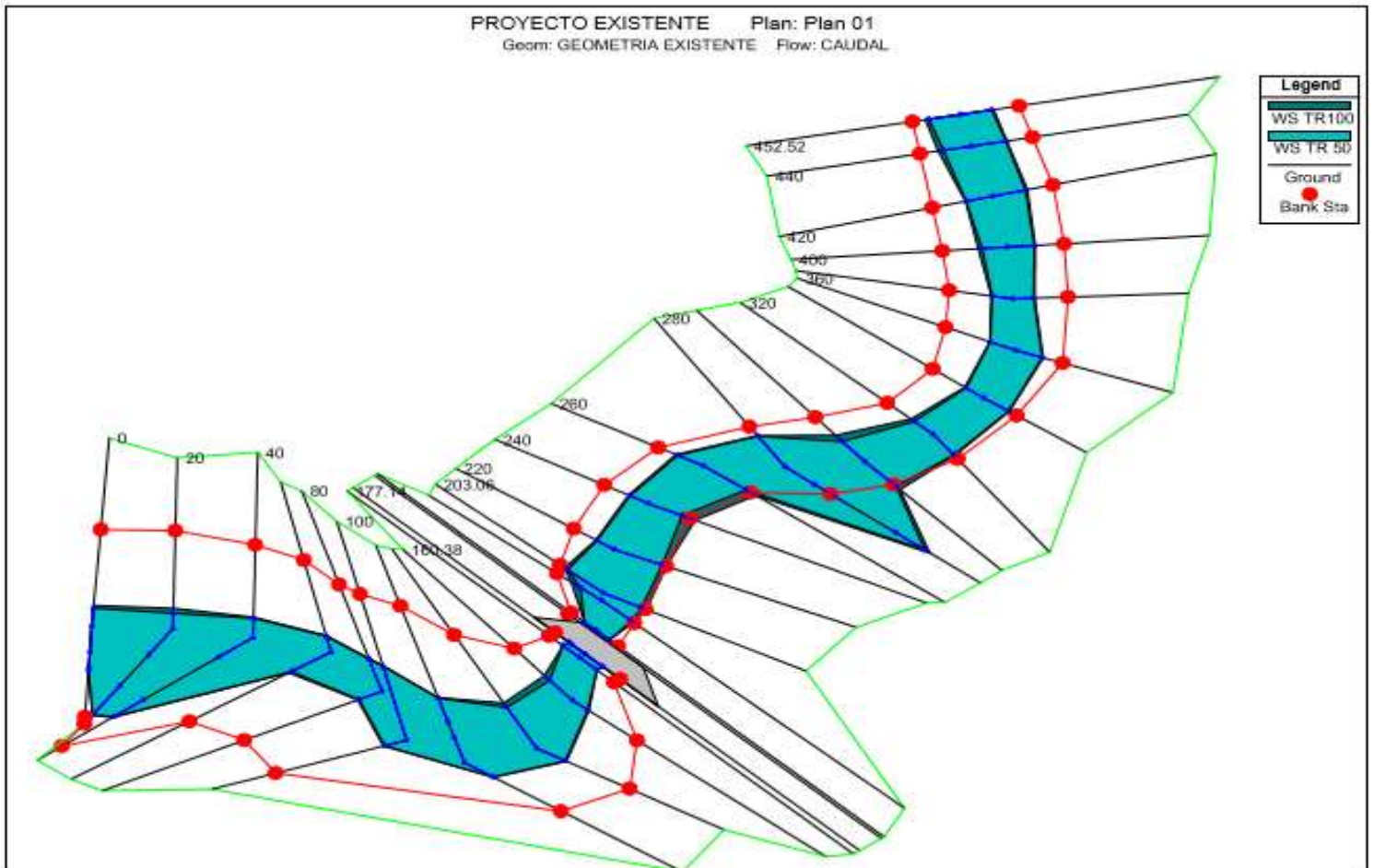
4.3.3. Resultados

Figura 48: Perspectiva perfil hidráulico evaluado vista en 24 grados



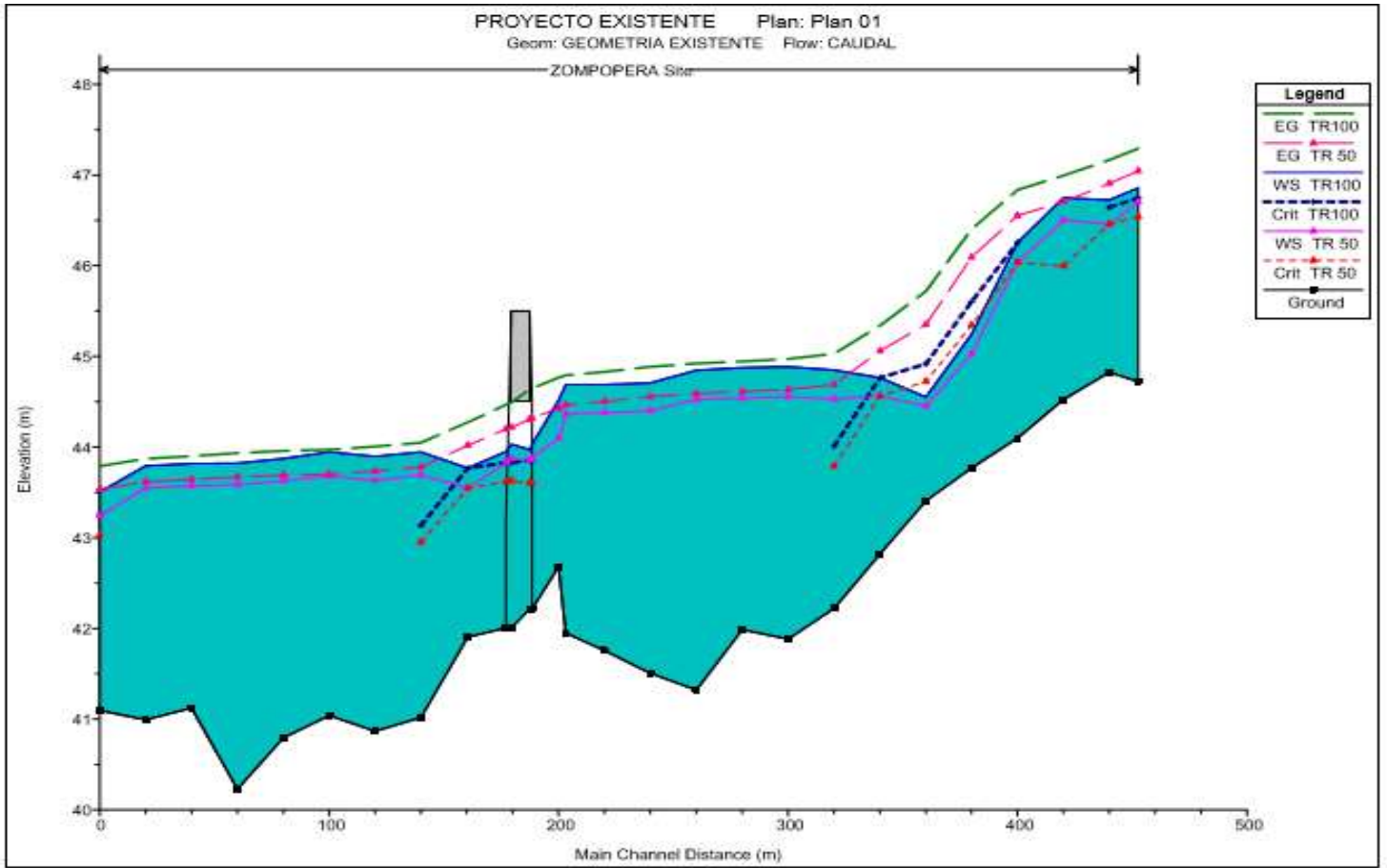
Fuente: Interface de usuario proyecto HEC-RAS elaborado para el cauce y puente en estudio

Figura 49: Perspectiva perfil hidráulico evaluado vista en 90 grados



Fuente: Interface de Usuario proyecto HEC-RAS elaborado para el cauce y puente en estudio

Figura 50: Perfil hidráulico



Fuente: Interface de Usuario proyecto HEC-RAS elaborado para el cauce y puente en estudio

Tabla 29: Resultados de flujo en los puntos de análisis

RS	Profile	E.G. Elev	W.S. Elev	Vel Head	Frctn Loss	C & E Loss	Q Left	Q Ch	Q Right	Top width
452.52	TR100	47.29	46.86	2.92	0.13	0.00		54.70		17.28
	TR50	47.05	46.70	0.34	0.13	0.01		42.00		15.88
440	TR100	47.17	46.72	0.44	0.11	0.06		54.70		17.33
	TR50	46.91	46.46	0.45	0.12	0.07		42.00		15.79
420	TR100	46.99	46.75	0.24	0.12	0.03		54.70		15.87
	TR50	46.70	46.51	0.20	0.12	0.03		42.00		15.27
400	TR100	46.84	46.25	0.58	0.37	0.06		54.70		14.16
	TR50	46.55	46.04	0.51	0.40	0.05		42.00		12.85
360	TR100	46.60	45.25	1.17	0.68	0.00		54.70		10.77
	TR50	46.09	45.03	0.90	0.69	0.05		42.00		10.22
320	TR100	42.72	44.55	0.18	0.00	0.00		54.70		14.56
	TR50	45.35	44.45	0.16	0.17	0.02		42.00		14.14
300	TR100	44.97	44.89	0.09	0.02	0.01		54.42	0.28	23.77
	TR50	44.63	44.56	0.07	0.02	0.00		41.99	0.01	20.85
280	TR100	44.94	44.88	0.07	0.02	0.00		50.57	4.13	29.20
	TR50	44.61	44.54	0.07	0.02	0.00		40.68	1.32	23.61
260	TR100	44.92	44.85	0.08	0.03	0.01		54.67	0.03	23.61
	TR50	44.59	44.53	0.06	0.03	0.01		42.00		21.51
240	TR100	44.89	44.71	0.18	0.04	0.01		54.68	0.02	17.58
	TR50	44.56	44.40	0.16	0.04	0.01		42.00		14.89
220	TR100	44.83	44.69	0.14	0.03	0.01		54.70		20.12
	TR50	44.50	44.38	0.12	0.03	0.01		42.00		18.64
203.06	TR100	44.79	44.69	0.10	0.01	0.01		54.70		25.69
	TR50	44.46	44.37	0.10	0.01	0.02		42.00		23.49
188.37	TR100	44.65	44.03	0.62	0.01	0.00		54.70		9.24
	TR50	44.32	43.88	0.44	0.01	0.00		42.00		9.22
178.14 U	TR100	44.63	43.97	0.66	0.08	0.06		54.70		9.24
	TR50	44.31	43.61	0.45	0.06	0.03		42.00		9.22
178.14 D	TR100	44.49	44.03	0.46	0.02	0.01		54.70		12.57
	TR50	44.22	43.87	0.34	0.02	0.00		42.00		12.56
160.38	TR100	44.27	43.77	0.51	0.08	0.12		54.70		17.43
	TR50	44.02	43.55	0.47	0.08	0.11		42.00		14.82
140	TR100	44.05	43.95	0.10	0.04	0.00		54.70		28.15
	TR50	43.78	43.69	0.09	0.04	0.00		42.00		25.92
120	TR100	44.01	43.90	0.11	0.01	0.02		54.70		32.69
	TR50	43.74	43.63	0.10	0.01	0.03		42.00		28.17
100	TR100	43.97	43.95	0.03	0.01	0.01		54.70		35.52
	TR50	43.70	43.68	0.02	0.01	0.00		42.00		34.82

80	TR100	43.96	43.87	0.08	0.02	0.00		54.70		19.98
	TR50	43.69	43.63	0.06	0.02	0.00		42.00		19.23
60	TR100	43.93	43.82	0.11	0.03	0.01		54.70		19.62
	TR50	43.67	43.59	0.08	0.02	0.00		42.00		18.43
40	TR100	43.90	43.82	0.08	0.03	0.00		54.70		30.62
	TR50	43.64	43.57	0.07	0.03	0.00		42.00		28.34
20	TR100	43.87	43.79	0.08	0.06	0.02		54.70		35.02
	TR50	43.62	43.55	0.07	0.06	0.02		42.00		30.77
0	TR100	43.79	43.50	0.29	0.00	0.00		54.70		24.78
	TR50	43.54	43.03	0.30	0.00	0.00		42.00		18.19

Fuente: Cross section output table: interface de usuario proyecto HEC-RAS elaborado para el cauce y puente en estudio

Tabla 30: Resultados de la distribución de flujo en puente

RS	Profile		E.G. Elev	W.S. Elev	Max Chal Dpth	Frctn Loss	C & E Loss	Top width
178.14	TR100	AGUAS ARRIBA	44.63	43.97	1.76	0.08	0.06	9.24
	TR100	AGUAS ABAJO	43.97	44.03	2.03	0.02	0.01	12.57
	TR50	AGUAS ARRIBA	44.31	43.86	1.65	0.06	0.03	9.22
	TR50	AGUAS ABAJO	44.22	43.87	1.87	0.02	0	12.56

Fuente: Brigde output table: interface de usuario proyecto HEC-RAS elaborado para el cauce y puente en estudio

Tabla 31: Resultados de las principales variables hidráulicas

River Sta	Profile	Q Total	Min Ch EI	W.S. Elev	Crit W.S.	E.G. Elev	E.G. Slope	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl
		(m3/s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m2)	(m)	
452.52	TR100	54.7	44.72	46.86	46.75	47.29	0.01	2.92	18.74	17.28	0.9
452.52	TR 50	42	44.72	46.7	46.54	47.05	0.008	2.6	16.17	15.88	0.82
440	TR100	54.7	44.83	46.72	46.65	47.17	0.01	2.95	18.55	17.33	0.91
440	TR 50	42	44.83	46.46	46.46	46.91	0.013	2.97	14.15	15.79	1
420	TR100	54.7	44.52	46.75		46.99	0.004	2.18	25.05	15.87	0.56
420	TR 50	42	44.52	46.51	46	46.7	0.003	1.98	21.24	15.27	0.54
400	TR100	54.7	44.1	46.26	46.26	46.84	0.013	3.37	16.22	14.16	1.01
400	TR 50	42	44.1	46.04	46.04	46.55	0.013	3.18	13.22	12.85	1

380	TR100	54.7	43.77	45.25	45.6	46.4	0.029	4.77	11.48	10.77	1.47	
380	TR 50	42	43.77	45.03	45.34	46.09	0.033	4.57	9.19	10.22	1.54	
360	TR100	54.7	43.41	44.55	44.92	45.72	0.041	4.79	11.42	14.56	1.73	
360	TR 50	42	43.41	44.45	44.72	45.35	0.036	4.21	9.98	14.14	1.6	
340	TR100	54.7	42.82	44.76	44.76	45.34	0.013	3.36	16.26	14.39	1.01	
340	TR 50	42	42.82	44.56	44.56	45.06	0.013	3.13	13.43	13.76	1.01	
320	TR100	54.7	42.22	44.85	44.01	45.03	0.002	1.88	29.14	17.79	0.47	
320	TR 50	42	42.22	44.53	43.79	44.69	0.003	1.77	23.67	16.21	0.47	
300	TR100	54.7	41.88	44.89		44.97	0.001	1.3	42.61	26.27	0.31	
300	TR 50	42	41.88	44.56		44.63	0.001	1.21	34.69	21.86	0.3	
280	TR100	54.7	41.99	44.88		44.94	0.001	1.18	50.4	48.87	0.31	
280	TR 50	42	41.99	44.54		44.61	0.001	1.21	36.68	33.17	0.32	
260	TR100	54.7	41.32	44.85		44.92	9E-04	1.22	45.05	25.28	0.28	
260	TR 50	42	41.32	44.53		44.59	8E-04	1.12	37.46	21.51	0.27	
240	TR100	54.7	41.51	44.71		44.89	0.002	1.88	29.21	19.07	0.47	
240	TR 50	42	41.51	44.4		44.56	0.002	1.74	24.08	14.89	0.44	
220	TR100	54.7	41.75	44.69		44.83	0.002	1.66	32.87	20.15	0.42	
220	TR 50	42	41.75	44.38		44.5	0.002	1.56	26.84	18.64	0.42	
203.06	TR100	54.7	41.95	44.69		44.79	0.002	1.43	38.4	25.98	0.37	
203.06	TR 50	42	41.95	44.37		44.46	0.002	1.38	30.48	23.49	0.39	
200	TR100	54.7	42.68	44.52		44.77	0.005	2.21	24.72	21.78	0.66	
200	TR 50	42	42.68	44.1		44.43	0.009	2.54	16.56	17.92	0.84	
188.37	TR100	54.7	42.22	44.03	43.85	44.65	0.011	3.48	15.71	9.24	0.85	
188.37	TR 50	42	42.22	43.88	43.6	44.32	0.008	2.93	14.34	9.22	0.75	
178.14	Bridge											
177.14	TR100	54.7	42.01	43.95	43.83	44.47	0.01	3.19	17.16	12.57	0.87	
177.14	TR 50	42	42.01	43.83	43.62	44.2	0.008	2.68	15.66	12.56	0.77	

160.38	TR100	54.7	41.9	43.77	43.77	44.27	0.013	3.15	17.37	17.43	1.01
160.38	TR 50	42	41.9	43.55	43.55	44.02	0.013	3.04	13.81	14.82	1.01
140	TR100	54.7	41.02	43.95	43.14	44.05	0.002	1.43	38.25	28.15	0.39
140	TR 50	42	41.02	43.69	42.95	43.78	0.002	1.34	31.44	25.92	0.39
120	TR100	54.7	40.87	43.9		44.01	0.003	1.45	37.66	32.69	0.43
120	TR 50	42	40.87	43.63		43.74	0.003	1.42	29.58	28.17	0.44
100	TR100	54.7	41.04	43.95		43.97	2E-04	0.7	77.74	35.52	0.15
100	TR 50	42	41.04	43.68		43.7	2E-04	0.61	68.46	34.82	0.14
80	TR100	54.7	40.79	43.87		43.96	8E-04	1.28	42.78	19.98	0.28
80	TR 50	42	40.79	43.63		43.69	7E-04	1.11	37.95	19.23	0.25
60	TR100	54.7	40.23	43.82		43.93	0.001	1.48	37.05	19.62	0.34
60	TR 50	42	40.23	43.59		43.67	0.001	1.29	32.54	18.43	0.31
40	TR100	54.7	41.12	43.82		43.9	0.001	1.27	43.21	30.62	0.34
40	TR 50	42	41.12	43.57		43.64	0.001	1.17	36.02	28.34	0.33
20	TR100	54.7	40.99	43.79		43.87	0.001	1.22	44.87	35.02	0.34
20	TR 50	42	40.99	43.55		43.62	0.001	1.14	36.8	30.77	0.33
0	TR100	54.7	41.09	43.5	43.26	43.79	0.008	2.38	23.01	24.78	0.79
0	TR 50	42	41.09	43.24	43.03	43.54	0.008	2.42	17.38	18.19	0.79

Fuente: Profile output table: interface de usuario proyecto HEC-RAS elaborado para el cauce y puente en estudio

4.3.4. Análisis e interpretación del estudio hidráulico

Este modelo y sus resultados muestran que el puente no tiene la capacidad hidráulica para el caudal del periodo de retorno TR100 mientras que la evaluación con un TR50 si es apto para el caudal resultante, el puente debe diseñarse respecto a un periodo de 50 años.

4.4. ESTUDIO DE SOCAVACIÓN

4.4.1. Datos y modelación

En el Anexo C se indica un valor de 0.22mm para diámetro medio o D50.

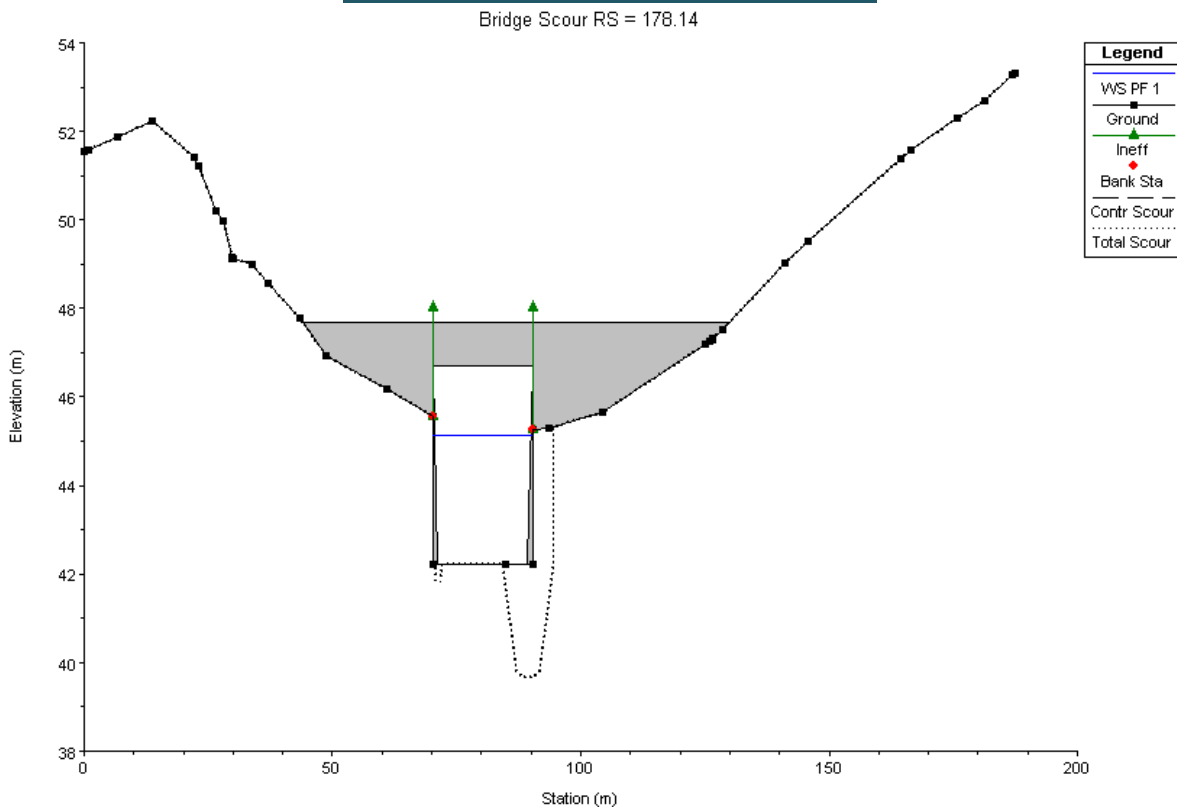
Este análisis permite determinar si la socavación podría tener algún efecto en los estribos del puente y así mismo las acciones necesarias, si fuera el caso para prevenir que la misma pueda debilitar las estructuras y ponerlas en peligro. Como fue mencionada la socavación que se produce en el puente se debe a dos efectos combinados alas socavación general, se produce en el cauce cuando se construye un puente debido a la obstrucción que este ocasiona o por el proceso normal de incremento de las velocidades durante las crecidas y el otro tipo es el que ocasionan los pilares y los estribos en el cauce, la combinación de ambos efectos es la socavación total.

Tabla 32: Resultados de socavación

Contraction Scour	
Left Channel	Right
Input Data	
Average Depth (m): 1.14	
Approach Velocity (m/s): 2.21	
Br Average Depth (m): 1.64	
BR Opening Flow (m ³ /s): 54.70	
BR Top WD (m): 9.24	
Grain Size D50 (mm): 0.22 0.22 0.22	
Approach Flow (m ³ /s): 54.70	
Approach Top WD (m): 21.78	
K1 Coefficient: 0.690	
Results	
Scour Depth Ys (m): 0.42	
Equation: Live	
Combined Scour Depths	

Fuente: Interface de usuario proyecto HEC-RAS elaborado para el cauce y puente en estudio

Figura 51: Esquema de socavación



Fuente: Interface de Usuario proyecto HEC-RAS elaborado para el Cauce y Puente en Estudio

4.4.2. Análisis e interpretación del estudio de Socavación

El estudio evidencia que el Puente La Zompopera es susceptible a la socavación. El resultado del estudio de socavación es congruente con lo observado en la visita de campo, en donde se constató la destrucción de la obra de protección al pie de uno de sus estribos. Esto es significativo tomando en cuenta que desde la reconstrucción del puente Zompopera, el país ha sufrido sequías.

CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

Los resultados de la evaluación hidrológica e hidráulica del puente existente demuestra la carencia de este estudio para la construcción del puente ya que de haberse realizado la longitud de borde libre hubiera sido mayor a la existente y habría presencia de obras de mitigación para proteger las riveras del cauce y la estructura del puente.

El puente existente no tiene la capacidad hidráulica para que el caudal calculado para un período de retorno de 100 años transite sin afectar el puente. Esta evaluación demuestra que la sección transversal de puente la Zomopera es demasiado pequeña para el tamaño de la cuenca y el caudal que la misma genera al tener poca capacidad de retención de la precipitación.

Dicho lo anterior, las secciones transversales ubicadas en el puente tienen capacidad de conducir caudales con períodos de retorno de hasta 50 años.

5.1. RECOMENDACIONES

1. Retomar los resultados de esta evaluación hidrotécnica para proponer y evaluar una sección hidráulica eficiente.
2. Construir obras de mitigación que protejan la rivera del cauce y la estructura del puente.
3. Realizar estudio de manejo integral de la cuenca río Zompopera.

BIBLIOGRAFÍA

Aparicio Mijares, Francisco. *Fundamentos de la Hidrología de superficie*. Grupo Noriega Editores, 1992.

Biblioteca.mti.com.gob *Caracterización Municipal de Santa María de Pantasma*.

Casco Arévalo, Rufo Holvin. *Manual ArcGis 9.3, HEC-GeoHMS, HEC-HMS 3.5*.

CATIE. *Informe Línea Base Sub Cuenca del Río Malacatoya*. Managua, Nicaragua. 2008.

COMITRAN. *Manual de Consideraciones Técnicas Hidrológicas e Hidráulicas para la Infraestructura Vial en Centroamérica*. SIECA. 2016.

Corporación Suna Hisca. *Hidrología. Tomo I: Componente Biofísico*.

Chow, Ven Te; Maidment, David R; Mays, Larry W. *Hidrología Aplicada*. McGraw Hill. 1994.

ESRI. *Arc Hydro Tools – Tutorials*. New York. 2011.
<http://downloads.esri.com/archydro/archydro/tutorial/doc/arc%20hydro%20tools%200%20-%20tutorial.pdf>.

Lanzas, Mejía, Nestor Javier. *Powerpoints curso de Hidrología Vial*. Universidad Nacional de Ingenierías.

Merwade, Vankatesh. *Terrain Processing and HMS-Model Development using GeoHMs*. Purdue University. 2012.
<https://web.ics.purdue.edu/~vmerwade/education/geohms.pdf>.

Ministerio de Transporte e Infraestructura. *Guía Hidráulica para el diseño de estructuras de drenaje en caminos rurales*. Septiembre 2011.

Ministerio de Transporte e Infraestructura. *Manual para la revisión de Estudios Hidrotécnicos de drenaje mayor*. Octubre 2008.

Ministerio de Transporte y Comunicaciones. *Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje*. Perú, 2012.

Moreno Ayestas, Sandra. *Apuntes de Hidrología de Superficie*. Universidad Nacional de Ingenierías.

Olivares, Jordi. *Como obtener hietogramas a partir de Curvas IDF*. <http://www.hidrojing.com/como-obtener-hietogramas-a-partir-de-curvas-idf-para-hec-hms-y-swmm/>.

Sánchez San Ramón, F Javier. *Tránsito de Hidrogramas*. Universidad de Salamanca. Julio 2013. http://hidrologia.usal.es/temas/Transito_Hidrogramas.pdf.

Universidad Politécnica de Valencia. *Morfología de la Cuencas hidrográficas*. <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/10782/Morfolog%C3%ADa%20de%20un%20cuenca.pdf>.

US Army Corps of Engineers Hydrologic Engineering Center. *HEC-RAS River Analysis System User's Manual*. Davis, California. 2010.

http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/documentation/HEC-RAS_4.1_Users_Manual.pdf.

US Army Corps of Engineers Hydrologic Engineering Center. *Hydrologic Modeling System HEC-HMS. Quick Start Guide version 3.5*. August 2010.

http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-hms/documentation/HEC-HMS_QuickStart_Guide_3.5.pdf.

US Department of Transportation, Federal Highway Administration. *Evaluating Scour at Bridges*. April 2012

<http://www.fhwa.dot.gov/engineering/hydraulics/pubs/hif12003.pd>

ANEXOS

I. ANEXO A: AREA DE ESTUDIO.

Diagnóstico de la Infraestructura Terciaria de Transporte en los Municipios Jinotega, Matagalpa, Boaco y Chontales

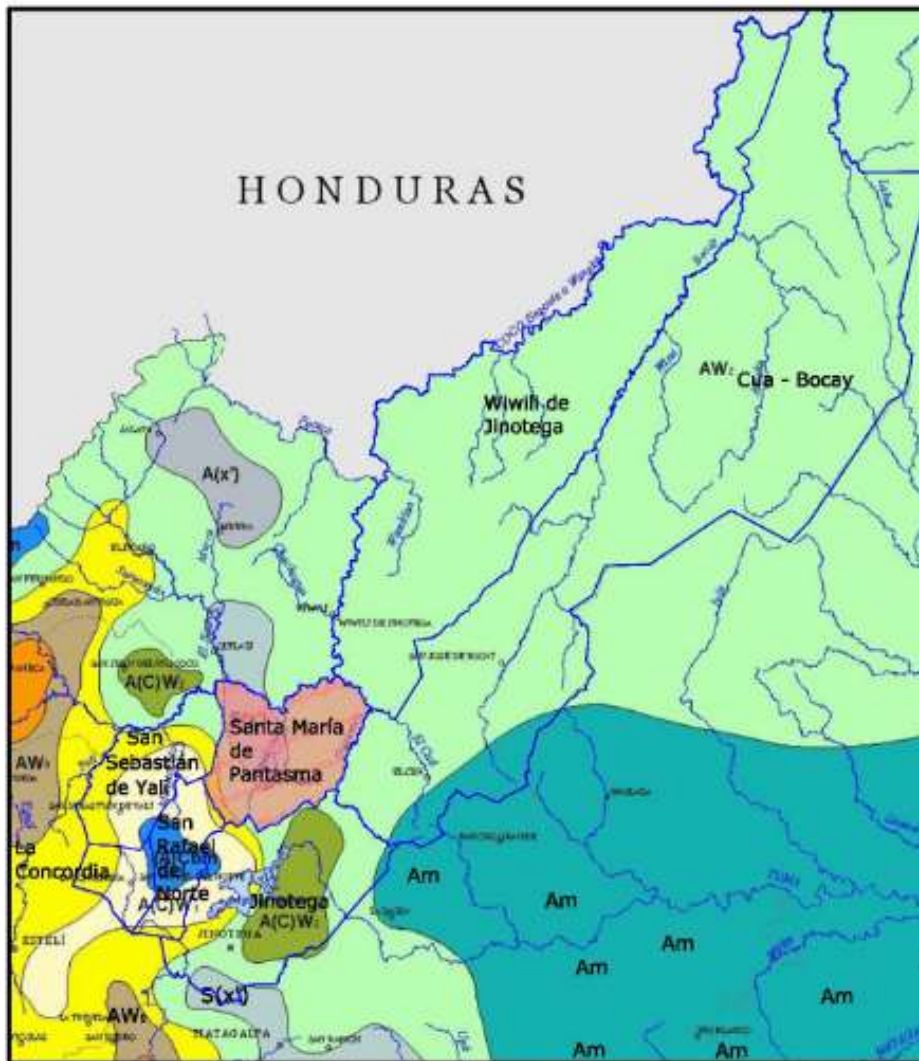


Anexos Diagnóstico de la Infraestructura Vial de la Red de Caminos Vecinales del Municipio de “Santa María de Pantasma”

Uno de los ejes principales de desarrollo de nuestra nación es la infraestructura vial, en la que se han venido haciendo grandes esfuerzos en la construcción, reconstrucción, operación y mantenimiento de vías principales y secundarias, pero aún se necesita incorporar los caminos terciarios que son de mucha importancia para apoyar los sectores agrícola y ganadero, a fin de incrementar la eficacia y la eficiencia en la producción y por ende la economía de país. Uno de los principales objetivos de este estudio es potenciar el mejoramiento de estos caminos rurales, de manera que permanezcan interconectados entre estos y las principales vías de comunicación que cruzan las comunidades y poblados, que en la actualidad están desatendidas, reduciendo el uso solamente a un carácter de paso. Si se utilizan estos caminos rurales, el desarrollo de esta región se verá incrementado, por esto estudiaremos las condiciones de desarrollo económico, viales, ambientales e hidráulico-hidrológicas que pueden ser aprovechados o mejoradas para tener caminos estables y duraderos en el uso de los mismos.

Tipos de Climas: A(X') y S(X') , presentan temperaturas medias anuales entre los 19 °C y los 21 °C con precipitaciones promedios anuales que oscilan entre 1300 mm y 1600 mm. Son climas que muestran a lo largo del año precipitaciones distribuidas uniformemente.

Áreas con Climas: A(C) W 1 y A(C) W 2 , muestran comportamientos similares en cuanto a la temperatura y la precipitación, se caracterizan por ser zonas de transición hacia otros tipos de climas, presentando temperaturas medias anuales de 20 °C a 22 °C, con precipitaciones promedios anuales de 1100 mm a 1600 mm. De acuerdo a la clasificación anterior, en el municipio de Santa María de Pantasma presenta un único tipo de clima: AW1, AW2 y S(X').

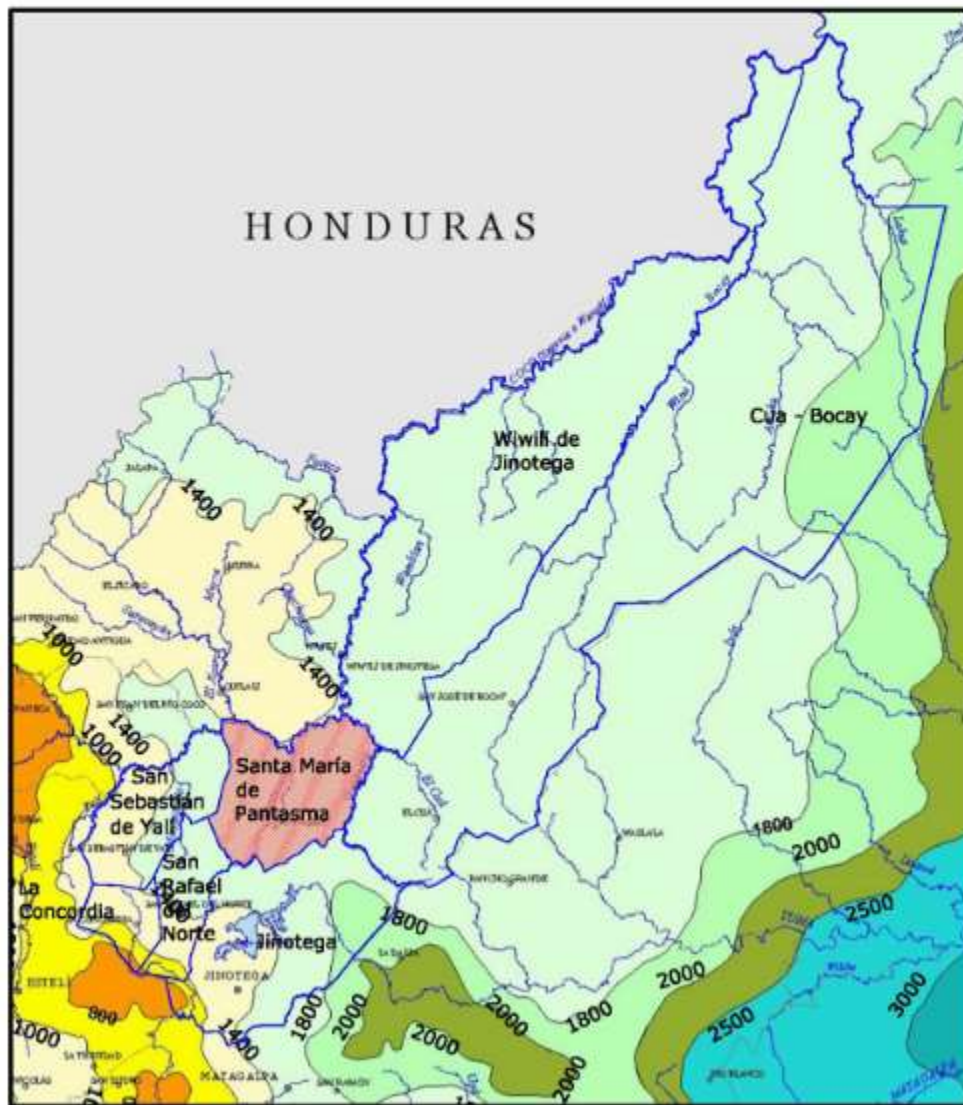


Fuente: Anexos de diagnóstico de la infraestructura terciaria de transporte en los municipios Jinotega, Matagalpa, Boaco y Chontales.

2.2 Precipitaciones

Santa María de Pantasma no cuenta con estaciones pluviométricas, por lo que para este estudio se emplearon los registros de la estación más cercana, ubicada en el municipio de Jinotega, departamento de Jinotega.

A continuación se presentan gráfico que ilustran la media anual de las precipitaciones, en el territorio, tomando como base los registros de la estación de Jinotega en el periodo 1974 - 2003.



Precipitación Media Anual en Milímetros (mm)

Fuente: Anexos de diagnóstico de la infraestructura terciaria de transporte en los municipios Jinotega, Matagalpa, Boaco y Chontales.

2.3 Temperatura Media Anual

El régimen de temperatura del aire de un lugar desde el punto de vista físico, está definido por el balance entre la radiación de onda corta y la de onda larga, que en gran parte está condicionada por la nubosidad prevaleciente. Sin embargo, la nubosidad no es el único elemento que interviene, se le suman otros factores como la lluvia, continentalidad, latitud, altitud, circulación general de la atmosfera y el relieve de la zona. En la región central del país, la zona occidental cercana al Lago de Nicaragua, es cubierta por valores de temperaturas medias que oscilan entre los 26°C y 28°C. En la parte central y oriental de esta región se presentan rangos de temperatura desde 22°C hasta los 24°C. Específicamente en el municipio de Santa María de Pantasma se presentan las siguientes isotermas: 22°C – 26°C.



Temperatura Media Anual en grados Celsius (°C)

Fuente: Anexos de diagnóstico de la infraestructura terciaria de transporte en los municipios Jinotega, Matagalpa, Boaco y Chontales.

2.4 Humedad Relativa Media Anual

Humedad relativa, es la relación entre la cantidad de vapor agua que se encuentra en una masa de aire en un momento determinado y a una temperatura determinada y la que debería encontrarse para saturarla a esa temperatura. Tal relación tiene como máximo la unidad. Generalmente se expresa en porcentaje. En Nicaragua la humedad relativa, presenta valores que oscilan entre 65% en la parte Norte del Lago de Managua y 90% en el extremo Sureste de la Región Autónoma del Atlántico Sur, que es una zona de alta pluviosidad, donde se registran los mayores acumulados de precipitación anual del país. Para el municipio de Santa María de Pantasma, se presentan los valores de las isolíneas de humedad relativa: 75% al Norte y de 80% al Sur.



Humedad Relativa Media Anual en Porcentaje (%)

Fuente: Anexos de diagnóstico de la infraestructura terciaria de transporte en los municipios Jinotega, Matagalpa, Boaco y Chontales.

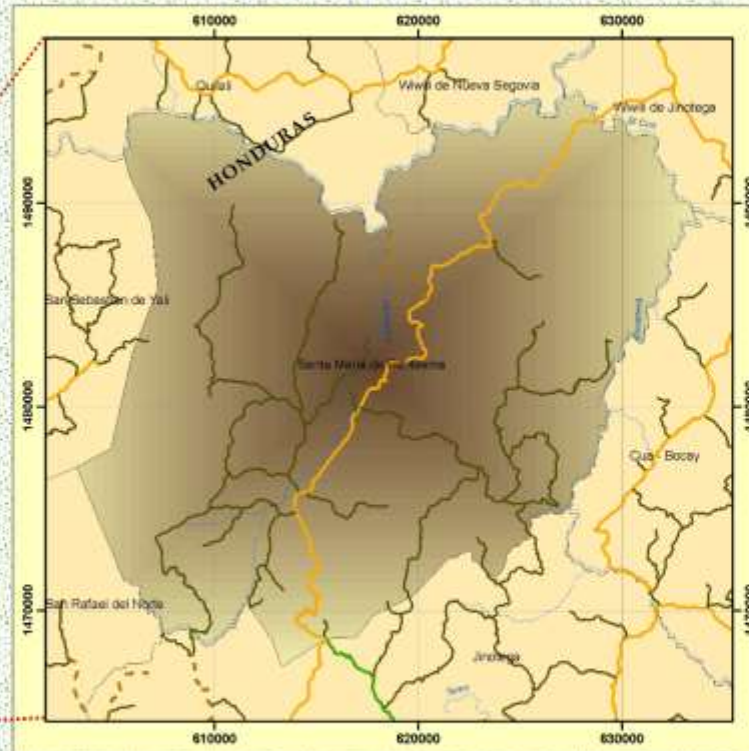
REPÚBLICA DE NICARAGUA



DEPARTAMENTO DE JINOTEGA



MUNICIPIO SANTA MARIA DE PANTASMA



Localización General
Municipio Santa María de Pantasma, Departamento de Jinotega

Mapa de la Ubicación Municipal,
Contexto Departamental y
Contexto Nacional.

PRESENTADO POR:
COREA Y ASOCIADOS S.A. (CORASCO)



ESTUDIO AUSPICIADO POR:
PAST - DANIDA



APROBADO POR:
MINISTERIO DE TRANSPORTE E
INFRAESTRUCTURA (MTI)





Localización General
Municipio Santa María de Pantasma, Departamento de Jinotega

LEYENDA

Condición de superficie Clasificación funcional

Muy Bueno	Troncal Principal
Bueno	Troncal Secundaria
Regular	Colectora Principal
Malo	Colectora Secundaria
Muy Malo	Vecinal
	Vecinal rb

SIGNOS CONVENCIONALES

Curvas de nivel	Límites Departamentales
Poblados	Límites Municipales
Red Hidráulica	Otros Departamentos

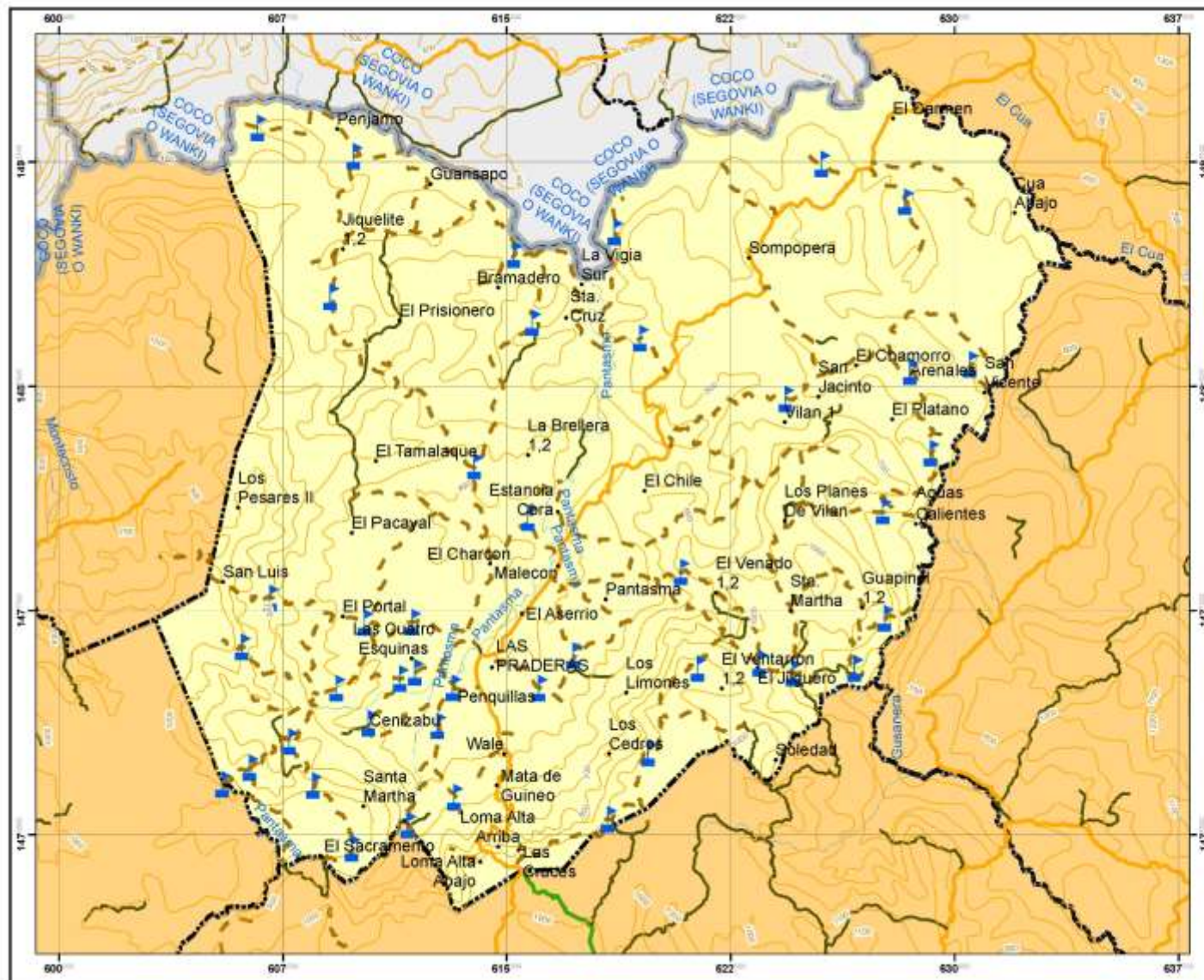
UTM WGS84
Escala: 1:50,000

PRESENTADO POR:
COREA Y ASOCIADOS S.A. (CORASCO)

ESTUDIO AUSPICIADO POR:
PAST - DAMDA

APROBADO POR:
MINISTERIO DE TRANSPORTE E
INFRAESTRUCTURA (MTI)

**Mapa No. 5: Red Vial - 2010. Condición de Superficie
Municipio Santa María de Pantasma,
Departamento de Jinotega**



Localización General
Municipio Santa María de Pantasma, Departamento de Jinotega

- LEYENDA**
- Centro Escolar
 - Clasificación Funcional
 - Troncal Principal
 - Troncal Secundaria
 - Colectora Principal
 - Colectora Secundaria
 - Vecinal
 - Vecinal_2to

- SIGNOS CONVENCIONALES**
- Curvas de nivel
 - Límites Departamentales
 - Poblados
 - Límites Municipales
 - Red hídrica
 - Otros Departamentos

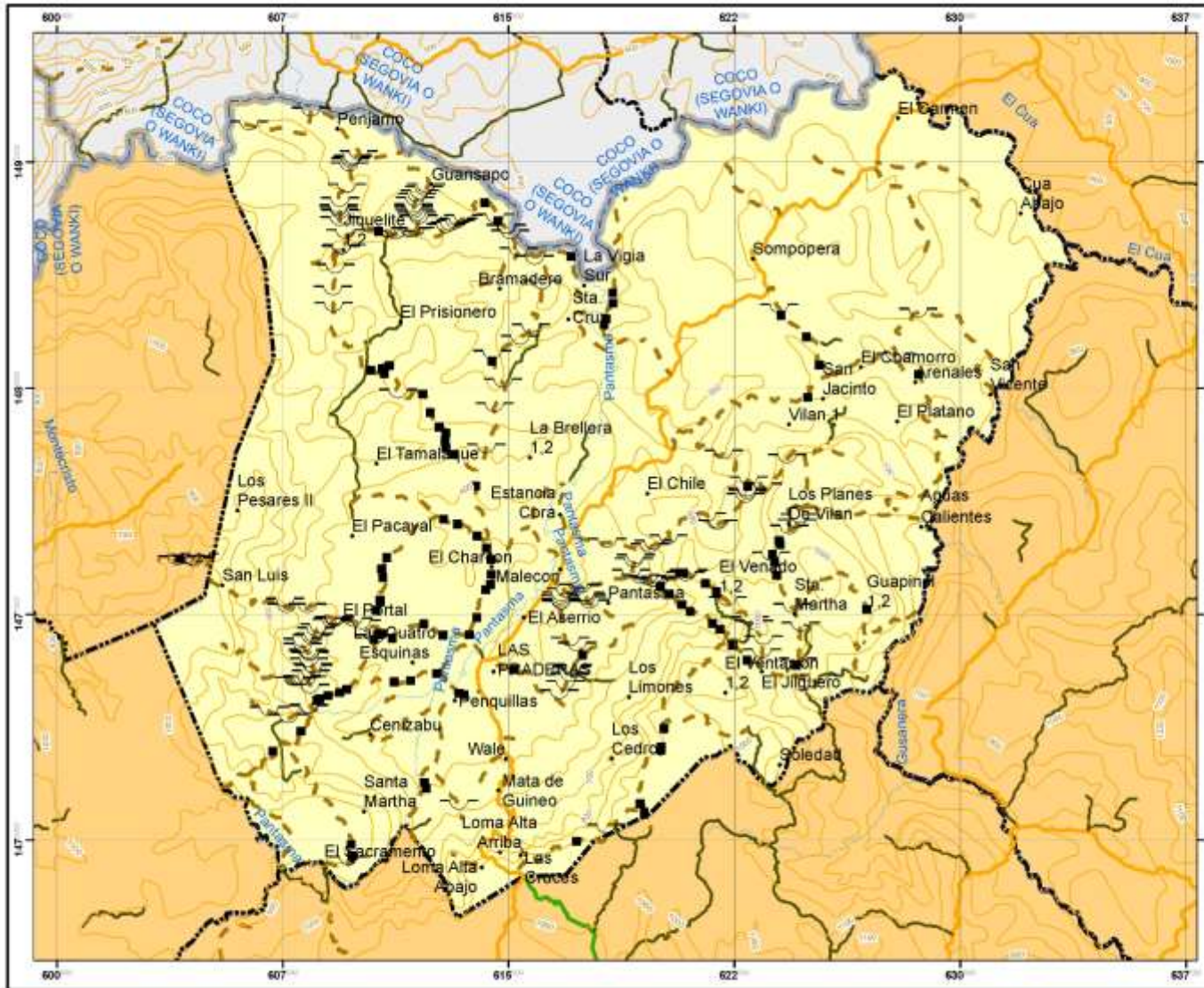
UTM WGS84
PROY. 1 14E UTM

PRESENTADO POR:
COREA Y ASOCIADOS S.A. (CORASCO)

ESTUDIO AUSPICADO POR:
PAST - DANIDA

APROBADO POR:
MINISTERIO DE TRANSPORTE E
INFRAESTRUCTURA (MTI)

Mapa : Socioeconómico
Municipio Santa María de Pantasma,
Departamento de Jinotega



Localización General
Municipio Santa María de Pantasma, Departamento de Jinotega

LEYENDA

Drenaje Menor	Clasificación funcional
— Vialidad	— Troncal Principal
■ Alcantarilla	— Troncal Secundaria
	— Colectora Principal
	— Colectora Secundaria
	— Camino Vecinal
	— Camino Vecinal, etc.

SIGNOS CONVENCIONALES

• Poblados	— Límites Departamentales
— Curvas de nivel	— Límites Municipales
— Red Hidrica	— Otros Departamentos

UTM WGS84
25QWA 7 12E
0 1000 2000 3000 4000 5000 6000 7000 8000 9000 10000

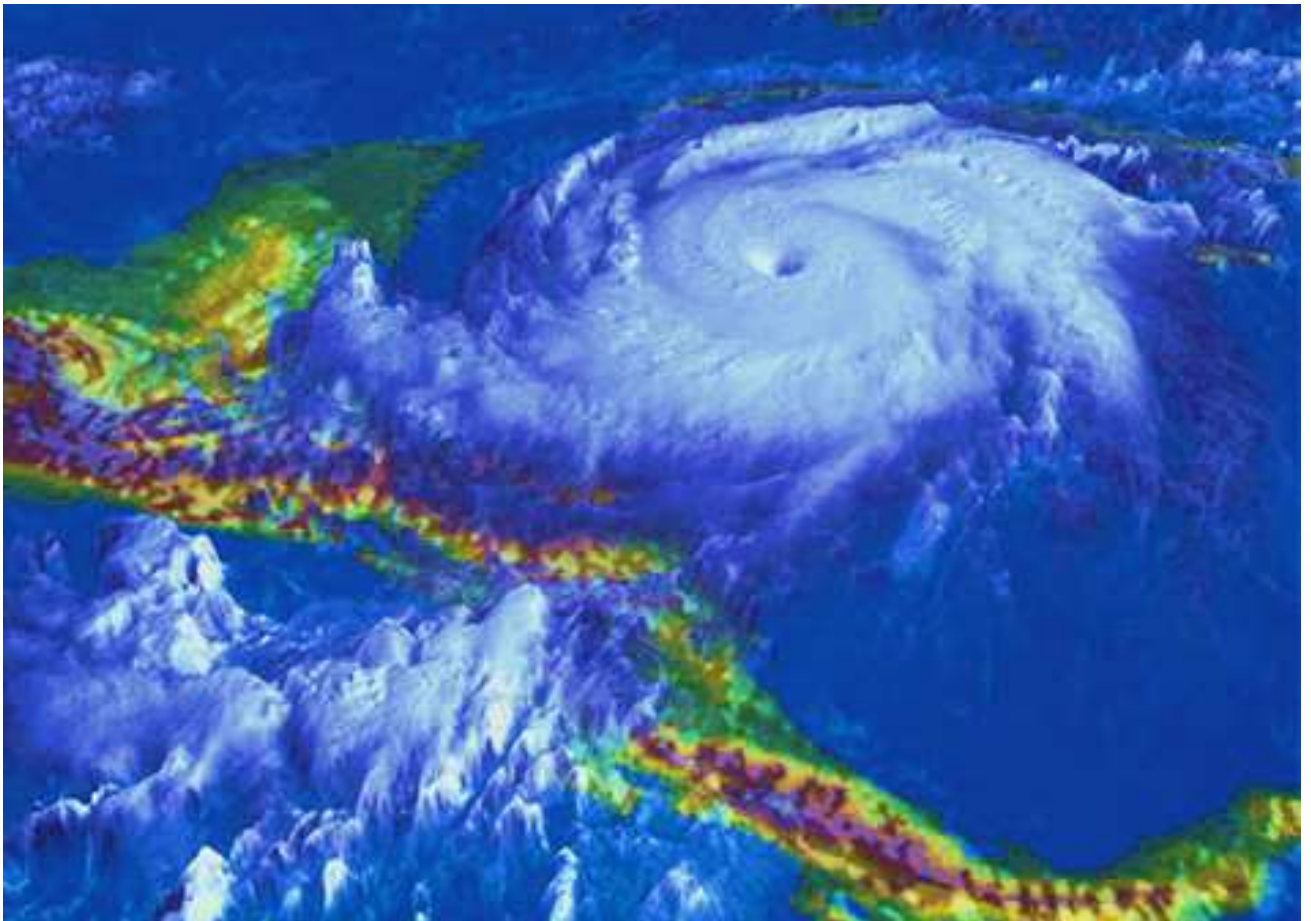
PRESENTADO POR
COREA Y ASOCIADOS S.A. (CORASCO) 

ESTUDIO AUSENCIADO POR:
PAST - DANSA 

APROBADO POR:
MINISTERIO DE TRANSPORTE E
INFRAESTRUCTURA (MTI) 

**Mapa No. 7) Drenaje
Municipio Santa María de Pantasma,
Departamento de Jinotega**

II. ANEXO B: CURVAS DE INTENSIDAD, DURACION Y FRECUENCIA DE LA PRECIPITACION DE LA ESTACION METEOROLOGICA DE JINOTEGA.



DURACION 15 MINUTOS

I	P(x)	F(x)	Desviaciones
40.8	0.0294	0.0039	0.0255
50.0	0.0588	0.0344	0.0244
53.2	0.0882	0.0588	0.0295
56.8	0.1176	0.0970	0.0207
57.2	0.1471	0.1019	0.0451
60.0	0.1765	0.1404	0.0360
62.8	0.2059	0.1850	0.0209
63.2	0.2353	0.1917	0.0436
66.4	0.2647	0.2492	0.0155
68.0	0.2941	0.2796	0.0146
68.0	0.3235	0.2796	0.0440
68.0	0.3529	0.2796	0.0734
69.6	0.3824	0.3107	0.0717
70.0	0.4118	0.3185	0.0933
72.0	0.4412	0.3581	0.0831
80.4	0.4706	0.5207	0.0501
81.9	0.5000	0.5477	0.0477
82.0	0.5294	0.5496	0.0202
82.4	0.5588	0.5567	0.0021
84.0	0.5882	0.5843	0.0039
86.4	0.6176	0.6238	0.0061
89.6	0.6471	0.6723	0.0252
96.4	0.6765	0.7595	0.0830
96.8	0.7059	0.7640	0.0581
106.0	0.7353	0.8489	0.1136
106.0	0.7647	0.8489	0.0842
110.4	0.7941	0.8788	0.0847
114.0	0.8235	0.8991	0.0756
114.0	0.8529	0.8991	0.0462
115.2	0.8824	0.9051	0.0228
116.4	0.9118	0.9108	0.0010
117.6	0.9412	0.9162	0.0250
139.6	0.9706	0.9737	0.0031
	DESV. MAXIMA		0.1136



DURACION 30 MINUTOS

I	P(x)	F(x)	Desviaciones
34.2	0.0294	0.0398	0.0104
35.6	0.0588	0.0562	0.0027
38.0	0.0882	0.0932	0.0050
42.0	0.1176	0.1794	0.0618
42.0	0.1471	0.1794	0.0323
42.4	0.1765	0.1895	0.0130
42.4	0.2059	0.1895	0.0164
43.2	0.2353	0.2102	0.0251
43.2	0.2647	0.2102	0.0545
44.0	0.2941	0.2318	0.0624
45.4	0.3235	0.2709	0.0526
45.6	0.3529	0.2767	0.0763
47.4	0.3824	0.3291	0.0532
48.4	0.4118	0.3588	0.0530
50.8	0.4412	0.4297	0.0115
51.0	0.4706	0.4356	0.0350
52.0	0.5000	0.4646	0.0354
54.4	0.5294	0.5317	0.0023
54.8	0.5588	0.5425	0.0164
55.8	0.5882	0.5688	0.0194
56.4	0.6176	0.5842	0.0335
56.8	0.6471	0.5942	0.0528
58.0	0.6765	0.6235	0.0530
60.2	0.7059	0.6733	0.0326
62.8	0.7353	0.7256	0.0097
64.0	0.7647	0.7474	0.0173
66.8	0.7941	0.7927	0.0014
71.0	0.8235	0.8475	0.0240
80.4	0.8529	0.9254	0.0725
82.0	0.8824	0.9341	0.0518
85.0	0.9118	0.9479	0.0362
91.0	0.9412	0.9676	0.0264
96.4	0.9706	0.9789	0.0083
DES. MAXIMA			0.0763



DURACION 360 MINUTOS

I	P(x)	F(x)	Desviaciones
4.1	0.0294	0.0089	0.0205
5.0	0.0588	0.0448	0.0140
5.0	0.0882	0.0448	0.0434
6.0	0.1176	0.1425	0.0248
6.1	0.1471	0.1557	0.0086
6.2	0.1765	0.1635	0.0129
6.4	0.2059	0.1984	0.0075
6.5	0.2353	0.2136	0.0217
6.6	0.2647	0.2291	0.0356
6.9	0.2941	0.2777	0.0165
7.5	0.3235	0.3795	0.0560
7.9	0.3529	0.4474	0.0945
7.9	0.3824	0.4474	0.0651
8.0	0.4118	0.4641	0.0524
8.1	0.4412	0.4806	0.0394
8.1	0.4706	0.4806	0.0100
8.2	0.5000	0.4969	0.0031
8.4	0.5294	0.5288	0.0006
8.5	0.5588	0.5444	0.0145
8.6	0.5882	0.5596	0.0286
8.6	0.6176	0.5596	0.0580
8.7	0.6471	0.5746	0.0724
9.0	0.6765	0.6177	0.0588
9.3	0.7059	0.6577	0.0481
9.5	0.7353	0.6827	0.0526
9.7	0.7647	0.7063	0.0584
10.3	0.7941	0.7688	0.0253
11.7	0.8235	0.8720	0.0485
12.5	0.8529	0.9100	0.0570
12.7	0.8824	0.9176	0.0353
13.2	0.9118	0.9342	0.0224
14.6	0.9412	0.9651	0.0240
16.4	0.9706	0.9848	0.0142
DESV. MAXIMA			0.0945



CRITICO DE KOLGOMOROV(KV) PARA EL AJUSTE ANALITICO A LA DISTRIBUCION DE GUMBELL TIPO I

DURACION MINUTOS	DESV. MAXIMA DM	KV	OBSV.
5	0.145	0.231	SAJ
10	0.167	0.231	SAJ
15	0.114	0.231	SAJ
30	0.076	0.231	SAJ
60	0.072	0.231	SAJ
120	0.078	0.231	SAJ
360	0.094	0.231	SAJ

SE ACEPTA EL AJUSTE (SAJ), SI $DM < KV$, CON UN NIVEL DE SIGNIFICACION DE 0.05

INTENSIDADES DE LLUVIA PARA DIFERENTES PERIODOS DE RETORNO

	5	10	15	30	60	120	360
1.5 años	106.0	85.5	70.8	47.5	30.9	17.9	7.2
2 años	120.4	95.1	79.3	53.2	34.2	19.7	8.2
5 años	155.8	118.8	100.3	67.3	42.3	24.2	10.7
10 años	179.3	134.5	114.2	76.6	47.7	27.2	12.3
15 años	192.5	143.3	122.0	81.8	50.7	28.8	13.2
25 años	208.9	154.2	131.7	88.3	54.5	30.9	14.3
50 años	230.9	168.9	144.8	97.1	59.5	33.7	15.8
100 años	252.7	183.5	157.7	105.7	64.5	36.5	17.3

PARAMETROS DE AJUSTE PARA LAS ECUACIONES DE LA FORMA

$$I = A/(t+d)^b$$

T: Años	r	A	d	b
1.5	-0.9962	4777.243	30.0	1.103
2	-0.9997	1646.059	14.0	0.899
5	-0.9986	2432.597	16.0	0.927
10	-0.9997	1285.551	7.0	0.789
15	-0.9993	1129.474	5.0	0.752
25	-0.9973	880.129	2.0	0.690
50	-0.9974	967.695	2.0	0.690
100	-0.9975	1054.619	2.0	0.691

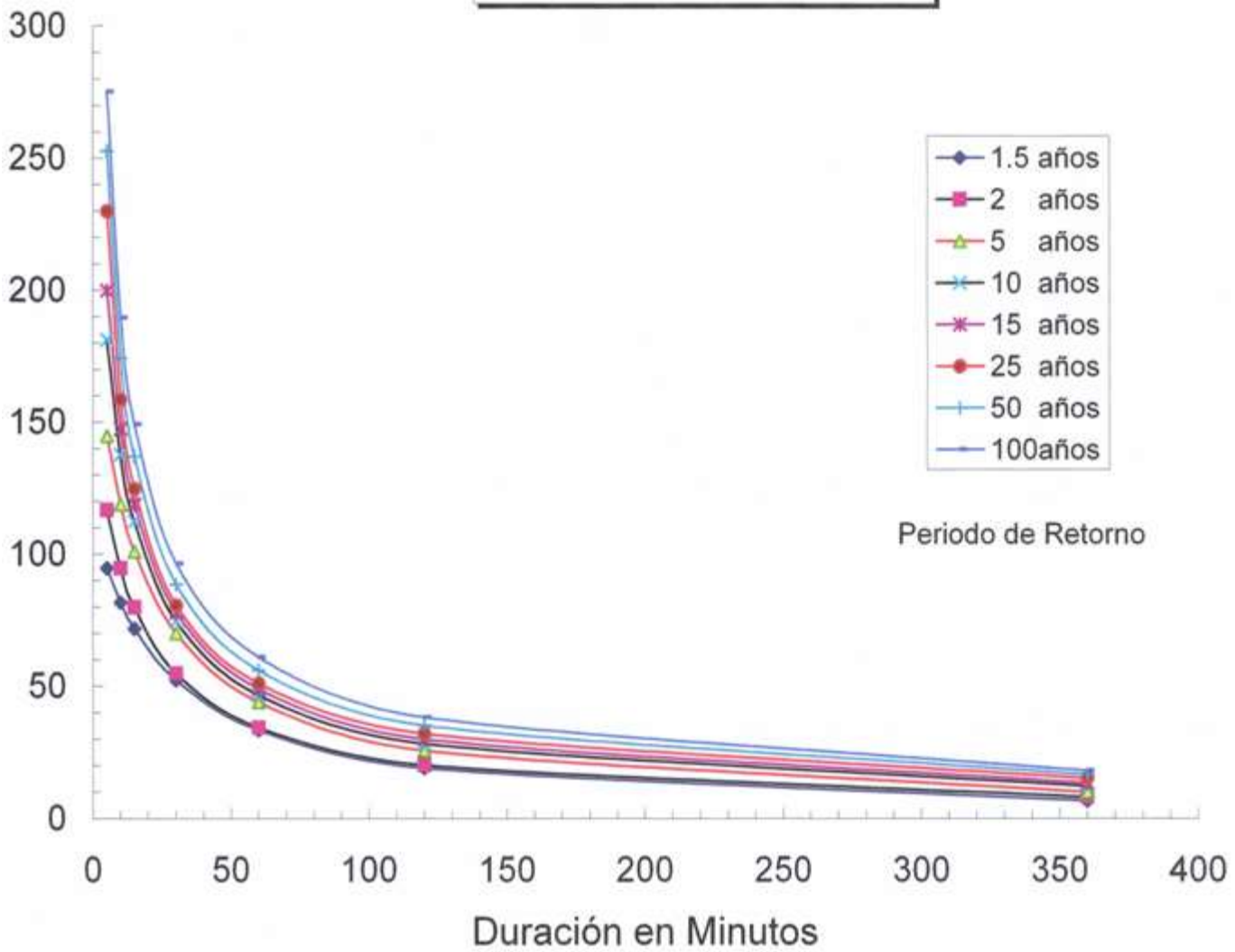
INTENSIDADES (mm/h) DE PRECIPITACIÓN

ESTACIÓN: JINOTEGA

Periodo Retorno	Minutos						
	5	10	15	30	60	120	360
1.5 años	94.6	81.7	71.7	52.2	33.4	19.0	6.6
2 años	116.7	94.6	79.8	54.8	34.4	20.1	8.0
5 años	144.7	118.7	100.9	70.0	43.9	25.6	10.0
10 años	181.1	137.6	112.3	74.5	46.7	28.2	12.2
15 años	199.8	147.3	118.6	77.9	48.9	29.9	13.4
25 años	229.9	158.5	124.6	80.6	51.0	32.0	15.1
50 años	252.6	174.1	136.9	88.5	56.0	35.1	16.6
100 años	275.1	189.6	149.1	96.3	61.0	38.2	18.0



Curvas de IDF de Jinotega
Período: 1981 -2013

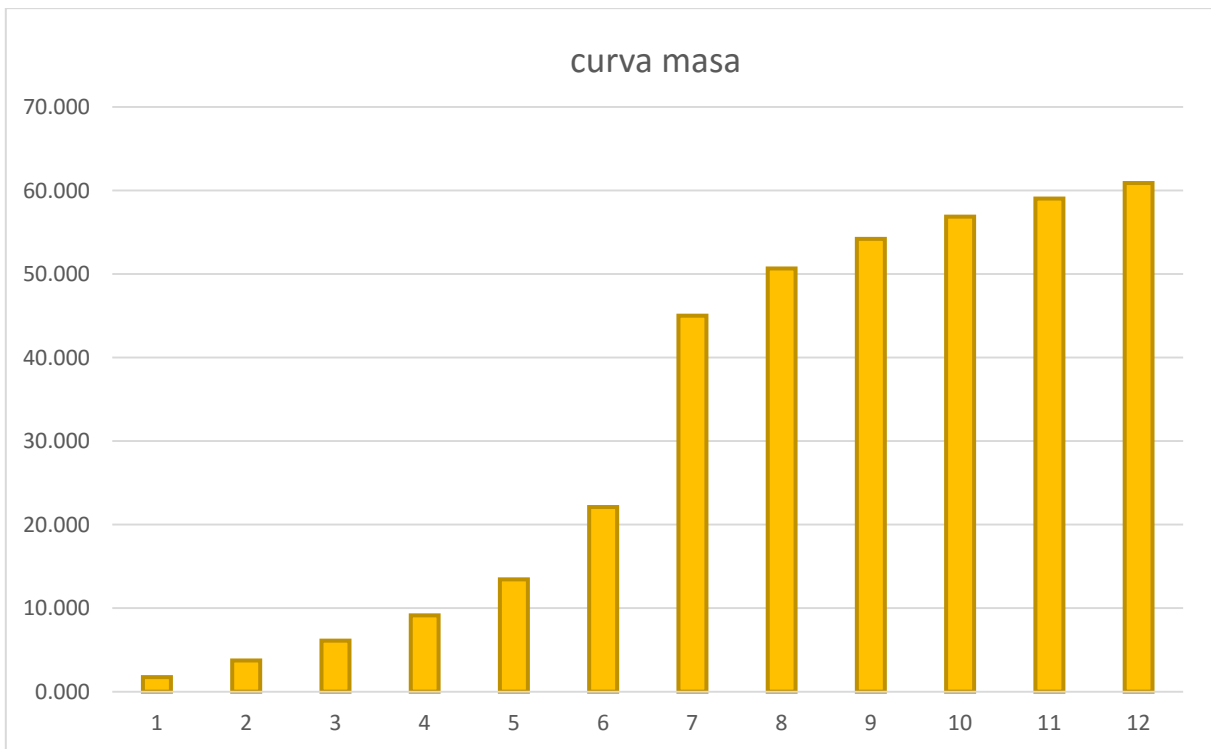
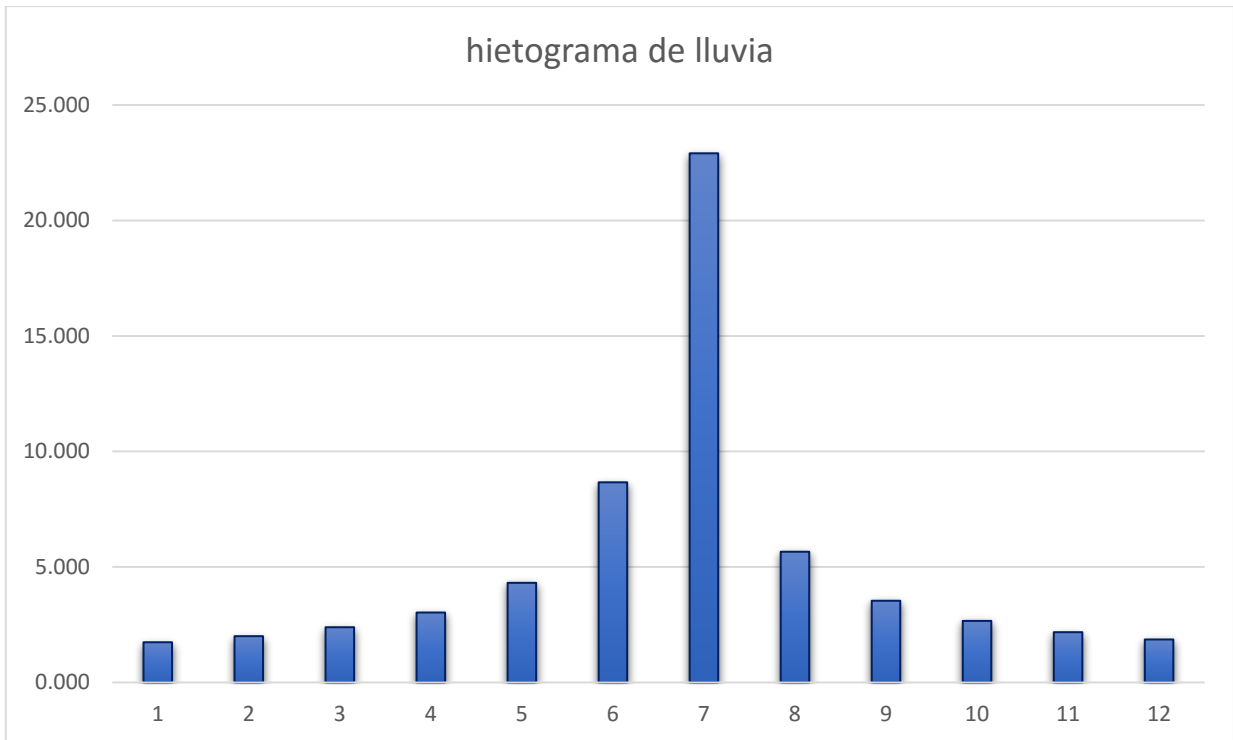


III. ANEXO C: HIETOGRAMAS ESTACION JINOTEGA 55020, TR100 Y TR50

Hietograma TR100

T: años	r	A	d	b
100	-0.99750	1054.619	2	0.691

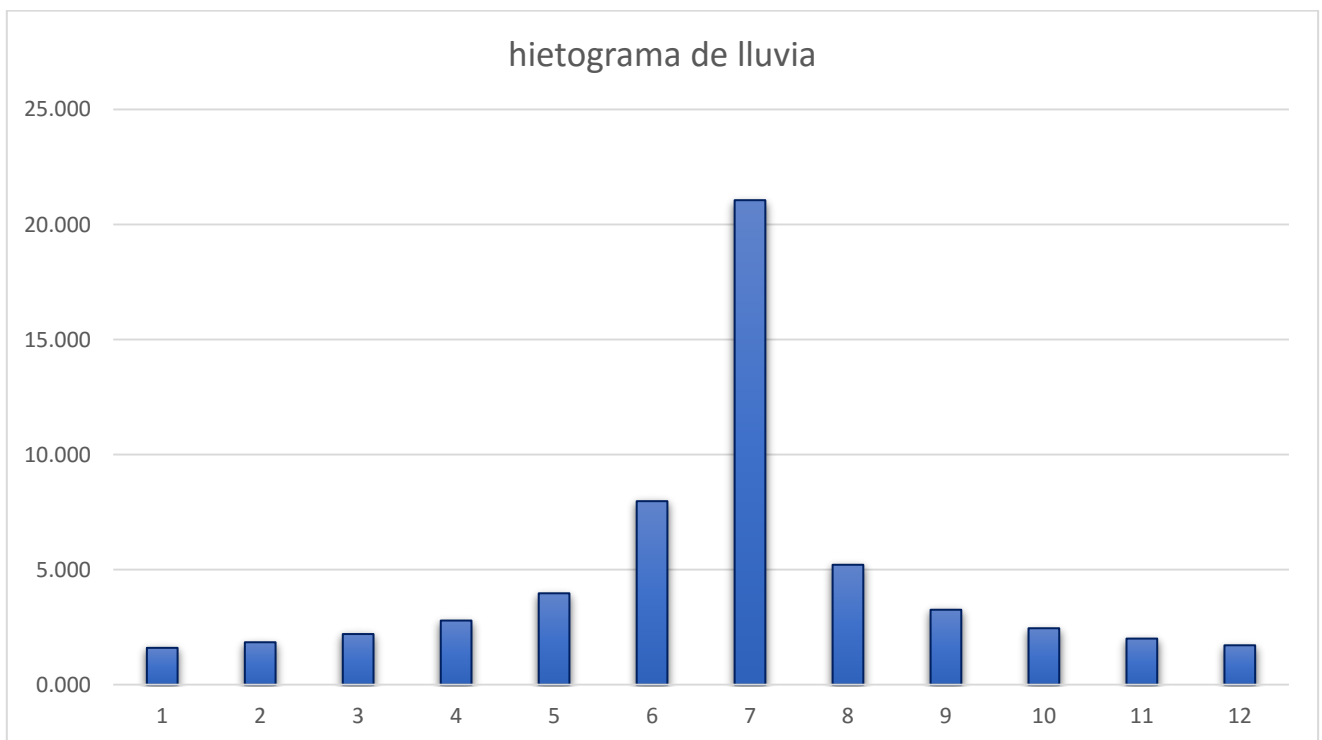
METODO DE BLOQUE ALTERNO								
#	TIEMPO		MM/H	MM	INCREMENTO	HIETOGRAMA LLUVIA	ACUMULADO	0.8
1	0	5	274.873	22.906	22.906	1.735	1.735	1.39
2	5	10	189.401	31.567	8.661	1.999	3.734	2.99
3	10	15	148.887	37.222	5.655	2.386	6.120	4.90
4	15	20	124.590	41.530	4.308	3.023	9.142	7.31
5	20	25	108.149	45.062	3.532	4.308	13.450	10.76
6	25	30	96.169	48.085	3.023	8.661	22.111	17.69
7	30	35	86.990	50.744	2.659	22.906	45.017	36.01
8	35	40	79.695	53.130	2.386	5.655	50.672	40.54
9	40	45	73.735	55.302	2.172	3.532	54.204	43.36
10	45	50	68.760	57.300	1.999	2.659	56.864	45.49
11	50	55	64.534	59.156	1.856	2.172	59.035	47.23
12	55	60	60.891	60.891	1.735	1.856	60.891	48.71

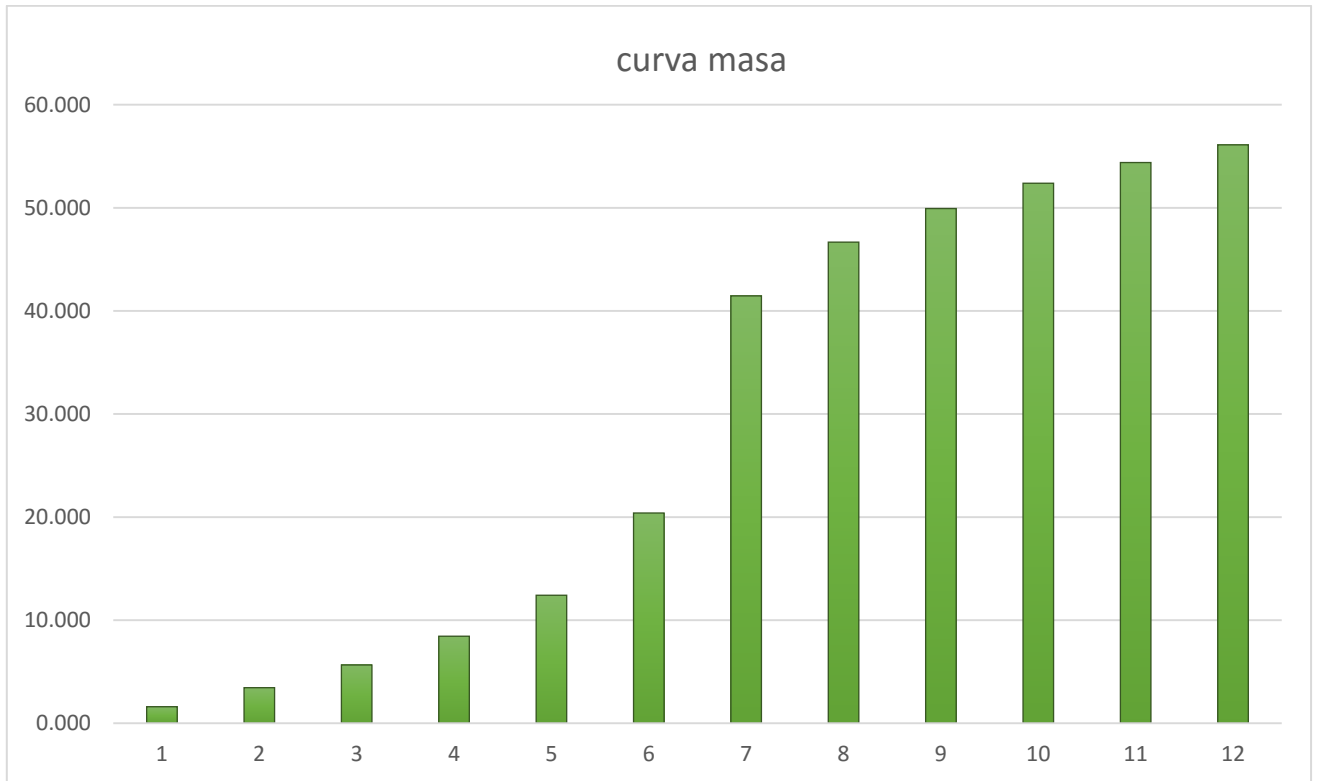


Hietograma TR50

T: años	r	A	d	b
50	-0.99740	967.695	2	0.69

METODO DE BLOQUE ALTERNO								
#	TIEMPO		MM/H	MM	INCREMENTO	HIETOGRAMA LLUVIA	ACUMULADO	0.8
1	0	5	252.709	21.059	21.059	1.603	1.603	1.28
2	5	10	174.222	29.037	7.978	1.846	3.450	2.76
3	10	15	137.003	34.251	5.214	2.203	5.653	4.52
4	15	20	114.674	38.225	3.974	2.790	8.443	6.75
5	20	25	99.563	41.485	3.260	3.974	12.417	9.93
6	25	30	88.549	44.275	2.790	7.978	20.395	16.32
7	30	35	80.109	46.730	2.455	21.059	41.454	33.16
8	35	40	73.400	48.933	2.203	5.214	46.668	37.33
9	40	45	67.919	50.939	2.006	3.260	49.928	39.94
10	45	50	63.343	52.786	1.846	2.455	52.383	41.91
11	50	55	59.455	54.500	1.714	2.006	54.389	43.51
12	55	60	56.103	56.103	1.603	1.714	56.103	44.88





IV. ANEXO D: D50



Client
e: M.T.I

Proyecto:
o:

Puente: Río La Zomopera
e: B/DER

Coordenadas:
as:

Sondeo:
eo: 1

Fecha: 3-feb-17

RESULTADO DE ENSAYOS DE SUELOS

Sond eo	Profundi dad en pie	Muest ra No.	RQ D %	% que pasa por tamiz				L. L %	I P %	Clas if. SU CS	% Partículas			Descrip ción	Diámet ro medio (D ₅₀ mm)
				No. 4	No. 10	No. 40	No. 200				G	S	F		
1	0'0" - 16'6"	1	-	100	97	91	79	5 0	2 1	OH	0	21	7 9		
	16'6" - 21'0"	2	-	79	72	57	47	4 3	1 8	SC	21	32	4 7		0.22
	21'0" - 24'0"	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
	24'0" - 31'0"	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		

Calidad de la Roca	
RQD (%)	Clasificació n
< 25	Muy mala
25-50	Mala
50-70	Media
75-90	Buena
90-100	Muy Buena