



**UNIVERSIDAD LAICA VICENTE ROCAFUERTE DE  
GUAYAQUIL**

**Facultad de Ingeniería Civil**

**“EVALUACION HIDRAULICA DE PUENTE UBICADO  
EN COMUNA LIBERTADOR BOLIVAR PROVINCIA  
DE SANTA ELENA, APLICANDO EL MODELO HEC-  
RAS Y EL METODO DE SECCION PENDIENTE”**

**Proyecto de Investigación presentado para obtener  
el título de Ingeniera Civil**

**Autor:**

**LAURA MARIA MENDOZA SION**

**GUAYAQUIL-ECUADOR**

**2013**

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios por regalarme la vida, por brindarme fortaleza y salud para vivir el día a día y permitirme llegar a la culminación de este primer logro Universitario, que es la obtención del título de Ingeniera Civil.

A mis padres Omar y María, hermanos, sobrina, abuelitos, tíos y primos por apoyarme y estar junto a mí, en todos los momentos buenos y malos a través de los años, ya que ellos han sido pilares fundamentales para alcanzar mi triunfo, el cual también es de ellos.

Agradezco a mis profesores, por brindarme sus conocimientos los mismos que sirvieron para crecer profesionalmente.

A mis amigos que me han apoyado y todos quienes de alguna u otra manera han colaborado para concluir con este trabajo investigativo.

## **DEDICATORIA**

Dedico este logro a Dios quien es el motor que guía mi vida y a mis padres los cuales siempre han estado junto a mí apoyándome y brindándome su amor.

## **CERTIFICACION DE AUTORIA Y CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR**

Guayaquil, 15 de Julio del 2013

Yo, Laura María Mendoza Sión, declaro bajo juramento que la autoría del presente proyecto de Investigación me corresponde totalmente y me responsabilizo con los criterios y opiniones científicas que en el mismo se declaran, como producto de la investigación que he realizado.

De la misma forma, cedo mis derechos de autor a la Universidad Laica VICENTE ROCAFUERTE de Guayaquil, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y Normativa Institucional vigente.

## **CERTIFICACION DE TUTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**

Guayaquil, 15 de Julio del 2013

Certifico que el Proyecto de Investigación titulado “EVALUACION HIDRAULICA DE PUENTE UBICADO EN COMUNA LIBERTADOR BOLIVAR PROVINCIA DE SANTA ELENA, APLICANDO EL MODELO HEC-RAS Y EL METODO DE SECCION PENDIENTE”, ha sido elaborado por Laura María Mendoza Sión, bajo mi tutoría y que el mismo reúne los requisitos para ser defendido ante el tribunal examinador que se designe al efecto

Ing. July Herrera

## RESUMEN EJECUTIVO

En el siguiente trabajo de investigación se realizará la evaluación del funcionamiento hidráulico del puente que forma parte de la Ruta del Spondilus y que atraviesa la comuna Libertador Bolívar, conocida como “Atravesado”, el cual es de importancia ya que dicha población está experimentando a través del tiempo una creciente demanda poblacional y turística.

El Estero que atraviesa la Comuna Libertador Bolívar es el Estero Simón Bolívar, el cual desemboca directamente en el Océano Pacífico y su distancia hasta la playa, siguiendo el cauce del mismo es de 1.15 Km, por lo cual su caudal que es relativamente mínimo en tiempo de verano, depende de las mareas y de las aguas provenientes de la cuenca de aportación y en la época invernal, se ve afectado además de las mareas, por las precipitaciones, o por algún fenómeno natural.

Con la finalidad de realizar el modelo Hidráulico, se analizarán los parámetros Hidrológicos de la cuenca de aportación, recopilando los datos existentes para el área de aportación, se ejecutarán perfiles hidráulicos a partir de la topografía del terreno actual y se aplicarán dos metodologías para la simulación del comportamiento hidráulico del puente: utilizando el software HEC-RAS, creado por el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de Estados Unidos y por el Método de Sección Pendiente.

De dicha evaluación, se obtendrán de manera detallada los parámetros que se consideran para realizar, tanto el modelo hidrológico como el

modelo hidráulico y se determinará el comportamiento del puente para la condición crítica de caudal, proponiendo conclusiones y recomendaciones.

## TABLA DE CONTENIDOS

I.	MARCO GENERAL DE LA INVESTIGACION.....	1
•	TEMA.....	1
•	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	1
•	FORMULACION DEL PROBLEMA.....	1
•	DELIMITACION DEL PROBLEMA.....	2
•	JUSTIFICACION DEL TEMA.....	4
•	OBJETIVOS DE LA INVESTIGACION.....	4
•	OBJETIVO GENERAL.....	5
•	OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	5
•	VARIABLES DE LA INVESTIGACION.....	5
•	POBLACION Y MUESTRA.....	6
•	HIPOTESIS DE LA INVESTIGACION.....	6
•	HIPOTESIS GENERAL.....	6
•	CONCLUSIONES DE LA PROPUESTA.....	10
II.	DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN.....	11
	CAPITULO 1: FUNDAMENTACIÓN TEORICA.....	11
1.1	DESCRIPCIÓN GENERAL.....	11
1.2	TOPOGRAFIA.....	11
1.3	PROGRAMAS COMPUTACIONALES-TOPOGRAFIA.....	12
1.3.1	AUTOCAD CIVIL 3D (2007).....	12
1.3.2	GOOGLE EARTH.....	12
1.4	GEOLOGÍA.....	13
1.5	MODELO HIDROLÓGICO.....	13
1.5.1	HIDROLOGÍA.....	13
1.5.2	CICLO HIDROLÓGICO.....	14
1.5.3	CUENCA HIDROGRÁFICA.....	15
1.5.3.1	TIPOS DE CORRIENTES.....	16
1.5.3.2	TIPOS DE CUENCAS.....	16
1.5.3.3	CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE UNA CUENCA HIDROGRÁFICA.....	17
1.5.4	PRECIPITACIONES.....	23

1.5.4.1	ANÁLISIS DE REGISTROS DE PRECIPITACIONES.....	24
1.5.4.2	CURVAS DE INTENSIDAD-DURACIÓN-FRECUENCIA.....	28
1.5.5	HIETOGRAMA DE DISEÑO.....	28
1.5.5.1	MÉTODO DEL BLOQUE ALTERNO.....	29
1.5.6	ESCURRIMIENTO.....	30
1.5.7	INFILTRACIÓN Y PÉRDIDAS.....	31
1.5.7.1	MÉTODO PARA EL CÁLCULO DE INFILTRACIÓN.....	33
1.5.8	PERIODO DE RETORNO.....	34
1.5.9	RELACIONES LLUVIA-ESCURRIMIENTO.....	36
1.5.9.1	METODO RACIONAL.....	37
1.5.9.2	METODO DEL HIDROGRAMA.....	39
1.5.9.3	MÉTODO DEL HIDROGRAMA UNITARIO.....	40
1.5.9.4	HIDROGRAMA UNITARIO SINTETICO SCS.....	43
1.5.9.5	MODELO HIDROLÓGICO HEC-HMS.....	45
1.6	MODELO HIDRÁULICO.....	49
1.6.1	HIDRÁULICA.....	49
1.6.1.1	HIDRAULICA FLUVIAL.....	49
1.6.2	TIPOS DE FLUJO.....	50
1.6.3	TIPOS DE CAUCE.....	53
1.6.4	ECUACIONES FUNDAMENTALES DE LA HIDRÁULICA.....	54
1.6.4.1	TEOREMA DE BERNOULLI.....	54
1.6.4.2	TEOREMA DE LA CANTIDAD DE MOVIMIENTO.....	57
1.6.4.3	ECUACIÓN DE YARNELL.....	60
1.6.4.4	ECUACIÓN DE BRADLEY.....	61
1.6.5	DRENAJE EN CARRETERAS.....	62
1.6.5.1	MODELACION HIDRÁULICA DE PUENTES: SOFTWARE HEC-RAS	63
1.6.5.2	MODELACION HIDRÁULICA DE PUENTES: MÉTODO DE SECCIÓN PENDIENTE.....	65
1.7	IMPACTO AMBIENTAL.....	66
CAPITULO 2: EVALUACIÓN DIAGNÓSTICA.....		68
2.1	DESCRIPCION GENERAL.....	68
2.2	UBICACIÓN DEL PROYECTO.....	69

2.3	SITUACION ACTUAL.....	70
2.4	TOPOGRAFÍA DEL PROYECTO.....	71
2.5	HIDROLOGÍA DEL AREA DE ESTUDIO.....	72
2.6	DRENAJE .....	73
2.7	IMPACTO AMBIENTAL.....	73
CAPITULO 3: FORMULACION Y EVALUACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.		74
3.1	METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION.....	74
3.2	METODOS A UTILIZAR .....	74
3.3	POBLACION Y MUESTRA.....	75
3.4	TECNICAS DE LA INVESTIGACION.....	76
3.5	PROCESAMIENTO Y ANALISIS DE DATOS. ....	76
3.5.1	INTRODUCCION.....	76
3.5.2	TOPOGRAFIA DEL AREA DE ESTUDIO.....	79
3.5.3	GEOLOGIA DEL AREA DE ESTUDIO.....	84
3.5.4	ESTUDIO HIDROLOGICO .....	86
3.5.4.1	EVALUACION DE PRECIPITACIONES .....	87
3.5.4.2	METODO DEL HIDROGRAMA UNITARIO TRIANGULAR.....	93
3.5.4.3	HIDROGRAMA UNITARIO UTILIZANDO EL SOFTWARE HEC-HMS	96
3.5.5	ESTUDIO HIDRAULICO.....	104
3.5.5.1	MODELO HIDRAULICO HEC-RAS.....	104
3.5.5.2	METODO DE SECCION PENDIENTE.....	113
3.5.5.2.1	NIVELACION DEL FONDO DEL CAUCE .....	114
3.5.5.2.2	SECCION HIDRAULICA.....	114
3.5.5.2.3	CONDICION HIDRAULICA .....	114
3.5.5.2.4	DETERMINACION DEL COEFICIENTE DE RUGOSIDAD DE MANNING. ....	115
3.5.5.2.5	AREA Y PERIMETROS MOJADOS.....	116
3.5.5.2.1	PENDIENTE GEOMETRICA.....	118
3.5.5.2.2	PENDIENTE HIDRAULICA .....	118
3.5.5.2.3	VELOCIDAD DE DISEÑO .....	119
3.5.5.2.4	CALCULO DE CAUDAL.....	120
3.5.6	IMPACTO AMBIENTAL .....	120

3.5.7	CONCLUSIONES.....	122
3.5.8	RECOMENDACIONES.....	124
	BIBLIOGRAFÍA.....	125
	GLOSARIO DE TERMINOS.....	127
	SIMBOLOGIA .....	128

## **I. MARCO GENERAL DE LA INVESTIGACION**

- **TEMA**

“EVALUACION DEL FUNCIONAMIENTO HIDRAULICO DE PUENTE UBICADO EN COMUNA LIBERTADOR BOLIVAR PROVINCIA DE SANTA ELENA, APLICANDO EL MODELO HEC-RAS Y EL METODO DE SECCION PENDIENTE”

- **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

Debido a las variaciones estacionales de la intensidad pluviométrica y a los fenómenos naturales que se presentan en Ecuador, se ha escogido determinar conceptualmente y matemáticamente, el comportamiento hidráulico del puente ubicado en la Comuna Libertador Bolívar, con la finalidad de describir cuales serían las consecuencias al momento de presentarse diferentes caudales.

¿Cómo se comportaría el puente ante un evento extremo de lluvia?

- **FORMULACION DEL PROBLEMA**

El rasgo más importante en la Orografía del Ecuador es la Cordillera de los Andes, por lo cual los ríos tienen su vertiente hacia el este en el Océano Atlántico, y al oeste por medio del Rio Amazonas hacia al Océano Pacífico, para el caso a evaluarse, el Estero Simón Bolívar, desemboca directamente en el Océano Pacífico y su distancia hasta la playa, siguiendo el cauce del mismo es de 1.15 Km, por lo cual su caudal en tiempo de verano depende de las mareas y de las aguas provenientes de la cuenca de aportación y en la época invernal se ve afectado además por las precipitaciones propias de dicha estación.

En general los caudales de los ríos en ciertas ocasiones además de ser influenciados por los niveles de las mareas, se ven afectados por corrientes naturales, especialmente el Fenómeno del Niño, que desde el siglo XX, ha causado inundaciones y pérdidas económicas y mortales al país.

En la presente tesis de grado para determinar el funcionamiento del puente, además de las encuestas que se realizaron a las personas que viven en la Comuna Libertador Bolívar, de las cuales se determinó de manera empírica el funcionamiento del puente, se realizaron análisis matemáticos mediante el uso de las ecuaciones fundamentales de la hidráulica.

Se aplicaron las teorías que se proponen en el software HEC-RAS, y se compararon los resultados con el Método de sección pendiente.

- **DELIMITACION DEL PROBLEMA**

**Objeto a Investigar.-** Se ha escogido como caso de estudio la evaluación Hidráulica del Puente sobre el Estero Cruzado, ubicado en el sector de la Comuna Libertador Bolívar.

**Campo de acción.-** Estudiar las teorías y resultados que se proponen en el modelo HEC-RAS y compararlos con los resultados y teorías propuestas en método de sección Pendiente.

**Tipo de Investigación.-** La investigación que se realizará es de aplicación tecnológica ya que se proyecta establecer en base de datos existentes, las condiciones actuales del área de estudio y de manera numérica los resultados obtenidos de los dos métodos utilizados actualmente.

**Aspecto.-** Evaluación de la condición hidráulica actual del puente para concluir si cumple o no con el adecuado comportamiento durante un evento extremo como el Fenómeno del Niño.

**Tiempo de Investigación.-** 6 meses.

**Lugar de Estudio.-** La Comuna Libertador Bolívar tiene una extensión de 1476 hectáreas. Se encuentra localizada en el Km. 50 al norte de la costa ecuatoriana en la Provincia de Santa Elena, Cantón Santa Elena de la parroquia Manglar Alto, el cantón Santa Elena limita al Norte con la Provincia de Manabí, al Este y Sur con la Provincia del y al Oeste con el Océano Pacífico.

Libertador Bolívar limita al Norte con la comuna de San Antonio, al Sur con la comuna Valdivia, al este con la comuna Sitio Nuevo y al oeste con el Océano Pacífico, en la figura 1 se muestra la ubicación del sitio de estudio.



**Figura 1.** Ubicación Comuna Libertador Bolívar. Fuente: Pagina web Gobierno cantonal de Santa Elena

- **JUSTIFICACION DEL TEMA**

De acuerdo a las normas del buen vivir, se cumplirá con la ley Art. 107 LOES, ya que al evaluar la condición del puente ante un evento extremo de lluvia, se garantizará la seguridad de los habitantes de la comuna Libertador Bolívar, al presentarse una creciente en el caudal del Estero Simón Bolívar.

Actualmente se han desarrollado herramientas tecnológicas que ayudan a optimizar el tiempo, analizando mayor cantidad de hipótesis en menor tiempo, por lo cual en la presente tesis se demostrará de manera detallada los parámetros que se deben considerar en el diseño hidráulico de un puente utilizando dos metodologías, y se presentará un documento guía que podría ser empleado por profesionales hidráulicos así como estudiantes de la carrera de Ingeniería Civil.

- **OBJETIVOS DE LA INVESTIGACION**

Los objetivos de la Investigación son los siguientes:

- **OBJETIVO GENERAL**

Demostrar el funcionamiento hidráulico del Puente Libertador Bolívar, mediante la utilización de del programa Hec-Ras y el método de sección Pendiente, obteniendo un documento guía que esté al nivel técnico para ser utilizado por profesionales o estudiantes.

- **OBJETIVOS ESPECIFICOS**

- ✓ Describir las teorías que se utilizan para el modelo Hidrológico y el modelo Hidráulico para el diseño de Puentes.
- ✓ Caracterizar la información que se proyecta ingresar al programa Hec-Ras.
- ✓ Caracterizar la información que se proyecta ingresar en el método de sección pendiente.
- ✓ Analizar los resultados obtenidos
- ✓ Comparar los resultados obtenidos del cálculo con el método de sección pendiente.
- ✓ Realizar conclusiones y recomendaciones sobre el puente en la comuna Libertador Bolívar que se encuentra actualmente en funcionamiento.

- **VARIABLES DE LA INVESTIGACION.**

Variable Independiente: Evaluación de las características hidráulicas del puente existente.

Variable dependiente: Aspectos hidrológicos del sector.

- **POBLACION Y MUESTRA**

Actualmente en la comuna habitan alrededor de 3000 personas y la afluencia de visitantes hacia Libertador Bolívar es mayor en las respectivas temporadas de costa y sierra, se calcula que llegan aproximadamente 200 visitantes diarios, siendo los fines de semana los días de mayor movimiento.

- **HIPOTESIS DE LA INVESTIGACION**

A continuación se detallan las hipótesis planteadas para la realización del presente trabajo de investigación.

- **HIPOTESIS GENERAL**

La evaluación del funcionamiento hidráulico del puente proporcionará seguridad a la población de la Comuna Libertador Bolívar ante el paso de una creciente, se demostrará las ventajas de utilizar el modelo HecRas comparándolo con el método de sección pendiente.

El método utilizado para la evaluación de la problemática del área de estudio fueron las encuestas directas, a continuación en la figura 2 y 3, se muestra el modelo de las encuestas realizadas a ciertos habitantes de la Comuna Libertador Bolívar y a profesionales en el Anexo A, se observa los resultados.

**UNIVERSIDAD LAICA VICENTE ROCAFUERTE DE GUAYAQUIL**

**TEMA DE TRABAJO DE GRADO:** “EVALUACION DEL FUNCIONAMIENTO HIDRAULICO DE PUENTE UBICADO EN COMUNA LIBERTADOR BOLIVAR PROVINCIA DE SANTA ELENA, APLICANDO EL MODELO HEC-RAS Y EL METODO DE SECCION PENDIENTE”

Objetivo: Conoce usted las consecuencias del mal diseño hidráulico de un puente y como puede afectar a la comunidad?

Datos del encuestado.-

Instrucción: \_\_\_\_\_ Sexo: ::::::::::: Edad: \_\_\_\_\_

Estudiante: \_\_\_\_ Padre de familia \_\_\_\_ Profesor(a) \_\_\_\_ Miembro comunidad: x

**ENCUESTA DIRIGIDA A LA COMUNIDAD DEL MEDIO URBANO**

Indicaciones: Se solicita a los informantes (encuestados) marcar con una x en el casillero ubicado a la derecha, la respuesta que considera:

1 ¿Se sentiría mas seguro en un invierno fuerte, si se analiza el funcionamiento hidráulico del puente de Ingreso a la comuna Libertador Bolívar?

Muy de acuerdo\_\_ De acuerdo: \_\_ Indiferente\_\_ En desacuerdo\_\_ Muy en desacuerdo\_\_

2 ¿Cree usted que utilizando programas computacionales se optimiza tiempo para diseñar hidráulicamente un puente?

Muy de acuerdo\_\_ De acuerdo:;;; Indiferente\_\_ En desacuerdo\_\_ Muy en desacuerdo\_\_

3 ¿Cree usted que con el desarrollo de dos metodologías para el calculo hidráulico de puentes se tendrían criterios para la utilización de cada una de ellas?

Muy de acuerdo\_\_ De acuerdo:;;; Indiferente\_\_ En desacuerdo\_\_ Muy en desacuerdo\_\_

Nombre del encuestador: \_\_\_\_\_ Fecha: \_\_\_\_\_ Tabulado por \_\_\_\_\_

Instrumento N° 01

**Figura 2.** Modelo de encuestas realizadas a los habitantes de la Comuna Libertador Bolívar

**UNIVERSIDAD LAICA VICENTE ROCAFUERTE DE GUAYAQUIL**

**TEMA DE TRABAJO DE GRADO: "EVALUACION DEL FUNCIONAMIENTO HIDRAULICO DE PUENTE UBICADO EN COMUNA LIBERTADOR BOLIVAR PROVINCIA DE SANTA ELENA, APLICANDO EL MODELO HEC-RAS Y EL METODO DE SECCION PENDIENTE"**

Indicaciones: Se solicita a los informantes Profesionales (encuestados) marcar con una x en el casillero ubicado a la derecha, la respuesta que considera:

1 ¿Cree usted que utilizando programas computacionales se optimiza tiempo para diseñar hidráulicamente un puente?

Muy de acuerdo\_\_ De acuerdo:;; Indiferente\_\_ En desacuerdo\_\_ Muy en desacuerdo\_\_

2 ¿Cree usted que con el desarrollo de dos metodologías para el cálculo hidráulico de puentes se tendrían criterios para la utilización de cada una de ellas?

Muy de acuerdo\_\_ De acuerdo:;; Indiferente\_\_ En desacuerdo\_\_ Muy en desacuerdo\_\_

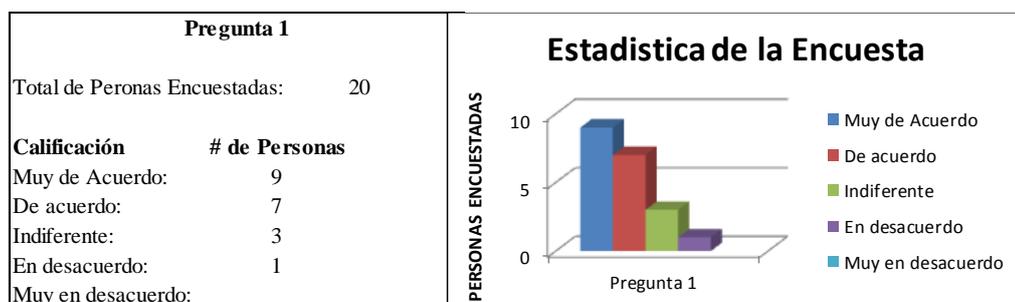
Observaciones:.....

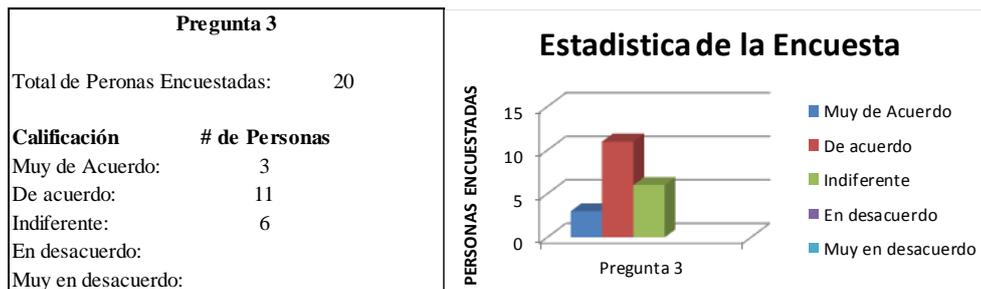
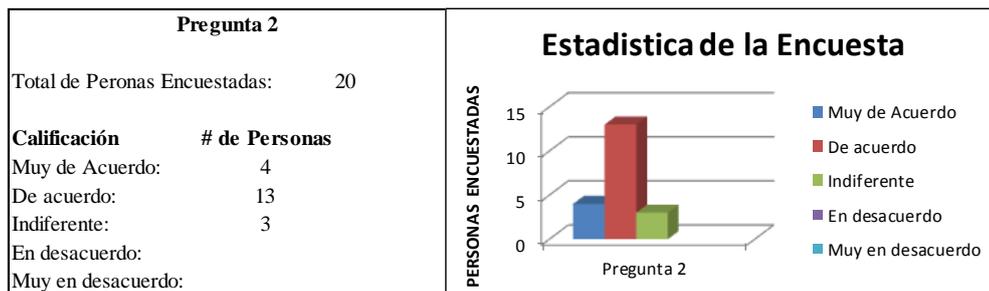
Nombre del encuestador: \_\_\_\_\_ Fecha: \_\_\_\_\_ Tabulado por \_\_\_\_\_

Instrumento N° 02

**Figura 3.** Modelo de encuestas realizadas a Ingenieros Hidráulicos.

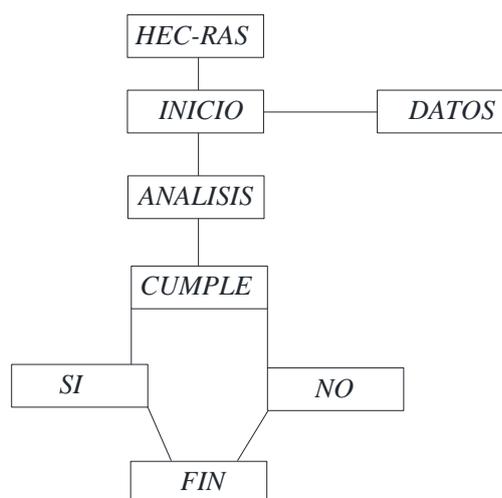
De las encuestas realizadas se concluye que la comunidad está de acuerdo con la evaluación del puente ya que a pesar de no poseer un caudal considerable los moradores quieren tener la seguridad de que no sufran inundaciones ante un evento extremo como es el Fenómeno del Niño, en la figura 4 se muestra el cuadro estadístico.





**Figura 4.** Resultado de las respuestas obtenidas de las encuestas.

La aplicación del programa Hec Ras está basado en la teoría de Prueba y Error (Try and Error Method), siguiendo la secuencia de análisis que se muestra en la figura 5.



**Figura 5.** Secuencia del esquema de resultados obtenidos del Programa Hec-Ras

El método de sección pendiente aplica la condición de análisis para varias secciones del río con su respectiva pendiente para obtener el gasto o el Caudal que pasa por una determinada sección hidráulica.

- **CONCLUSIONES DE LA PROPUESTA**

Se determinará el funcionamiento hidráulico del puente y se elaborará de manera detallada el proceso de análisis con los dos métodos seleccionados, comparando los resultados obtenidos de ambos modelos.

## **II. DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN**

### **CAPITULO 1: FUNDAMENTACIÓN TEORICA**

#### **1.1 DESCRIPCIÓN GENERAL**

Para realizar el cálculo hidráulico de un puente y evaluar su condición de servicio, se debe partir del modelo hidrológico, para finalmente realizar un modelo hidráulico que permita evaluar la condición del puente ante eventos extremos, a continuación se describen los conceptos que deberán ser reconocidos para la evaluación hidráulica del puente en Libertador Bolívar.

#### **1.2 TOPOGRAFIA**

Para la ejecución de un Modelo Hidráulico, se debe contar con topografía del área de estudio, a escalas variables entre 1:10000 y 1:25000 y en sitio de implantación del puente la topografía debe ser de detalle, con la finalidad de determinar perfiles topográficos perpendiculares al eje del Río o Estero.

El Instituto Ecuatoriano Militar (IGM), es la entidad, encargada de la ejecución de las cartas topográficas de las diferentes regiones del Ecuador, en las cuales se observa curvas de nivel cada 20 m, por lo cual para el presente estudio se recopiló la carta existente para el sector correspondiente a Manglaralto.

Adicionalmente se realizó una topografía de detalle, para obtener las curvas de nivel, alineación del cauce y la altura del nivel de agua, en el área de implantación del puente, además se obtuvieron perfiles transversales tomados del Google Earth..

### **1.3 PROGRAMAS COMPUTACIONALES-TOPOGRAFIA.**

Para la obtención de las coordenadas de inicio y para la ejecución de las curvas de nivel se utilizaron los siguientes programas.

#### **1.3.1 AUTOCAD CIVIL 3D (2007)**

El AutoCAD Civil3D, es un software creado por Autodesk, con el cual se puede diseñar proyectos arquitectónicos, eléctricos, topográficos, entre otros, de manera que los elementos que los conforman están correlacionados entre sí y al momento de ser modificados, automáticamente regeneran el diseño y el programa recalcula la información en tablas y perfiles, facilitando los trabajos al momento de realizar cambios en la propuesta.

#### **1.3.2 GOOGLE EARTH**

Google Earth, es un software diseñado por Keyhole Inc., con el cual se puede visualizar imágenes a escala del planeta, y se muestran coordenadas reales de los lugares seleccionados, elevaciones, galería de sitios de relevancia.

## **1.4 GEOLOGÍA**

La geología es la ciencia que permite entender la fisiografía de la cuenca, el tipo de formación rocosa a la que corresponde, además del análisis geológico de la zona de estudio se determinan las características y composición litológica del terreno, lo cual se realiza para conocer la resistencia del suelo, su permeabilidad y los coeficientes necesarios para la realización del modelo hidrológico.

## **1.5 MODELO HIDROLÓGICO**

Para la elaboración de un modelo hidrológico que contemple los parámetros importantes de la cuenca de aportación, se debe tener en consideración los siguientes aspectos:

### **1.5.1 HIDROLOGÍA**

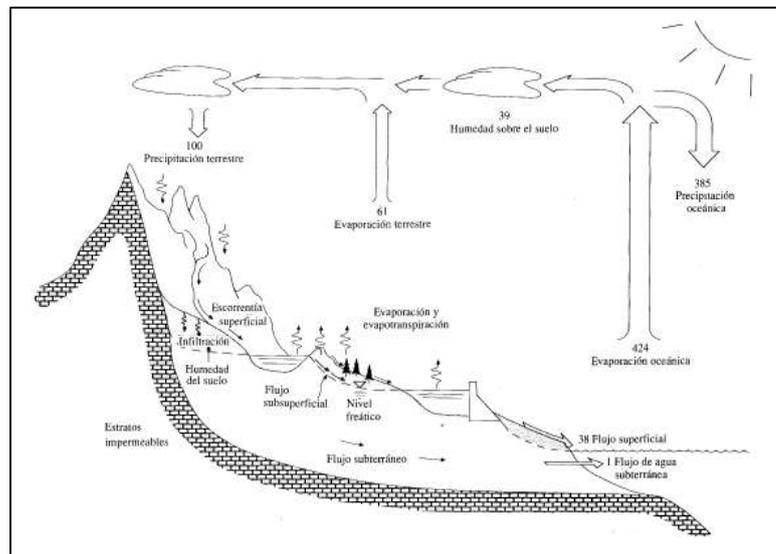
Es la ciencia que estudia la distribución, cuantificación y las propiedades del agua que se encuentra tanto en la atmósfera como en la corteza terrestre, esto incluye las precipitaciones, escorrentía superficial y subterránea, la humedad del suelo, evapotranspiración y el equilibrio de las masas glaciares.

Es importante conocer el comportamiento hidrológico de la cuenca de aportación en un punto de control en un río, ya que del conocimiento de su geomorfología, tipo de suelos, intensidad pluviométrica de la zona, se puede deducir los caudales máximos que se pueden presentar ante eventos extremos y se diferencian zonas vulnerables ante inundaciones.

## 1.5.2 CICLO HIDROLÓGICO

El ciclo hidrológico del agua es la parte fundamental de la hidrología, y su proceso se realiza de manera continua, en la figura 1.1, propuesta por Ven te Chow(1994), se muestra que el ciclo del agua comienza:

Cuando el agua se evapora desde los océanos y la corteza terrestre hasta llegar a la atmosfera en forma de vapor de agua, donde se condensa y por las precipitaciones regresa a la corteza terrestre en forma de lluvia, de la cual cierta cantidad se infiltra en el suelo, creando flujos de agua subterráneos que descargan en el océano y otra parte se retiene en la vegetación y en la parte superficial de la tierra, formándose el flujos superficiales, que al llegar a los ríos retornan a los océanos y simultáneamente comienza el proceso del ciclo del agua.



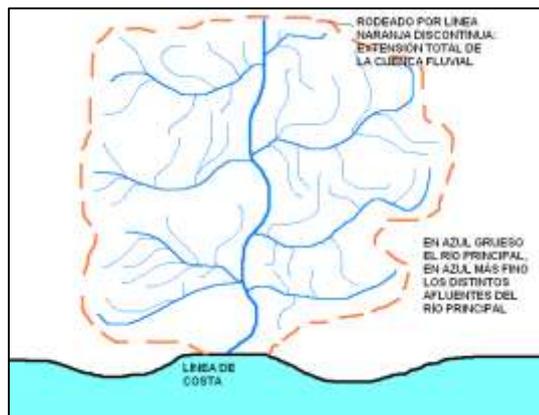
**Figura 2.1** Ciclo Hidrológico del agua. **Fuente:** Ven Te Chow (1994).

### 1.5.3 CUENCA HIDROGRÁFICA

La cuenca hidrográfica es un área que se limita topográficamente por sus elevaciones, donde se drena de manera natural hacia un punto común en la parte más baja de la cuenca, el agua superficial proveniente de las precipitaciones, dicha agua es captada por un río y todos sus afluentes y a su vez es transportada al mar.

La cuenca es limitada por la divisoria de aguas, la cual se define naturalmente y es una línea imaginaria que se traza en las partes más altas del área que encierra un río, con la finalidad de separar las precipitaciones que caen en cuencas vecinas.

El área de la cuenca hidrográfica no solamente abarca la superficie, a lo largo y ancho, sino también la profundidad, lo cual comprende desde la parte superficial como es la vegetación, construcciones existentes, hasta los estratos geológicos limitantes bajo la tierra, en la figura 1.2 se muestra un esquema de la delimitación de una cuenca hidrográfica.



**Figura 1.2.** Esquema de una Cuenca Hidrográfica. **Fuente:**  
socialesmoriles.blogspot.com

### **1.5.3.1 TIPOS DE CORRIENTES .**

Las corrientes que se pueden presentar en una Cuenca Hidrográfica son las siguientes:

Corrientes Efímeras: Son las que aparecen cuando llueve y desaparecen una vez que deja de llover, por ejemplo las quebradas.

Corrientes Intermitentes: Son las que aparecen en temporada invernal o en ciertas épocas de año.

Corrientes Perennes: Son las que tienen un caudal constante, en cualquier época del año.

### **1.5.3.2 TIPOS DE CUENCAS.**

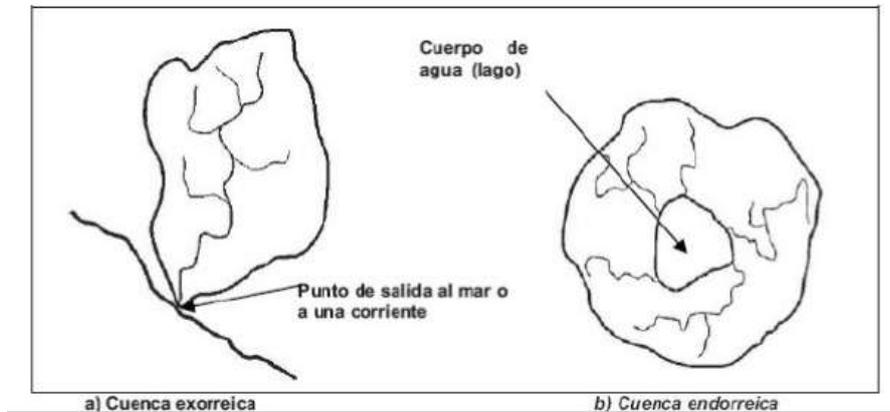
Existen tres tipos de cuencas:

Cuencas Exorreicas: son las que drenan sus aguas al mar o al océano, lo cual es el caso de la Cuenca de estudio.

Cuencas Endorreicas: desembocan en lagos o lagunas y no tienen acceso al mar. Por ejemplo, la cuenca del Valle del Cajas.

Cuencas Arreicas: las aguas se evaporan o se filtran en el terreno antes de encauzarse en una red de drenaje.

En la figura 1.3 se muestra el esquema de las cuencas exorreicas y endorreicas.



**Figura 1.3.-** Esquema de cuencas exorreicas y endorreicas **Fuente:** Hidrología Aplicada, Chow, Maidment y Mays.

### 1.5.3.3 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE UNA CUENCA HIDROGRÁFICA.

Al conocer las características físicas de una cuenca hidrográfica, se puede tener idea del comportamiento de la misma y además en base a fórmulas empíricas propuestas por varios científicos, se establecen los parámetros para el cálculo de su caudal, a continuación se indican las características antes mencionadas:

- **Área de drenaje (A).**- Es la delimitación en forma plana del área de la Cuenca hidrográfica, esta está dada por la topografía de la zona, donde se considera el área que se obtiene de la línea divisoria hasta el punto donde se proyecta la construcción de la obra es decir hasta la desembocadura de la misma, viene dada en (Km<sup>2</sup>).

- **Perímetro (P).**- Es la longitud del polígono que cierra el área de la cuenca (Km).
- **Forma de la cuenca.**- Dicho parámetro es de importancia ya que se relaciona con el tiempo necesario para que el caudal que se recoge en el área de la cuenca, desde el inicio de la precipitación, contribuya a la corriente del estudio, ya que si es una cuenca de forma redondeada demorará más que si es de forma alargada.
- **Sistema de drenaje.**- Este parámetro indica la cantidad de los cursos de agua en la cuenca y se identifica con la densidad de drenaje, definida ésta última como la longitud total de los cursos de agua dentro de la cuenca.

Una cuenca con buen sistema de drenaje tiende a producir un mayor caudal pico de escorrentía superficial.

La fórmula para determinar la Densidad de drenaje es:

$$Dd = \frac{Lc}{A}, \frac{Km}{Km^2}$$

Donde Lc= Longitud total de las corrientes de agua

A= Área de la cuenca

- **Factor de Forma.-** Llamado índice de Gravelis, es la relación entre el perímetro y la longitud de un círculo de área igual a la Cuenca cuya fórmula es:

$$Kc = 0.28 \frac{P, Km}{A, Km^2}$$

Donde P= Perímetro

A= Área de la cuenca.

- **Pendiente media de la cuenca.-** Determina, de manera indirecta, la capacidad de concentración del agua y la producción de caudales pico de escorrentía superficial en los altos de la cuenca. Una cuenca con alta pendiente es propensa a la producción de altos y rápidos caudales pico, una de las fórmulas para el cálculo es mediante el criterio de Horton, con la fórmula:

$$Sx = \frac{Nx * D}{Lx}, \quad Sy = \frac{Ny * D}{Ly}$$

Donde D= Desnivel de las curvas de Nivel

Lx y Ly = Longitud total de las líneas de las mallas en la dirección x,y dentro de la cuenca.

Nx y Ny = Número total de intersecciones y tangencias de las líneas de la malla en la dirección x,y con las curvas de nivel.

Teniendo como resultado final la siguiente formula:

$$S_c = \frac{S_x + S_y}{2}$$

- **Pendiente del cauce principal.** Dado que el cauce principal es el desagüe de la cuenca, la pendiente del cauce determina la rapidez de producción del caudal pico de escorrentía superficial y la capacidad de concentración de la referida descarga.

Para evaluar este parámetro existen tres metodologías:

La primera se relaciona con la pendiente total del cauce principal, y es igual a la diferencia entre las cotas mayor y menor del cauce sobre la longitud total del mismo.

La segunda se define como la pendiente media ponderada del cauce principal, llamada también método gráfico, donde se obtiene la pendiente por medio de un método gráfico de compensación de áreas.

La tercera es por medio del método de Taylor y Schwarz, cuya fórmula es:

$$S_p = \frac{L^2}{\frac{l_1}{\sqrt{S_1}} + \frac{l_2}{\sqrt{S_2}}}$$

Donde :  $S_p$  = Pendiente media

$L$  = Longitud del perímetro del tramo

- **Tiempo de concentración.** Es el tiempo necesario, para que toda el agua de la cuenca contribuya al sitio de la obra de drenaje en consideración desde el inicio de la precipitación, es decir es el tiempo que el agua requiere para llegar desde los límites más extremos de la cuenca hasta la descarga de la misma.

El tiempo de concentración se calcula por medio de ecuaciones empíricas, dentro de las cuales se cuentan las siguientes:

#### **Ecuación de Kirpich**

$$T_c = 0.06628 \left( \frac{L}{S^{0.5}} \right)^{0.77}$$

#### **Ecuación de Temez**

$$T_c = 0.30 \left( \frac{L}{S^{0.25}} \right)^{0.76}$$

#### **Ecuación de la Federal Aviation Administration.**

Desarrollada por el cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos para solucionar problemas de drenajes en aeropuertos.

$$T_c = \frac{3.261(1.1 - C)L^{0.50}}{S^{0.333}}$$

### **Ecuación de retardo del Soil Conservation Service, SCS.**

Se utiliza para cuencas urbanas con áreas inferiores a 4049 m<sup>2</sup>, para áreas pavimentadas o mixtas, esta ecuación supone que el tiempo de concentración  $T_c$  es igual a 1.67 veces el tiempo de retardo de la cuenca  $T_i$ .

$$T_c = \frac{\left(\frac{10}{6}\right)L^{0.80}(2540 - 22.86 CN)^{0.70}}{14104CN^{0.70}S^{0.5}}$$

Donde :  $T_c$  = Tiempo de concentración en Horas

$L$  = Longitud del cauce principal en Km

$S$  = Pendiente entre elevaciones, en porcentaje

$C$  = Coeficiente de escorrentía del método racional

$CN$  = Numero de Curva del SCS.

- **Tipo de suelo.**-Los suelos influyen en la escorrentía, su naturaleza, color, y tipo de vegetación, entre más impermeable sea más rápido es la escorrentía.
- **Velocidad del cauce.**- Si no se cuenta con los equipos necesarios para medir la velocidad del cauce de manera indirecta, se podría

determinar la velocidad del cauce de acuerdo a su pendiente media como se muestra a continuación en la tabla 1.1 :

DESCRIPCIÓN DEL CURSO DE AGUA	PENDIENTE EN PORCENTAJE			
	0 - 3	4 - 7	8 - 11	12 o más
	VELOCIDAD (m/s)			
Flujo no concentrado <sup>1</sup>				
Bosques	0 - 0.46	0.46 - 0.76	0.76 - 0.99	0.99 o más
Pastizales	0 - 0.76	0.76 - 1.07	1.07 - 1.30	1.30 o más
Cultivos	0 - 0.91	0.91 - 1.37	1.37 - 1.68	1.68 o más
Pavimentos	0 - 2.59	2.59 - 4.12	4.12 - 5.18	5.18 o más
Flujo concentrado <sup>2</sup>				
Canal de salida	La ecuación de Manning determina la velocidad			
Canal natural no bien definido	0 - 0.61	0.61 - 1.22	1.22 - 2.13	2.13 o más
<sup>1</sup> Esta condición usualmente ocurre en las partes superiores de la cuenca, antes de que el flujo superficial se acumule en un canal. <sup>2</sup> Estos valores varían con el tamaño del canal y otras condiciones. Cuando sea posible, se deben hacer determinaciones más precisas para condiciones particulares mediante la ecuación de velocidad en canales de Manning.				

**Tabla 1.1.-**Velocidad promedio del agua en función de la pendiente del cauce.

**Fuente:** Manual de Drenaje Invias-Colombia.

#### 1.5.4 PRECIPITACIONES

Precipitación es toda forma de humedad que recibe la superficie terrestre, proveniente de la atmosfera, en cualquier estado ya sea sólido, líquido o gaseoso.

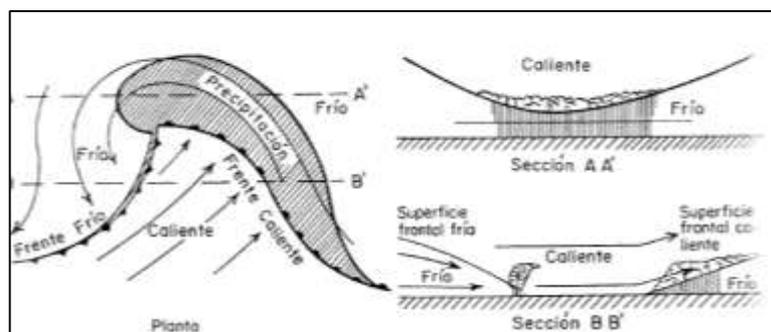
“Para que se origine la precipitación es necesario que una parte de la atmosfera se enfríe hasta que el aire se sature con el vapor de agua, originándose la condensación del vapor atmosférico.

El enfriamiento de la atmosfera se logra por la elevación del aire, De acuerdo con la condición que provoca dicha elevación, la precipitación

puede ser por convección, orográfica y ciclónica”. Rolando Springald G, Hidrología I.

A continuación se muestran los tipos de precipitaciones:

- **Precipitación por convección.**-Al elevarse masas de aire ligero y encontrarse con masas de aire frío, dichas masas se expanden y se enfrían generando su condensación y a la vez la precipitación.
- **Precipitación orográfica.**- Es la que se produce al elevarse el aire con movimiento horizontal y chocar contra una barrera montañosa.
- **Precipitación frontal.**- Se produce cuando el aire frío se mueve sobre el aire caliente o el aire caliente sobre el aire frío, en la figura 1.4 se muestra de acuerdo al corte A-A` como la masa de aire caliente al avanzar por el aire frío levanta al caliente formándose un frente caliente y en el corte B-B`, como el aire frío desplaza al aire caliente, originándose un frente frío.



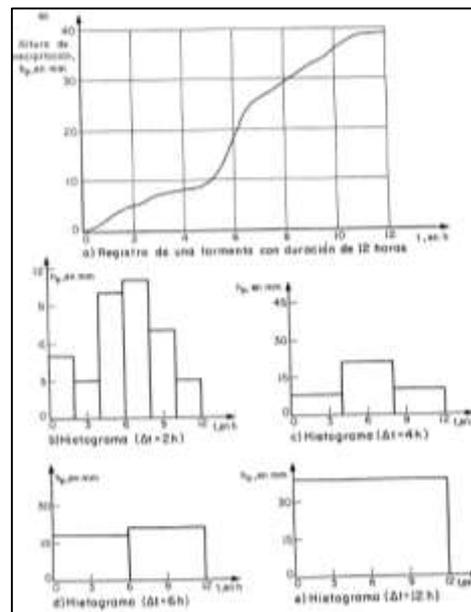
**Figura 1.4.**-Idealización de un Ciclón extratropical **Fuente:** Hidrología I, Rolando Springald G.

#### 1.5.4.1 ANÁLISIS DE REGISTROS DE PRECIPITACIONES.

Las precipitaciones son registradas por Pluviómetros, los cuales registran una lluvia de 24 Horas y los Pluviógrafos que marcan un registro constante de lluvias, cabe indicar que los dos equipos de medición lo realizan para el punto donde están ubicados, es decir los datos que se obtienen son puntuales pero para el efecto de análisis de una Cuenca se requiere conocer la lluvia media y se pueden utilizar los datos de la estación más cercana al proyecto.

Dichos registros pueden ser transformados y se pueden obtener hietogramas de lluvias medidas para la zona.

En la figura 1.5, se muestra un esquema de la obtención de hietogramas para lluvias de diseño para una cuenca.



**Figura 1.5.-**Ejemplo de la obtención de un hietograma de una tormenta. **Fuente:** Hidrología I, Rolando Springald G.

Para realizar el cálculo de las lluvias medias se utilizan 3 metodologías:

- **Media Aritmética.**- Es obtener el promedio de todas las alturas de precipitación registradas en las estaciones de análisis:

$$hp(prom) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n h_{pi}$$

- **Polígonos de Thiessen.**- Este método consiste en determinar las estaciones pluviométricas que se encuentren en la cuenca, y se las une entre sí con líneas rectas formando triángulos, luego se trazan líneas que se bisecten cada lado del triángulo y se forman los polígonos denominados de Thiessen, finalmente se calcula la precipitación media con la fórmula:

$$hp(prom) = \frac{1}{At} \sum_{i=1}^n Ai * h_{pi}$$

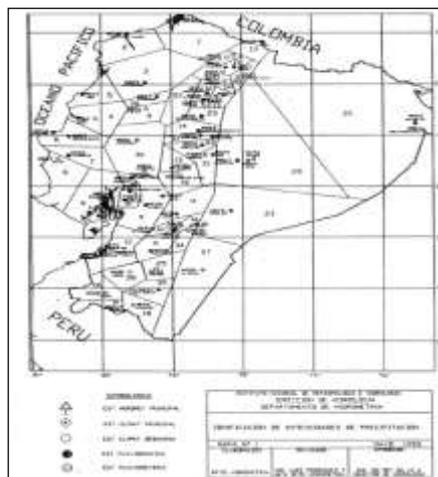
- **Método de las Isoyetas.**- Este es el método más preciso, ya que considera la topografía de la cuenca, se debe trazar curvas de igual precipitación, de la misma forma que se hace para estimar las curvas de nivel de un levantamiento topográfico, se toma como puntos fijos los valores de cada estación de la cuenca y se construyen, por interpolación, líneas de igual precipitación, de tal forma que las líneas se las denomina isoyetas, con las cuales además de calcular el valor medio de la precipitación se puede tener de manera gráfica la distribución de las precipitaciones en la zona.

La precipitación media se calcula en forma similar que con el método de los polígonos de Thiessen, pero ahora el peso es el área  $A_i$  entre cada dos isoyetas y el parteaguas de la cuenca y la cantidad que se pesa es la altura de precipitación promedio entre las dos isoyetas,  $h_{pi}$ , mediante la fórmula:

$$hp(prom) = \frac{1}{A_t} \sum_{i=1}^n (A_i * h_{prom_{pi}})$$

- Donde:
- $hp(prom)$  = Altura de precipitación
  - $A_t$  = Área total de la cuenca
  - $A_i$  = Área de influencia de la precipitación
  - $A_i$  = Áreas consideradas
  - $n$  = Número de estaciones

En el Ecuador se han realizado correlaciones y está establecido el plano con las Isoyetas, en el Anexo B, se adjunta el plano antes mencionado y en la figura 1.6 el plano de la zonificación de intensidades del INAMHI.



**Figura 2.6.-** Plano de Zonificación de Intensidades de Precipitación **Fuente:** INAMHI.

#### **1.5.4.2 CURVAS DE INTENSIDAD-DURACIÓN-FRECUENCIA.**

Las curvas intensidad – duración – frecuencia, relacionan la intensidad de la lluvia, la duración de la misma y la frecuencia con la que se puede presentar, es decir su probabilidad de ocurrencia o el periodo de retorno.

La intensidad está dada por la siguiente ecuación:

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

Donde:  $i$  = Intensidad, mm/h

$P$  = Profundidad, mm

$Td$  = Está en función del tiempo de retorno, horas.

En el Ecuador se han realizado correlaciones y esté establecido ecuaciones de intensidad para las diferentes zonas del Ecuador.

#### **1.5.5 HIETOGRAMA DE DISEÑO.**

Para la ejecución de los modelos hidrológicos es necesario conocer la evolución de la máxima lluvia en el tiempo, por lo cual se realiza el Hietograma de diseño, que relaciona la distribución en el tiempo, de las tormentas observadas.

Una de las maneras de obtenerlo es a partir de las curvas IDF, dentro de ellas una de las maneras más sencilla es mediante el Método del Bloque Alterno, (Alternating block method, Chow et al).

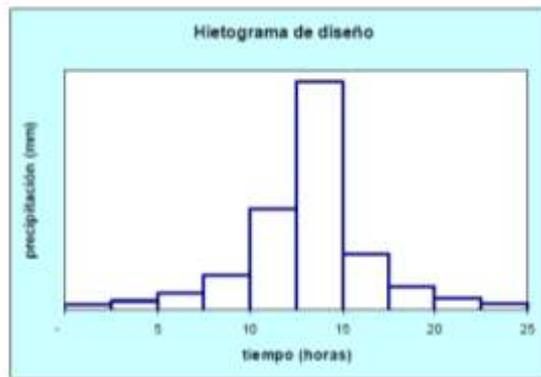
#### **1.5.5.1 MÉTODO DEL BLOQUE ALTERNO**

El método del bloque alternativo, es una teoría desarrollada para crear un hietograma de diseño, utilizando como base las curvas-duración-frecuencia. El hietograma de diseño especifica la profundidad de la precipitación en “n” intervalos de tiempo sucesivos de duración  $D_t$ , sobre una duración total de

$$T_d = n * D_t.$$

“Después de seleccionar el periodo de retorno de diseño, la intensidad es leída en una curva IDF para cada una de las duraciones  $D_t$ ,  $2D_t$ ,  $3D_t$ ,  $4D_t$ , y la profundidad de precipitación correspondiente se encuentra al multiplicar la intensidad y la duración. Tomando diferencias entre valores sucesivos de profundidad de precipitación, se encuentra la cantidad de precipitación que debe añadirse por cada unidad adicional de tiempo  $D_t$ .

Estos incrementos o bloques se reordenan en una secuencia temporal de modo que la intensidad máxima ocurra en el centro de la duración requerida  $T_d$  y que los demás bloques queden en orden descendente alternativamente hacia la derecha y hacia la izquierda del bloque central para formar el hietograma de diseño”, Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje Perú, ver figura 1.7.



**Figura 1.7.-** Esquema del hietograma de Diseño **Fuente:**Manual de Hidrología Hidráulica y Drenaje, Perú.

### 1.5.6 ESCURRIMIENTO.

El escurrimiento es el agua proveniente de la precipitación que aparece en las corrientes fluviales superficiales, perennes, intermitentes o efímeras, también se puede considerar el agua que se infiltra y circula en bajo la superficie terrestre, y que regresa al mar o a los cuerpos de agua interiores.

El escurrimiento se puede dividir en:

Escurrimiento superficial o esorrentía. Una vez que se presenta la precipitación, el suelo se satura y se rellenan las hoquedades existentes, una vez realizado dicho proceso el agua comienza a escurrirse sobre el suelo, hasta llegar a los cauces de los ríos.

Escurrimiento subsuperficial. Es la parte del agua que se infiltra hacia el interior del suelo, en forma paralela al mismo y cercano a la superficie del relieve topográfico, a dicho escurrimiento se lo considera como capa freática

Escurrimiento subterráneo. Es aquél que se presenta en niveles inferiores a la capa freática, y generalmente descarga a las corrientes fluviales.

A la parte de la precipitación que contribuye directamente al escurrimiento superficial se le llama precipitación en exceso, el agua proveniente de la escorrentía subterránea es la que tarda más en llegar a la salida de la cuenca.

La importancia de conocer el tipo de escurrimiento que se presenta en una cuenca es evaluar el comportamiento de la misma ante una tormenta, ya que se puede determinar la magnitud de la avenida de diseño.

### **1.5.7 INFILTRACIÓN Y PÉRDIDAS**

La infiltración es el proceso por medio del cual el agua penetra a través de la superficie del suelo y hacia adentro del mismo, a las capa de aguas freáticas.

La diferencia entre el volumen de agua que llueve en una cuenca y el que escurre por su salida recibe el nombre de pérdidas, las cuales se producen por el follaje de las plantas, en los techos de las construcciones,

la retención en depresiones o charcos (que posteriormente se evapora o se infiltra), dichos procesos son conocidos como la evaporación y la infiltración.

“La infiltración es un factor importante en la relación lluvia-escurrimiento y, por lo tanto, en los problemas de diseño y predicción asociados a la dimensión y operación de obras hidráulicas. En general, el volumen de infiltración es varias veces mayor que el de escurrimiento durante una tormenta dada, especialmente en cuencas con un grado de urbanización relativamente bajo. Sin embargo, la infiltración recibe poca atención por parte de los ingenieros proyectistas, quizá por la falta de herramientas adecuadas para su tratamiento”, (Plaza Javier, 2013).

A continuación se muestran los factores que influyen en la infiltración del agua:

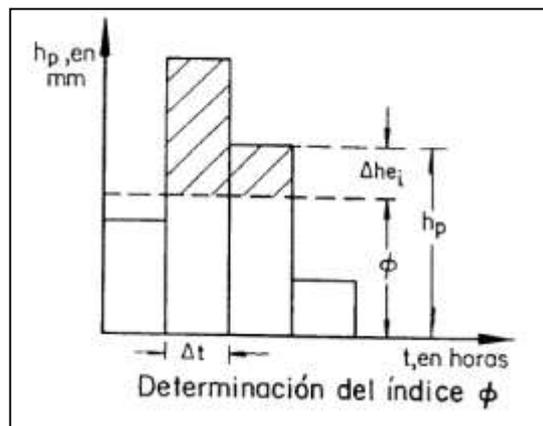
- a) Textura del suelo.
- b) Contenido de humedad inicial.
- c) Contenido de humedad de saturación.
- d) Cobertura vegetal.
- e) Uso del suelo.
- f) Aire atrapado.
- g) Lavado de material fino.

h) Compactación.

i) Temperatura, sus cambios y diferencias.

### 1.5.7.1 MÉTODO PARA EL CÁLCULO DE INFILTRACIÓN.

**Índice de infiltración media.**- Es la intensidad de lluvia media sobre la cual el volumen de lluvia es igual al del escurrimiento directo observado, en la figura 1.8 se muestra para determinar el esquema del índice de infiltración media.



**Figura 1.8.-** Esquema de la precipitación media **Fuente:** Hidrología I, Rolando Springald G.

El  $\phi$  se tendrá cuando:

$$\sum \Delta hei = he$$

Donde:

Hei lluvia en exceso, deducida del volumen de escurrimiento directo,  $V_e$ , dividido entre el área de la cuenca.

$\Delta h_{ei}$ : lluvia en exceso en un intervalo de tiempo  $\Delta t_i$ , deducido del hietograma de tormenta.

### 1.5.8 PERIODO DE RETORNO

Es el número de años en que se espera se repita el valor del caudal pico de una creciente determinada, para seleccionar el período de retorno que se utilizará en el diseño de una obra, es necesario considerar la relación entre la probabilidad de excedencia de un evento extremo, la vida útil de la estructura y el riesgo de falla admisible, lo cual está en base a factores económicos, sociales, técnicos y otros.

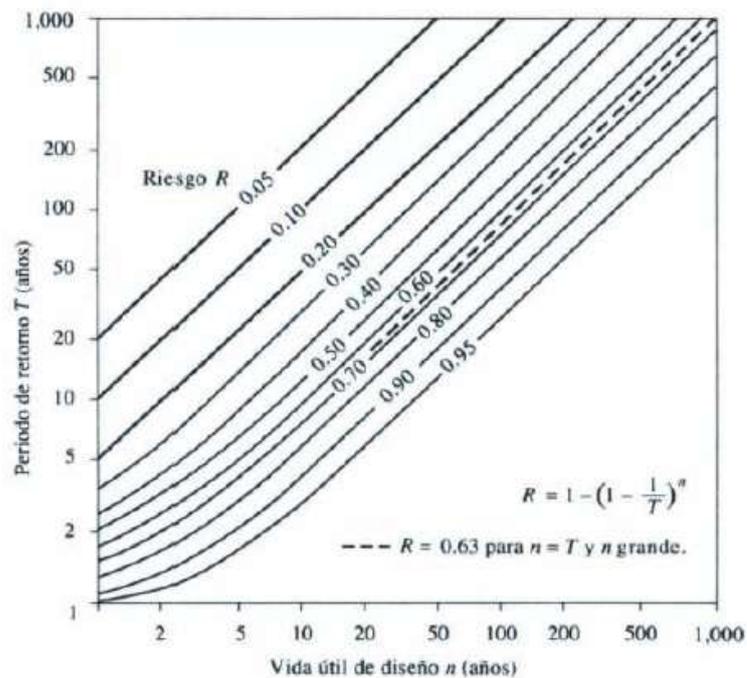
Existe un factor denominado riesgo que es considerado como el riesgo que se desea asumir por el caso de que la obra llegase a fallar dentro de su tiempo de vida útil, lo cual implica que no ocurra un evento de magnitud superior a la utilizada en el diseño durante el tiempo de vida útil de obra.

El riesgo de falla admisible en función del período de retorno y vida útil de la obra está dado por:

$$R = 1 - (1 - 1/T)^n \quad (1)$$

Si la obra tiene una vida útil de  $n$  años, la fórmula anterior permite calcular el período de retorno  $T$ , fijando el riesgo de falla admisible  $R$ .

En la figura 1.9 se muestra las curvas de correlaciones para el riesgo de por lo menos una excedencia del evento de diseño durante la vida útil.



**Figura 1.9.** Riesgo de por lo menos una excedencia del evento de diseño durante la vida útil **Fuente:** Hidrología Aplicada (Ven te Chow).

Para el diseño de las obras de drenaje se proponen los periodos de retorno que se muestra en la tabla 1.2

TIPO DE OBRA	PERIODO DE RETORNO (AÑOS) <sup>1</sup>
Cunetas	5
Zanjas de Coronación <sup>1</sup>	10
Estructuras de Caída <sup>2</sup>	10
Alcantarillas de 0.90 m de diámetro	10
Alcantarillas mayores a 0.90 m de diámetro	20
Puentes menores (luz menor a 10 m)	25
Puentes de luz mayor o igual a 10 m y menor a 50 m	50
Puentes de luz mayor o igual a 50 m	100
Drenaje subsuperficial	2

Notas: <sup>1</sup> El periodo de retorno de diseño de las obras podrá variarse, a juicio del ingeniero Consultor, para casos especiales, debidamente justificados.

<sup>2</sup> En caso de que los taludes de corte de la vía sean inestables se podrá incrementar este periodo de retorno, a juicio del ingeniero Consultor.

**Tabla 1.2.-** Periodos de retorno de diseño para obras de drenaje vial

**Fuente:** Manual de Drenaje Invias-Colombia.

### 1.5.9 RELACIONES LLUVIA-ESCURRIMIENTO

Los modelos lluvia – escurrimiento, se utilizan cuando no existen datos directos de caudales de drenaje en cuencas hidrológicas, los modelos que se utilizan son modelos directos que calculan la escorrentía superficial del agua.

“Por lo que a partir de datos históricos de lluvia de corta duración, existentes en la cuenca de interés y representativos de ella, aplicados a la cuenca hidrográfica con características específicas geométricas, de suelos, vegetación, etc., se calcula el caudal máximo instantáneo de escurrimiento superficial sobre ella utilizando los siguientes métodos”. Manual de Drenaje Invias Colombia, pag.2-36.

- Método Racional

- Método del Hidrograma de escorrentía superficial

### 1.5.9.1 METODO RACIONAL.

Este método desarrollado por Lloyd-George en 1.906, permite a través de datos históricos de lluvia de corta duración, existentes en la cuenca de interés determinar el caudal máximo que pasará por una determinada sección de la red de alcantarillado, lo cual considera que el caudal se producirá para una lluvia de intensidad media máxima constante correspondiente a una duración D igual al tiempo de concentración de la sección, éste método se utiliza para cuencas de Área < 10 Km<sup>2</sup>.

La descarga máxima de diseño, según esta metodología, se obtiene a partir de la siguiente expresión:

$$Q = 0.278 * CIA$$

Donde:

Q= Descarga máxima de diseño

C= Coeficiente de escorrentía

I = Intensidad de precipitación máxima horario (mm/h)

A= Área de la cuenca (Km<sup>2</sup>).

Para aplicar la fórmula del Método se debe conocer el coeficiente de escorrentía, en la tabla 1.3 y 1.4 se muestran valores típicos aplicables a zonas urbanas y rurales.

VEGETACIÓN Y TOPOGRAFÍA Y	TEXTURA DEL SUELO		
	FRANCO ARENOSO	FRANCO LIMO ARCILLOSO	ARCILLOSO
<b>BOSQUES</b>			
Plano	0.10	0.30	0.40
Ondulado	0.25	0.35	0.50
Montañoso	0.30	0.50	0.60
<b>PASTOS</b>			
Plano	0.10	0.30	0.40
Ondulado	0.16	0.36	0.55
Montañoso	0.22	0.42	0.60
<b>TIERRAS CULTIVADAS</b>			
Plano	0.30	0.50	0.60
Ondulado	0.40	0.60	0.70
Montañoso	0.52	0.72	0.82

Nota: Plano (pendiente: 0 - 5%); Ondulado (pendiente: 5 - 10%); Montañoso (pendiente: 10 - 30%). Para valores mayores al 30 %, a falta de datos, utilizar los valores para pendientes entre el 10 y el 30 %.

**Tabla 1.3.-** Valores de escorrentía en zonas rurales **Fuente:** Manual de Drenaje Invias-Colombia.

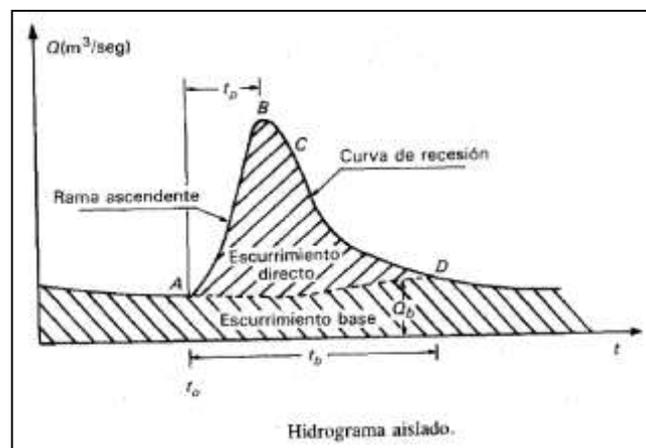
TIPO DE ÁREA DE DRENAJE	COEFICIENTE DE ESCORRENTÍA C
<b>PRADOS</b>	
Suelos arenosos, planos, 2%	0.05 - 0.10
Suelos arenosos, promedio, 2 -7 %	0.15 - 0.20
Suelos pesados (arcillosos), planos, 2%	0.13 - 0.17
Suelos pesados (arcillosos), promedio, 2 -7 %	0.18 - 0.22
Suelos pesados (arcillosos), pendientes, 7%	0.25 - 0.35
<b>DISTRITOS COMERCIALES</b>	
Áreas de centro de ciudad	0.70 - 0.95
Áreas vecinas	0.50 - 0.70
<b>RESIDENCIAL</b>	
Casas individuales separadas	0.30 - 0.50
Casas multifamiliares separadas	0.40 - 0.60
Casas multifamiliares unidas	0.60 - 0.75
Suburbana	0.25 - 0.40
Áreas de apartamentos de vivienda	0.50 - 0.70
<b>INDUSTRIAL</b>	
Áreas livianas	0.50 - 0.80
Áreas pesadas	0.60 - 0.90
PARQUES CEMENTERIOS	0.10 - 0.25
CAMPOS DE JUEGOS	0.20 - 0.35
ÁREAS DE PATIOS DE FERROCARRILES	0.20 - 0.40
ÁREAS NO DESARROLLADAS	0.10 - 0.30
<b>CALLES</b>	
Asfaltadas	0.70 - 0.95
Concreto	0.80 - 0.95
Ladrillo	0.70 - 0.85
CALZADAS Y ALAMEDAS	0.75 - 0.85
TECHOS	0.75 - 0.95

**Tabla 1.4.-** Valores de escorrentía en zonas rurales **Fuente:** Manual de Drenaje Invias-Colombia.

### 1.5.9.2 METODO DEL HIDROGRAMA

La definición de un hidrograma es la siguiente:

Los hidrogramas son gráficos que permiten determinar la variación del caudal en el tiempo, el cual puede variar de horas a años. En la figura 1.10 se observa las partes de un Hidrograma Unitario.



**Figura 1.10.-** Esquema de un hidrograma, **Fuente:** Hidrología Aplicada (Ven te Chow).

Punto A.- Es cuando se inicia la precipitación cierta parte es captada por los obstáculos superficiales y posteriormente se infiltra cierta cantidad y una vez excedida la capacidad de infiltración se inicia la esorrentía superficial directa es decir seria el caudal inicial.

Punto B.- Es el caudal máximo que se produce en una tormenta.

Punto C.-Es el punto de inflexión que marca el descenso del hidrograma, es decir marca el fin de la escorrentía superficial.

Punto D.-Indica la terminación de la escorrentía superficial.

Tp.-Es el tiempo en que se produce el máximo caudal.

Tb.-Es el tiempo que transcurre desde que inicia la escorrentía directa hasta que termina.

### **1.5.9.3 MÉTODO DEL HIDROGRAMA UNITARIO**

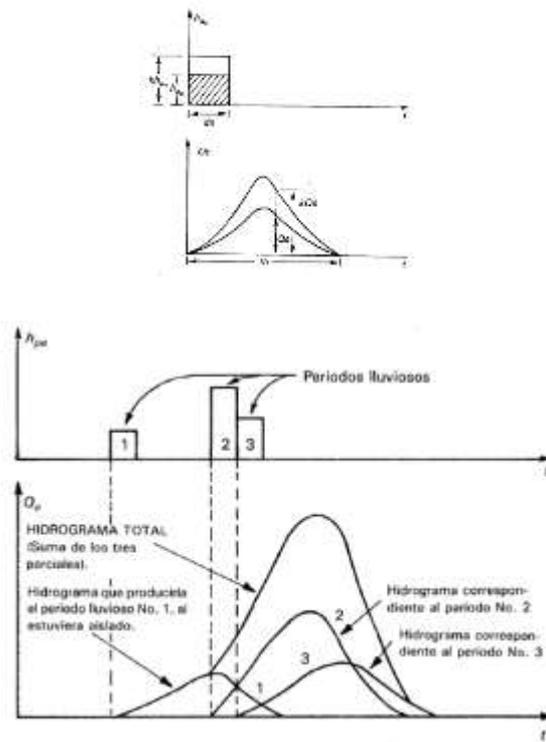
Se define como el hidrograma de escurrimiento directo, al que se produce por una lluvia efectiva o en exceso ( $h_e$ ) de lámina unitaria (1 mm, 1 cm, 1 pulg, etc), duración de y repartida uniformemente en la cuenca.

Las características de una tormenta que intervienen en un hidrograma unitario son: La duración de la lluvia, el patrón intensidad – tiempo, la distribución espacial de la lluvia y la cantidad de escorrentía.

El método del hidrograma unitario fue desarrollado originalmente por Sherman en 1932, y está basado en las siguientes hipótesis:

- a) “Tiempo base constante. Para una cuenca dada, la duración total de escurrimiento directo o tiempo base es la misma para todas las tormentas con la misma duración de lluvia efectiva, independientemente del volumen total escurrido. Todo hidrograma unitario está ligado a una duración de la lluvia en exceso.
  
- b) Linealidad o proporcionalidad. Las ordenadas de todos los hidrogramas de escurrimiento directo con el mismo tiempo base, son directamente proporcionales al volumen total de escurrimiento directo, es decir, al volumen total de lluvia efectiva. Como consecuencia, las ordenadas de dichos hidrogramas son proporcionales entre sí.
  
- c) Superposición de causas y efectos. El hidrograma que resulta de un periodo de lluvia dado puede superponerse a hidrogramas resultantes de periodos lluviosos precedentes”. (Sherman,1932).

En la figura 1.11 se muestra el esquema del hidrograma unitario.



**Figura 1.11.-** Esquema del Hidrograma unitario **Fuente:** Manual de Drenaje Invias-Colombia

El proceso de obtención de hidrogramas unitarios a partir de registros naturales de caudales es el siguiente:

- ✓ Separar el flujo base de la escorrentía directa.
- ✓ Determinar el volumen de escorrentía directa.
- ✓ Las ordenadas del hidrograma de escorrentía directa se dividen por la profundidad de escorrentía observada.
- ✓ Las ordenadas ajustadas forman el hidrograma unitario.

#### 1.5.9.4 HIDROGRAMA UNITARIO SINTETICO SCS

Este método desarrollado por Snyder, se obtiene usando las características fisiográficas y parámetros de la cuenca, representando un hidrograma representativo del fenómeno hidrológico de la cuenca, para determinar el caudal pico para diseñar.

Con base en la revisión de un gran número de Hidrogramas Unitarios, el SCS sugiere este hidrograma donde el tiempo está dado en horas y el caudal en m<sup>3</sup>/s.cm. El volumen generado por la separación de la lluvia en neta y abstracciones es propagado a través del río mediante el uso del hidrograma unitario.

El tiempo de recesión o retardo,  $t_r$ , puede aproximarse a:

$$T_r = 1.67T$$

Como el área bajo el HU debe ser igual a una escorrentía de 1 cm, puede demostrarse que:

$$qp = \frac{2.08A}{T_p}$$

Donde:

A=Área de Drenaje (Km<sup>2</sup>)

T<sub>p</sub>= Tiempo de ocurrencia del pico en horas.

Adicionalmente, un estudio de muchas cuencas ha demostrado que:

$$T_p = 0.6t_c$$

Como el área bajo el HU debe ser igual a una escorrentía de 1 cm, puede demostrarse que:

Donde:

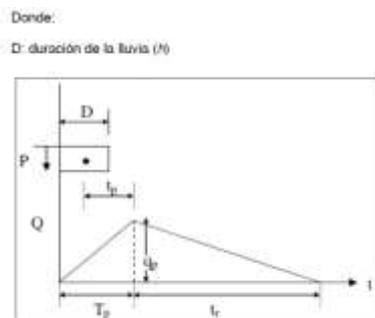
$T_p$  = Tiempo de retardo (entre el centroide del hidrograma y el pico del caudal) h

$T_c$  = Tiempo de concentración de la cuenca

El tiempo de ocurrencia del pico  $T_p$ , puede expresarse como:

$$T_p = \frac{D}{2} + t_p$$

En la figura 1.11 se muestra el esquema del hidrograma sintético.



**Figura 1.11.-Esquema del Hidrograma Unitario Triangular Fuente: Hidrología Aplicada (Ven te Chow)**

### **1.5.9.5 MODELO HIDROLÓGICO HEC-HMS**

El Modelo Hidrológico HEC-HMS, es una aplicación desarrollada por el Centro de Ingeniería Hidrológica (HEC-Hydrologic Engineering Center) del Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos (US Army Corps of Engineers), el cual tiene como finalidad simular el comportamiento que tendría la cuenca de un río en su escurrimiento superficial, como producto de la precipitación, mediante la representación de la cuenca como un sistema que correlaciona los componentes hidrológicos e hidráulicos.

Cada componente modela un aspecto del proceso de escurrimiento por precipitaciones dentro de una parte de la cuenca comúnmente referida como una subcuenca. Un componente puede representar una identidad de escurrimiento superficial, un canal de flujo o embalse.

La representación de un componente requiere un conjunto de parámetros que especifican las características particulares de la cuenca y las relaciones matemáticas que describen el proceso físico. El resultado del proceso del modelaje es el cálculo de los hidrógrafos del flujo en sitios elegidos de la cuenca del río además hidrogramas unitarios por diferentes métodos.

Para poder utilizar este programa se debe disponer de la siguiente información:

Características de la precipitación, la intensidad se obtiene de las curvas I-d-T (Intensidad, duración, período de retorno), o puede ajustarse

utilizando los procedimientos mencionados anteriormente. Es importante señalar que las precipitaciones parciales deben introducirse en intervalos fijos.

Características de la cuenca (área, forma, longitud del cauce principal, centro de gravedad, pendiente media del terreno, cobertura vegetal, tipo de prácticas de pastoreo, tipos de precipitación).

Cuando se usa el HEC – HMS uno debe juntar los elementos que componen el sistema.

### **COMO FUNCIONA EL HEC-HMS?**

El programa incluye una interfaz gráfica para el usuario, que permite introducir la información necesaria para una simulación, manejar los componentes de análisis hidrológico a través de módulos integrados, y obtener respuestas gráficas o tabuladas de fácil comprensión e impresión.

El documento de ayuda incorporado en el programa aclara la utilización de las opciones del programa.

Los archivos de extensión DSS (Data Storage System) se utilizan para almacenar y trabajar con series de tiempo, funciones emparejadas y datos de grilla en una forma muy transparente para el usuario.

Para definir la estructura de las cuencas, el programa considera los siguientes elementos:

1. Subcuencas (subbasins)
2. Tramos de tránsito (routing reach)
3. Uniones (junctions)
4. Embalses (reservoirs)
5. Fuentes (Sources)
6. Sumideros (sinks)
7. Derivaciones (diversions)

Con estos siete componentes, se puede elaborar una cuenca tan compleja como requiera el problema que está tratando y como permita la información de campo disponible. Si se cuenta con información digital de campo, el HMS incluye la opción de trabajar la cuenca con subdivisiones en grillas o celdas, cada una de las cuales almacena información pertinente respecto a la precipitación, área, pendientes y condición de humedad del suelo, los elementos anteriores se disponen en forma de redes dendríticas con un orden o secuencia lógica para realizar los cálculos desde las subcuencas que conforman las cabeceras aguas arriba hasta el punto de salida de todo el caudal aguas abajo.

Por lo que se debe prestar atención a este criterio, ya que los cálculos siguen rigurosamente esta secuencia (por ejemplo si tienen en cuenta una derivación no pueden entregar las aguas derivadas en un punto aguas arriba, aunque técnicamente esto sea factible).

Por tal motivo, el primer paso en la preparación de la información consiste en definir correctamente la estructura de la cuenca que se pretende simular.

El programa trabaja con tres módulos básicos que definen en su conjunto el proyecto de simulación de la cuenca:

1. Módulo de precipitación: permite seleccionar uno de seis patrones de precipitación (tipos de hietogramas) del evento de tormenta que más se ajuste a las posibles condiciones de la cuenca, incluyendo la introducción manual de los datos de la lluvia de diseño.
2. Módulo de la cuenca: permite la representación del sistema físico con los elementos antes citados, y la inclusión de las características morfométricas y de condición del suelo para cada uno de ellos. Así, cada componente incluye la información necesaria para construir la hidrógrafa total de salida.
3. Módulo de control: incluye las fechas de inicio y culminación de los datos de lluvia y caudal para la simulación (u optimización) y los intervalos de tiempo para realizar los cálculos.

Como resultado se tiene el grafico del hidrograma unitario, requerido para la modelación hidráulica del puente.

## **1.6 MODELO HIDRÁULICO**

Para realizar el modelo Hidráulico se debe conocer los siguientes conceptos:

### **1.6.1 HIDRÁULICA**

La Hidráulica es la ciencia que estudia el comportamiento mecánico de los líquidos.

#### **1.6.1.1 HIDRAULICA FLUVIAL**

La Hidráulica Fluvial, combina los conceptos de Hidrología, Hidráulica General, Geomorfología y Transporte de sedimentos, con la finalidad de estudiar las características del flujo en las corrientes naturales en lo que se refiere a caudales, niveles medios y extremos, velocidades de flujo, variaciones del fondo por socavación y sedimentación, capacidad de transporte de sedimentos y ataques contra las márgenes, y tienen una participación importante en el diseño de las estructuras hidráulicas que se construyen en los cauces o cerca de ellos.

Las obras de arte, a las que es necesario previo a su construcción realizar la modelación hidráulica son las siguientes:

Obras de Desviación, Presas de Embalse, Vertederos, Conducciones, Descarga de alcantarillados de Aguas Lluvias y de Aguas Negras, Muros de Contención, Obras de Encauzamiento, Puentes, Box-Culverts, Tablestacados, Pilotes, Revestimiento de Taludes, Empedrados, Acorazamiento del Lecho, Cruces Subfluviales, Puentes, entre otros.

### 1.6.2 TIPOS DE FLUJO

Generalmente las estructuras hidráulicas que se construyen a lo largo de las vías, están sujetas a la presión atmosférica ya que funcionan como superficies libres o canales abiertos, por lo cual dependiendo de factores se pueden presentar varios tipos de flujos como se muestran a continuación:

**Flujo permanente y no permanente.-** El flujo es permanente cuando la velocidad media de una sección se mantiene constante con el tiempo y no permanente es cuando no cumple con esta condición, como ejemplo se tendría el flujo que transita por bordillos o cunetas.

**Flujo uniforme y variado.-**El flujo uniforme se presenta cuando la velocidad media del flujo permanece constante en cualquier sección del canal, es decir que su área hidráulica y tirante son constante en el espacio, con el flujo variado es cuando ocurre lo contrario.

En la figura 1.12, se muestra un esquema de flujo uniforme

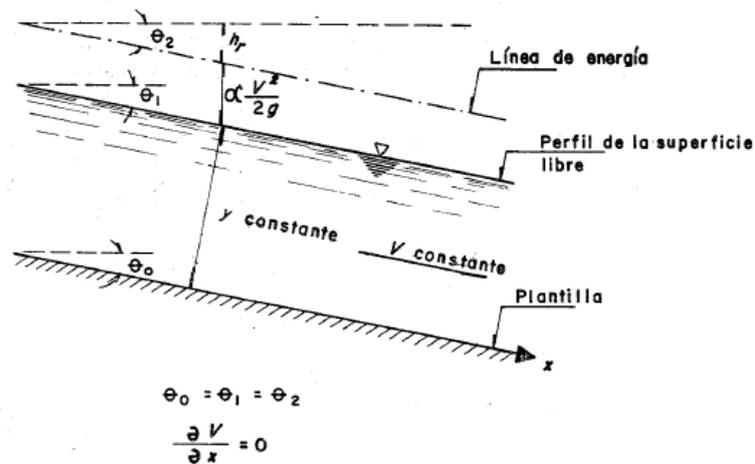


Figura 1.12.-Esquea del Flujo Uniforme **Fuente:** Hidráulica I

**Flujo Laminar y Turbulento.**-El movimiento del agua en un canal, se rige por la importancia de las fuerzas viscosas o de gravedad, respecto de la inercia. La tensión superficial del agua afecta el comportamiento en el caso de velocidad y tirante o sección transversal pequeña.

En relación con el efecto de la viscosidad, el flujo puede ser laminar, de transición o turbulento, de manera semejante a los conductos a presión. La importancia de la fuerza de inercia respecto de la viscosa, ambas por unidad de masa, se mide por el número de Reynolds, definido de la siguiente manera:

$$R_e = \frac{V R_h}{\nu}$$

Donde:

$R_h$  = Radio Hidráulico de la sección m

$V$  = Velocidad media en la sección, m/sg

$\nu$  = Viscosidad cinemática del agua en  $m/sg^2$

En canales se han comprobado resultados semejantes a los de los conductos a presión, por lo que se asume:

Flujo laminar, cuando  $Re \leq 500$

Flujo de transición, cuando  $500 \leq Re \leq 12500$

Flujo turbulento, cuando  $Re \leq 12500$

Las diferencias entre estos valores y los que se manejan en conductos circulares a presión se deben a que  $Re$  en los últimos, se define con el diámetro  $D$  en lugar del radio hidráulico, y siendo  $R_h = D/4$ , los intervalos cambian en la misma proporción.

**Flujo subcrítico y supercrítico.**-La importancia de la fuerza de inercia respecto de la de gravedad es que ambas por unidad de masa, se mide a través del número de Froude, definido de la siguiente manera:

$$F = \frac{V}{\sqrt{(g \cos \theta / \alpha) \left(\frac{A}{T}\right)}} = \frac{V}{\sqrt{g' A/T}}$$

Donde

$g' = g \cos \theta / \alpha$

$g$  = aceleración de gravedad en  $m/s^2$

A = área hidráulica de la sección en m<sup>2</sup>

T = ancho de superficie libre de la sección en m

V = Velocidad media de la sección en m/s

$\alpha$  = coeficiente de corrección de la energía cinética adimensional

$\Theta$  = ángulo de inclinación de la plantilla respecto a la horizontal

El término  $A/T$ , es también tirante hidráulico y solo en canales rectangulares es igual al tirante.

Entonces el Número de Froude está dado por

$$F = \frac{V}{\sqrt{g A/T}}$$

Cuando  $F=1$ , el flujo es en régimen crítico.

Cuando  $F<1$ , el régimen es subcrítico, se presenta cuando el flujo ocurre con poca velocidad.

Cuando  $F>1$ , el régimen es supercrítico, la fuerza de inercia domina sobre la gravedad, es decir que el flujo a gran velocidad.

### 1.6.3 TIPOS DE CAUCE

Meandros. El cauce es único pero en forma de curvas. La ondulación en planta se acompaña de una asimetría en las secciones transversales.

Cauces trenzados. Los ríos que presentan cauces trenzados se caracterizan por formar cauces secundarios en el interior del cauce principal. Estos cursos presentan pendientes fuertes, gran transporte sólido y lechos de material grueso.

Efectos de remanso, que es cuando una corriente de líquido se frena por algún motivo, como el llegar a un bloqueo de la corriente, y se produce una sobre elevación del tirante. esta sobre elevación podrá ser suave(remanso) o brusca(resalto).

#### **1.6.4 ECUACIONES FUNDAMENTALES DE LA HIDRÁULICA**

Estas ecuaciones son importantes debido a que se puede plantear un modelo matemático y científico que permita diseñar las estructuras, los principales teoremas son: Teorema de Bernoulli y el Teorema de la Cantidad de Movimiento, además se pueden utilizar ecuaciones empíricas como las de Yarnell o Brandley.

A continuación se muestran dichas teorías, tomado de la tesis de grado de Galisteo del Río, Rubén (2004)

##### **1.6.4.1 TEOREMA DE BERNOULLI**

El principio en el que se basa el teorema de Bernoulli es el de la conservación de la energía.

En el teorema de Bernoulli se identifica los intercambios de energía producidos en un tubo de flujo, utilizando como unidad de magnitud la energía por unidad de peso.

Así pues, la energía por unidad de peso en una sección de un tubo de flujo viene dada por el trinomio de Bernoulli como se muestra:

$$H = z + y + \frac{\alpha * v^2}{2 * g}$$

Donde:

- z: es la altura del cauce respecto al plano horizontal de referencia.
- y: es el calado.
- $\alpha$ : es el coeficiente de Coriolis que tiene en cuenta la distribución transversal de velocidades. Dicho coeficiente tendrá un valor muy próximo a 1 si el flujo es turbulento, alcanzando un máximo de 2 si el flujo es laminar. Sin embargo, en la mayoría de los problemas de hidráulica los flujos son turbulentos y es común considerar  $\alpha \approx 1$ , suponiendo así que en el cálculo son más importantes otros factores (de índole estimativa) que el error que por esta aproximación pueda cometerse.
- v es la velocidad del fluido.

Al comparar el trinomio de Bernoulli entre dos secciones distintas de un tubo de flujo deberemos tener en cuenta las pérdidas de energía que se puedan producir entre estas dos secciones.

Estas pérdidas de energía son de dos tipos:

a) Pérdidas por rozamiento a lo largo del tubo de flujo (pérdidas continuas):

$$\Delta H_c = I \cdot L$$

Donde:

- I es la pendiente motriz
- L es la longitud de la trayectoria.

$$I = \frac{n^2 * v^2}{Rh^{\frac{4}{3}}}$$

Donde:

- n es el coeficiente de rugosidad de Manning ver tabla 1.5
- Rh= Radio hidráulico del cauce.

- **EVALUACIÓN DEL COEFICIENTE DE MANNING**

Existen varios métodos para la estimación del coeficiente de Manning. Sin embargo, ante la imposibilidad de tener datos reales de campo por la gran dispersión geográfica se utilizan los datos por la tabla 1.5 de valores siguiente (Chow, V.T):

Material del cauce	n:	Min	Med	Máx
Tierra con vegetación		0.022	0.027	0.033
Excavado en roca		0.035	0.040	0.050
Riachuelos limpios		0.025	0.030	0.033
Riachuelos con cantos		0.035	0.045	0.055
Ríos de Montaña		0.040	0.050	0.070
Llanuras de inundación				
-con hierba		0.030	0.035	0.050
-con cultivos bajos		0.030	0.040	0.050
-con árboles		0.110	0.150	0.200
Grandes ríos		0.035	0.050	0.100

**Tabla 1.5.-** Coeficiente de Manning **Fuente:** Chow, V.T. 1964

#### 1.6.4.2 TEOREMA DE LA CANTIDAD DE MOVIMIENTO

Según el teorema de la cantidad de movimiento en un volumen de control de un flujo de un cauce se cumple la siguiente expresión:

$$\sum f = \frac{\gamma}{g} * Q * (v_2 - v_1)$$

Donde:

- f: son las proyecciones en la dirección del flujo de las fuerzas de volumen de control que existen en el interior del mismo.

- $\gamma$ : es el peso específico del fluido
- $g$ : es la gravedad
- $Q$ : Caudal
- $v_2$ : Es la proyección en la dirección del flujo de la velocidad de la sección de salida del volumen de control
- $v_1$ : Es la proyección en la dirección del flujo de la velocidad de la sección de entrada del volumen de control

Las fuerzas que tenemos en el volumen de control considerado son las siguientes:

- Fuerzas de rozamiento del cauce sobre el fluido
- Peso del volumen de control
- Fuerzas de presión hidrostática en las secciones extremas del volumen de control.
- Fuerzas hidrodinámicas en el obstáculo.

Para el cálculo de la fuerza de rozamiento, se utiliza la siguiente expresión:

$$R = A_r * \tau$$

Donde:

- R: Es la fuerza de rozamiento
- Ar: Es el área de contacto que produce el rozamiento
- $\tau$ : Es la tensión de corte que se obtiene mediante la siguiente expresión:

$$\tau = I * R_h * \gamma$$

Donde:

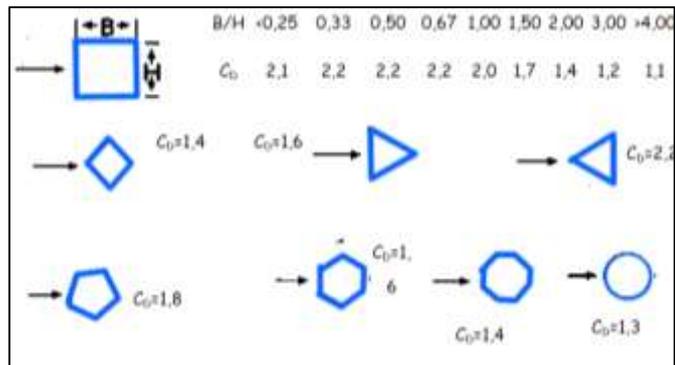
- I: Es la pendiente motriz, se calcula según la ecuación del Teorema de Bernoulli
- Rh: Es el radio hidráulico

Para el cálculo de las fuerzas hidrodinámicas, se utiliza la siguiente expresión:

$$C = \frac{\gamma * C_d * v^2 * A}{2 * g}$$

Donde:

- C: Es la fuerza hidrodinámica
- Cd: Es el coeficiente de arrastre del obstáculo ver figura 1.13
- V: Es la velocidad media del fluido
- A: Es el área que se opone al flujo.



**Figura 2.13.** Coeficientes de arrastre en función de la geometría del obstáculo, Fuente: Tesis de Grado Galisteo del Río, Rubén (2004).

### 1.6.4.3 ECUACIÓN DE YARNELL

La ecuación de Yarnell está basada en 2600 experimentos de cauces obstruidos por efecto de las pilas de diferentes puentes. Estos experimentos se llevaron a cabo entre el 1927 y el 1936 y fueron llevados a cabo por Yarnell D.L. Usó pilas muy altas y un rango de condiciones de contorno muy amplio. Los grados de obstrucción adoptados estuvieron entre 0,50 y 0,88, por lo que dicha ecuación es adaptable a nuestro estudio en estos rangos, tomando los resultados con precaución cuando la obstrucción sea inferior a 0,5.

Este método sin embargo no es sensible a la geometría de los arcos o a la geometría de los estribos. A causa de estas limitaciones el método sólo debería aplicarse a puentes cuyas pérdidas de carga vayan mayormente asociadas a las pilas.

Se escribe la ecuación de Yarnell de la siguiente manera:

$$\frac{\Delta y}{\frac{v_4^2}{2 * g}} = 2 * k(k + 10 * \left(\frac{v_4^2 * g}{y_4} - 0.6\right)) * (m + 15 * m^4)$$

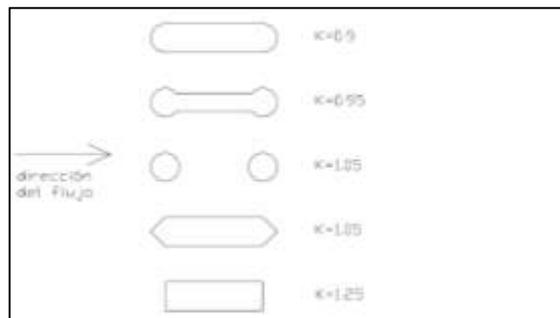
Donde:

$\Delta y$ : Sobreelevación.

$v_4$ : Velocidad en la sección 4.

$k$ : Coeficiente de forma de la pila (ver figura 1.14).

$m$ : Coeficiente de obstrucción que se define como el área obstruida entre el área total de flujo.



**Figura 1.14.** Coeficientes de forma de la pila, **Fuente:** Tesis de Grado Galisteo del Río, Rubén (2004).

De esta manera, conociendo el calado aguas abajo del puente, seremos capaces de obtener la sobreelevación que el puente provoca sobre el cauce.

#### 1.6.4.4 ECUACIÓN DE BRADLEY.

La siguiente ecuación fue propuesta por J.P. Martín Vide en su libro “Ingeniería de ríos” y es una simplificación de la ecuación algo más compleja de Bradley.

$$\Delta H = \lambda \left( \frac{v^2}{2 * g} \right)$$

Donde:

v: Q/A,

$\lambda$ : 6m<sup>2</sup>

m: Ao /A´

Donde:

Q: Es el caudal de proyecto (caudal total)

A: Es el área del vano libre (es decir, el vano de anchura b donde se pone el nivel de agua dado por el calado y4 trasladado desde aguas abajo).

A´: Es el área total de flujo

Ao: El área obstruida por el puente

Esta fórmula permite representar la reducción en la sobreelevación a medida que se va erosionando la sección del puente (aumento del área A).

### 1.6.5 DRENAJE EN CARRETERAS

Una de las obras que se utilizan en el diseño vial y que es el caso de estudio de esta tesis de grado son los puentes, los cuales constituyen uno de los principales drenajes transversales en las carreteras.

- **PUNTES**

Los puentes son las estructuras que se construyen en una carretera para cruzar un obstáculo natural, el cual puede ser el curso de una quebrada, estero o un río.

Para la construcción de un puente se debe considerar que su diseño está basado en las características del río que lo conforma, ya que los mismos son móviles y cambiantes acuerdo a su naturaleza, y al colocar un obstáculo en el cauce del río, el flujo que tanto en su caudal natural como en su comportamiento hidráulico puede variar.

Los puentes se pueden clasificar según su importancia así tendrán un estudio detallado de cada uno de sus elementos para su diseño, se tienen puentes: críticos, esenciales, importantes, utilitarios, cada uno según su ubicación geográfica y su uso, esto con la finalidad de darle mayor realce a la importancia de un buen diseño para mitigar el desastre.

#### **1.6.5.1 MODELACION HIDRÁULICA DE PUNTES: SOFTWARE HEC-RAS**

El programa HEC-RAS fue desarrollado por el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos de América, el cual permite realizar el para

análisis hidráulico unidimensional de redes de canales naturales y artificiales.

Contiene 4 módulos para el análisis unidimensional de ríos:

- 1.-Cálculo de perfiles de flujo en régimen permanente
- 2.-Simulación de flujo no permanente
- 3.-Cálculo de transporte de sedimentos y lecho móvil
- 4.-Calidad de aguas.

Con respecto al módulo de cálculo de perfiles en flujo permanente, éste se realiza bajo la condición de flujo gradualmente variado, modelando regímenes subcrítico, supercrítico y mixto. El procedimiento de cálculo se basa en la solución unidimensional de la ecuación de energía, considerando pérdidas de energía por fricción, contracción y expansión.

El programa modela, también, el efecto de obstrucciones en la red hídrica, como puentes, alcantarillas, vertederos y otras estructuras, pudiendo aplicarse para el análisis de inundaciones (en que no hay variaciones de flujo en tiempo y en espacio), mejoras en el canal, diques, entre otros.

**Datos de entrada:**

Geométricos: conectividad del sistema, secciones transversales, longitud entre tramos, coeficientes de fricción, de expansión y de contracción, información sobre unión de corrientes, estructuras hidráulicas.

Flujo permanente: régimen de flujo (subcrítico, supercrítico o mixto), condiciones de frontera, caudal pico.

Flujo no permanente: condiciones de frontera, hidrograma, curva de marea.

#### **1.6.5.2 MODELACION HIDRÁULICA DE PUENTES: MÉTODO DE SECCIÓN PENDIENTE**

Este método permite extrapolar los niveles y caudales máximos en ríos ya sean principales o tributarios para el proyecto de puentes y otras estructuras de control, se debe escoger un tramo de río con condiciones lo más homogéneas posibles para estimar la pendiente media del cauce, el coeficiente de rugosidad de Manning, el perímetro mojado, el área mojada y el radio hidráulico que corresponden a un nivel de creciente asumido (NAME).

Esta información permite aplicar la ecuación de Manning y encontrar el caudal correspondiente. Su uso es conveniente para verificar datos o cuando no hay información de tipo hidrológico.

La fórmula de Manning a utilizarse es:

$$v = (1/n)R^{2/3}S^{1/2}$$

Donde:

v: Velocidad de la corriente en m/s

R: Radio Hidráulico en m

S: Pendiente hidráulica en decimales

n=Coeficiente de Rugosidad

El caudal se calcula mediante la siguiente formula:

$$Q = A * v$$

Donde:

Q: Caudal de la corriente en m<sup>3</sup>/sg

A: Sección Transversal en m<sup>2</sup>

V: Velocidad de la corriente en m/sg

## **1.7 IMPACTO AMBIENTAL**

La conservación y preservación del medio ambiente es una de las principales labores que la sociedad y del Estado ecuatoriano deben considerar al momento de realizar una obra civil, con la finalidad de minimizar el efecto de las diferentes actividades del hombre, que pueden afectar las condiciones del equilibrio hombre-naturaleza.

La evaluación de impacto ambiental se realiza previo a la ejecución de una obra, donde se indican las posibles consecuencias de un proyecto sobre la salud ambiental, la integridad de los ecosistemas y la calidad de los servicios ambientales, en el caso de estar construida, se indican las medidas emergentes para el buen uso del ecosistema.

## **CAPITULO 2: EVALUACIÓN DIAGNÓSTICA**

### **2.1 DESCRIPCION GENERAL**

El rasgo más importante en la Orografía del Ecuador es la Cordillera de los Andes, por lo cual los ríos tienen su vertiente hacia el este en el Océano Atlántico, y al oeste por medio del Rio Amazonas hacia al Océano Pacífico, para el caso a evaluarse, el Estero Simón Bolívar, desemboca directamente en el Océano Pacífico y su distancia hasta la playa, siguiendo el cauce del mismo es de 1.15 Km, por lo cual su caudal en tiempo de verano depende de las mareas y de las aguas provenientes de la cuenca de aportación y en la época invernal se ve afectado además por las precipitaciones propias de dicha estación.

En el Ecuador se han presentado eventos extremos de lluvias ya que la zona del litoral, y la Amazonía, están sometidas a la influencia permanente de la corriente fría de Humboldt o corriente Ecuatorial sur y expuestos a la acción esporádica de un flujo de aguas calientes provenientes del golfo de Panamá, conocido habitualmente con el nombre de corriente de El Niño que, también es denominado como Corriente del El Niño.

Por lo que previo a la construcción de alguna estructura que sirva para salvar un obstáculo como es el paso del agua se deben realizar los estudios hidrológicos e hidráulicos correspondientes con el fin de darle seguridad a la población que se beneficia de la Obra civil.

Por lo que en la presente tesis de grado se evaluará el comportamiento hidráulico de un puente cuyas características se describen a continuación:

Una de las estructuras que conforma una carretera es un puente, por lo que se ha establecido realizar la evaluación del funcionamiento hidráulico del puente que forma parte de la Ruta del Spondilus y que atraviesa la comuna Libertador Bolívar, conocida como “Atravesado”, el cual es de importancia ya que dicha población está experimentando a través del tiempo una creciente demanda poblacional y turística.

## **2.2 UBICACIÓN DEL PROYECTO**

La Comuna Libertador Bolívar tiene una extensión de 1476 hectáreas. Se encuentra localizada en el Km. 50 al norte de la costa ecuatoriana en la Provincia de Santa Elena, Cantón Santa Elena de la parroquia Manglar Alto, el cantón Santa Elena limita al Norte con la Provincia de Manabí, al Este y Sur con la Provincia del y al Oeste con el Océano Pacífico.

Libertador Bolívar limita al Norte con la comuna de San Antonio, al Sur con la comuna Valdivia, al este con la comuna Sitio Nuevo y al oeste con el Océano Pacífico.

El Estero que atraviesa la Comuna Libertador Bolívar es el Estero Simón Bolívar, el cual desemboca directamente en el Océano Pacífico y su distancia hasta la playa, siguiendo el cauce del mismo es de 1.15 Km.

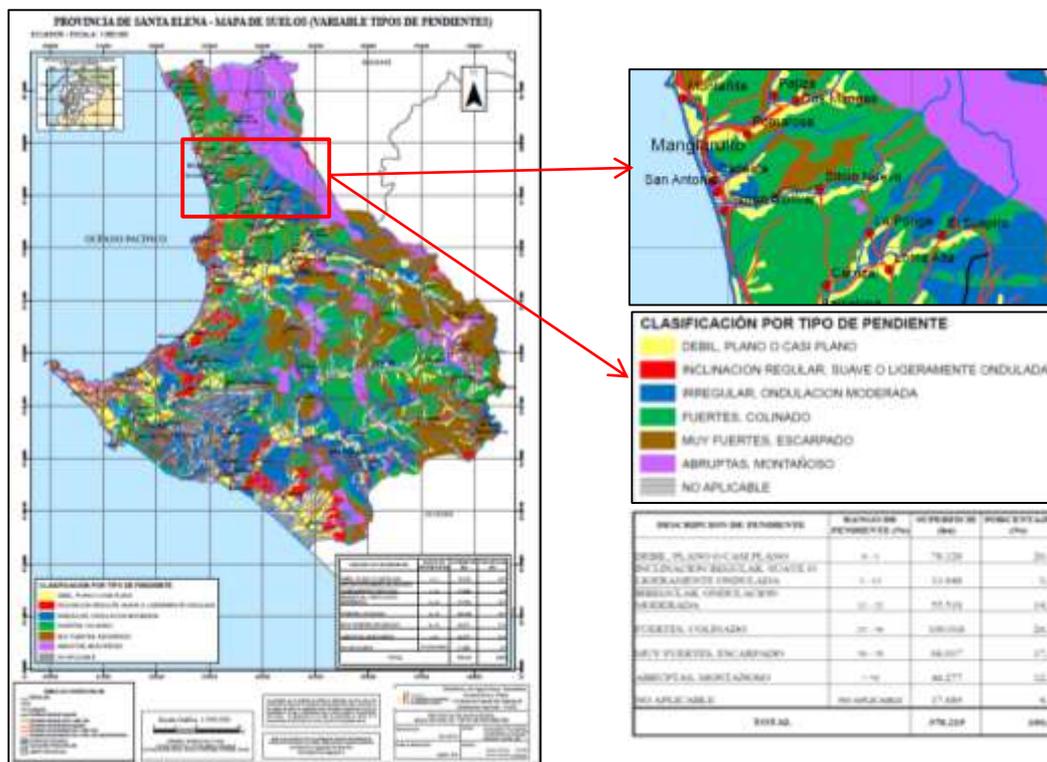
En la figura 2.1 se muestra la ubicación del sitio de estudio.



## 2.4 TOPOGRAFÍA DEL PROYECTO.

El proyecto se encuentra ubicado en la zona baja de la Cuenca de aportación su altura está 1 m por encima del nivel del Mar, lo cual se dedujo tomando alturas en la descarga del Estero ver fotografía 5 y en el área del puente, de la carta IGM, se muestra la topografía a gran escala del área de Estudio.

En la figura 2.2 se muestra que el área de aportación del sitio de estudio está clasificado por su pendiente como fuerte colinado.



**Figura 2.2.-** Mapa de suelos tipo de Pendientes Fuente: Ministerio de Agricultura y Ganadería, 2012

## 2.5 HIDROLOGÍA DEL AREA DE ESTUDIO.

El área de estudio está situada en una zona de precipitaciones escasas como se muestra en la figura 2.2, donde se muestran Isolíneas, las cuales son líneas que unen puntos de igual precipitación y que determinan el régimen pluviométrico del lugar o zona. Corresponde a los promedios anuales de precipitación de una serie de 25 años.



**Figura 2.2.-** Isolíneas de precipitación de la zona Fuente: Google earth 2004.

Además de acuerdo a los niveles del Estero observados en el área de estudio, de acuerdo a marcas que se aprecian históricamente por el paso del de agua, se concluye que el caudal es relativamente escaso. Lo cual será verificado en el capítulo 3.

## **2.6 DRENAJE**

Por el tipo de suelo que se encuentra en la zona constituido por arenas limosas y arcillas limo arenosas de coloración café a café claro, el drenaje de las aguas superficiales drenan de manera rápida es decir el área de estudio es considerada como un buen sistema de Drenaje.

## **2.7 IMPACTO AMBIENTAL**

Debido a que el nivel del agua actualmente no alcanza los niveles superiores de las márgenes del Estero, se ha convertido la parte interior del mismo en botadero de desperdicios tales como plumas de pollos, botellas de alcohol, fundas de basura entre otros.

Por lo que se evaluarán las medidas de mitigación para que no se siga siendo un botadero ya que muchas familias viven cerca al puente y la contaminación puede causar enfermedades a la población.

## **CAPITULO 3: FORMULACION Y EVALUACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN**

### **3.1 METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION**

El desarrollo de la presente tesis de grado se detallará haciendo referencia a los siguientes puntos:

### **3.2 METODOS A UTILIZAR**

Se utilizaran métodos teóricos inductivos donde se desarrollarán dos modelos de cálculo a partir de los parámetros que se obtengan de la investigación del puente existente.

La investigación que se realizará es de aplicación tecnológica ya que se proyecta establecer en base a datos de las condiciones actuales del área de estudio y de manera numérica los resultados obtenidos de los dos modelos aplicando el Software Her-Ras y el Método de sección pendiente.

Se evaluaran las siguientes variables:

- Parámetros geométricos de la cuenca de Aportación
- Precipitaciones máximas
- Caudal de diseño
- Topografía del área de estudio

### 3.3 POBLACION Y MUESTRA

La Comuna Libertador Bolívar tiene una extensión de 1476 hectáreas. Se encuentra localizada en el Km. 50 al norte de la costa ecuatoriana en la Provincia de Santa Elena, Cantón Santa Elena de la parroquia Manglar Alto.

Debido a las variaciones estacionales de la intensidad pluviométrica y a los fenómenos naturales que se presentan en Ecuador, se ha escogido determinar conceptualmente y matemáticamente, el comportamiento hidráulico del puente ubicado en la Comuna Libertador Bolívar, con la finalidad de describir cuales serían las consecuencias al momento de presentarse diferentes caudales y como se comportaría el puente ante un evento extremo de lluvia.

En la fotografía 3.1 se muestra el Ingreso a la Comuna Libertador Bolívar



**Fotografía 3-1** Ingreso a la Población Libertador Bolívar

### **3.4 TECNICAS DE LA INVESTIGACION**

El método utilizado para la evaluación de la problemática del área de estudio fueron las encuestas directas. En el Anexo A, se observan los resultados de las mismas.

Además para realizar la fundamentación teórica de la investigación del diseño hidráulico del puente se recopiló la bibliografía referente al tema, tesis de grado y artículos sobre el diseño de puentes.

La modelación con el software Hec-Ras y la Modelación del método sección pendiente se realizó con el Utilitario Microsoft Excel.

### **3.5 PROCESAMIENTO Y ANALISIS DE DATOS.**

#### **3.5.1 INTRODUCCION**

El Ecuador es un país andino y amazónico que tiene sus riveras en el Océano Pacífico, dentro del país se pueden encontrar diversos tipos de contrastes geológicos, climáticos e hidrológicos, la orografía del país presenta terrenos montañosos y llanuras, zonas cálidas y zonas frías, regiones húmedas y secas, en donde el agua se manifiesta de manera variable.

El Ecuador continental está dividido de Oeste a Este en tres regiones naturales, de acuerdo al libro El Agua en el Ecuador clima, precipitaciones y escorrentías, por Pierre Porrut:

a) **“La región costanera:** está constituida de una franja litoral de aproximadamente 100 Km de ancho, siendo los valores extremos del orden de los 180 y 40 Km. Se pueden distinguir dos unidades:

- En la parte occidental y noroccidental se extiende una cordillera costanera cuya altura máxima no supera los 800 m.s.n.m. y que, a nivel de Puerto Cayo, curva hacia el Este en dirección a Guayaquil en donde desaparece. Más al Sur, colinas aisladas y bajas llanuras forman la península de Santa Elena.
- Al pie de los Andes se sitúa la fosa de hundimiento del Guayas, cuyo ancho es de alrededor de 100 Km está limitada al Norte por relieves levantados y se prolonga hacia el Sur, hasta el Perú, mediante una estrecha franja litoral”.

b) **“La región andina:** la cordillera de los Andes, cuyo ancho varía entre 100 y 140 Km, presenta vertientes externas muy abruptas. De Norte a Sur, comprende tres unidades:

- Desde la frontera colombiana hasta aproximadamente 2° 30' S, existen dos cordilleras bien individualizadas, de dirección general NNE-SSO: la cordillera Real y la cordillera Occidental, ambas coronadas por volcanes cuya altura varía entre 4.300 y 6.300 m.s.n.m. Enmarcado por las dos cordilleras, el callejón interandino, cuyo ancho es inferior a 40 Km, está constituido de una serie de hoyas separadas por relieves transversales conocidos localmente como nudos.
- De 2° 30' S a 3° 40' S, los volcanes son reemplazados progresivamente por vastos relieves tabulares que se extienden entre 3.000 y 4.300 m.s.n.m.

- Al Sur de 3° 40' S, las dos cordilleras pierden definitivamente su individualidad y la altura no supera los 3.500 m.s.n.m”.

**c) “La región amazónica:** está formada de dos partes muy distintas:

- La zona subandina, paralela a los Andes, está constituida por una cordillera de alrededor de 50 Km de ancho. De una altura comprendida entre 500 y 3.900 m.s.n.m. (Sumaco, Cutucú y Cóndor), está dividida en la zona central por el relieve tabular profundamente erosionado constituido por el importante cono de deyección del Pastaza.
- Hacia el Este, a una altura inferior a los 350 m.s.n.m., se extienden la vasta llanura amazónica, sus bajas colinas y sus grandes valles a menudo pantanosos”.

**d) “La región insular (archipiélago de Colón o islas Galápagos),** está formada de 19 islas y 40 islotes volcánicos situados de un lado y otro de la línea equinoccial, 1.000 Km al Oeste del continente. Su superficie es cercana a los 8.000 km<sup>2</sup>, de los cuales 4.588 Km<sup>2</sup> están ocupados por la mayor de las islas, Isabela, formada de seis volcanes que coronan a 1.707 m.s.n.m”.

## **OCÉANO PACÍFICO Y LAS CORRIENTES OCEÁNICAS.**

Sobre el océano Pacífico se forman, masas de aire tropical oceánico con una temperatura elevada y una alta tasa de humedad, lo cual provoca condiciones propicias para dar inicio a precipitaciones cuando el viento sopla hacia el continente, en donde pueden mezclarse con el aire tropical continental de la llanura litoral y ser objeto de un proceso de ascenso y enfriamiento, provocando así importantes precipitaciones en las estribaciones externas e incluso al interior del callejón interandino.

La zona del litoral, y la Amazonía, están sometidas a la influencia permanente de la corriente fría de Humboldt o corriente Ecuatorial sur y expuestas a la acción esporádica de un flujo de aguas calientes provenientes del golfo de Panamá, conocido habitualmente con el nombre de corriente de El Niño que, también es denominado como Fenómeno de El Niño.

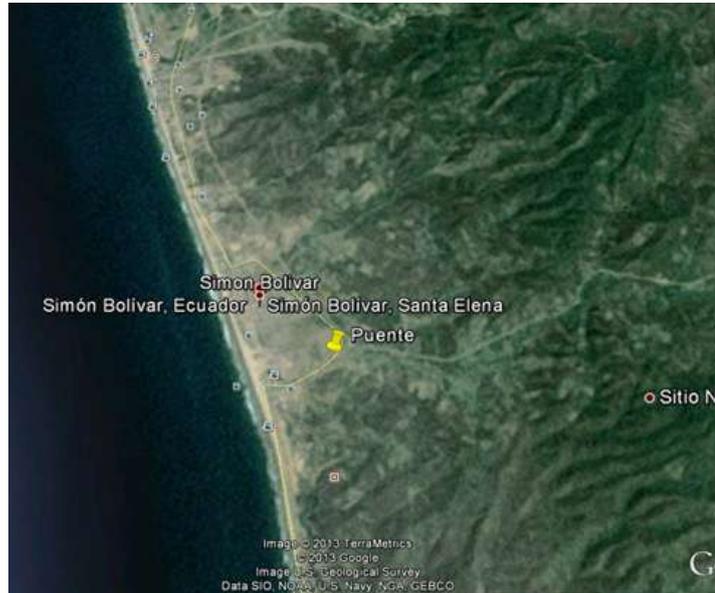
El Fenómeno del Niño de ha afectado al Ecuador de acuerdo a los datos que se presentan en el INAMHI en los años 1891, 1912, 1917, 1925-26, 1940-41, 1953, 1957-58, 1965, 1969, 1972-73, 1976, 1982-83, 1986-87, 1991-92 y el actual 1997-98, y se debe indicar que en los primeros años no se contaba con el Calentamiento Global que se está produciendo actualmente y en aquella fecha, los científicos pronosticaron que dicho fenómeno solo sucedería cada 150 años, pero como se observa de acuerdo a los registros no se ha cumplido, por lo cual es indispensable construir las estructuras de las carreteras, considerando dicho acontecimiento.

Los parámetros utilizados en el presente documento están dados para las condiciones más desfavorables que se presentan en el puente de Ingreso a la Comuna Libertador Bolívar.

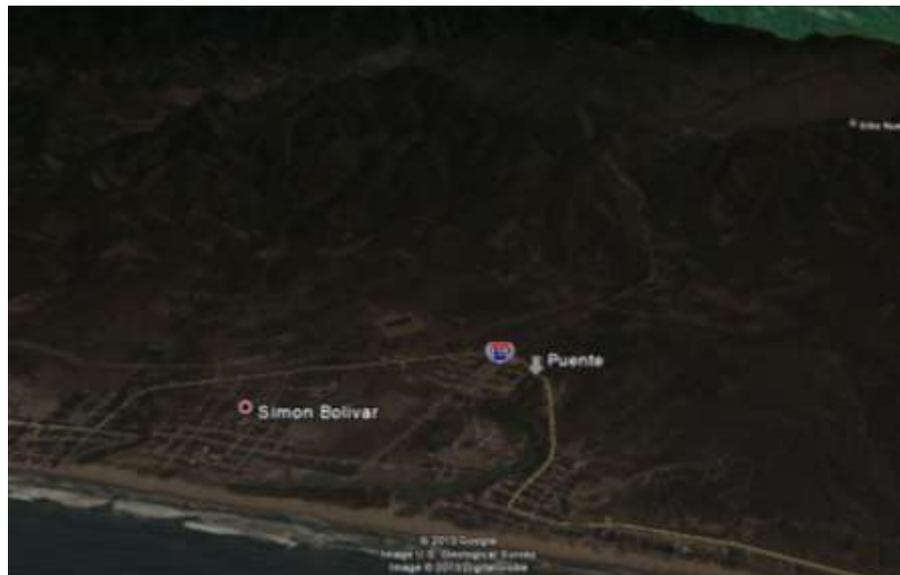
### **3.5.2 TOPOGRAFIA DEL AREA DE ESTUDIO**

Para la ejecución de un Modelo Hidráulico, se contó con topografía del área de estudio, a escalas variables entre 1:10000 y 1:25000, con la Carta que provee el Instituto Ecuatoriano Militar (IGM), que es la entidad, encargada de la ejecución de las cartas topográficas de las diferentes regiones del Ecuador, en las cuales se observa curvas de nivel cada 20 m, en el Anexo C, se muestra el plano de la carta Topográfica para el sector correspondiente a Manglaralto.

Previo a realizar la topografía de Detalle se referenció el proyecto, mediante el Software Google Earth, en las figuras 3.1 a 3.3 se muestra la ubicación del proyecto.



**Figura 3.1.-** Imagen satelital de la Ubicación del Puente en 2 Dimensiones **Fuente:** Autor Google Earth

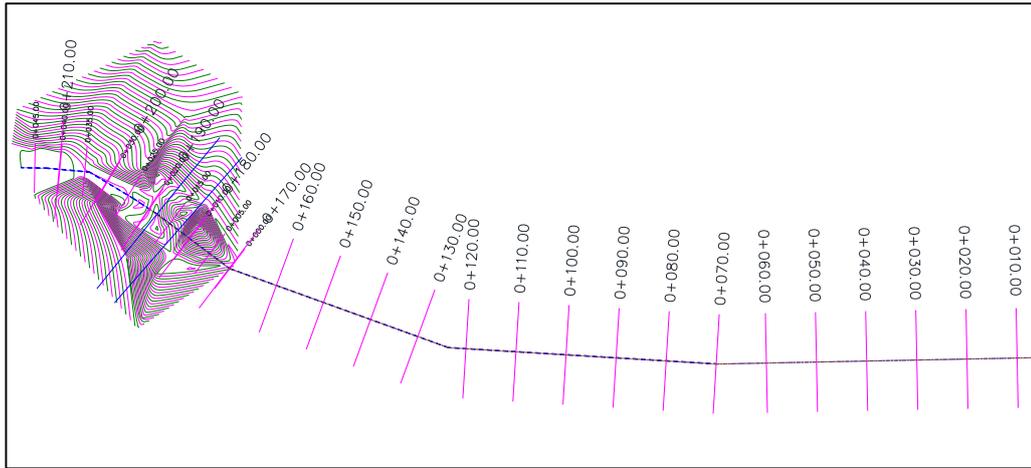


**Figura 3.2.-** Imagen satelital de la Ubicación del Puente en 3 Dimensiones **Fuente:**Autor Google Earth



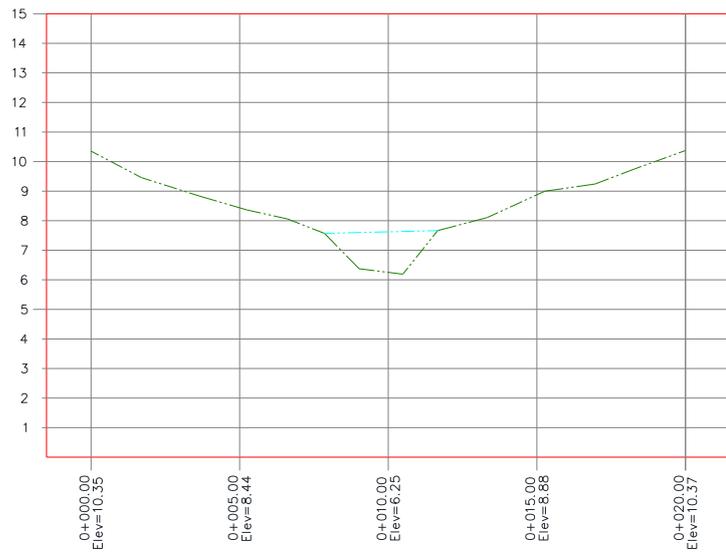
**Figura 3.3.-** Imagen satelital de la Ubicación del Puente en 3 Dimensiones **Fuente:** Autor Google Earth

Una vez determinado el cauce del Estero e identificada su área de influencia, se realizó una topografía de detalle, utilizando un nivel Marca NIKCON, y se tomaron sus coordenadas con la ayuda de un GPS, marca GARMIN, cuyos datos se muestran en el Anexo C, con la finalidad de obtener las curvas de nivel, alineación del cauce y la altura del nivel de agua, en el área de implantación del puente, además con la ayuda del Autocad Civil 3D, se obtuvieron perfiles transversales, en la figura 3.4 se muestra las curvas de nivel la ubicación de las secciones transversales que se obtuvieron del Google earth, y en la figura 3.5 y 3.6 un esquema de los perfiles transversales.



**Figura 3.4.-** Curvas de nivel y ubicación de perfiles tomados de la nivelación

**Fuente:** Autor



**0+120**

ESCALA HORIZONTAL 1 : 1000  
ESCALA VERTICAL 1 : 1000

- PUENTE
- - - TERRENO NATURAL
- - - NIVEL DE AGUA

**Figura 3.5.-** Esquema de los perfiles Transversales **Fuente:** Autor



En el registro fotográfico se muestran las fotografías de la actividad realizada.

### **3.5.3 GEOLOGIA DEL AREA DE ESTUDIO**

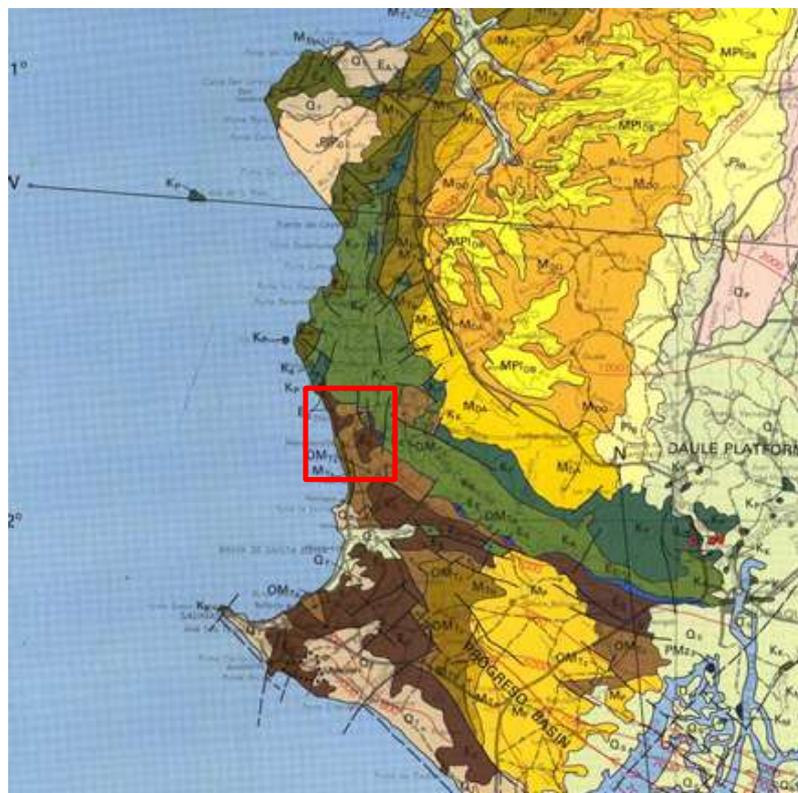
“La Península de Santa Elena, está definida por 3 capas Morfotectónicas que son:

- Cordillera Chongón Colonche
- Levantamiento de Santa Elena
- Cuenca Progreso”, (Benítez, 1997)

La Península de Santa Elena representa la parte occidental por el levantamiento de Horts de Santa Elena (Benitez, 1995), ubicada entre la cuenca cenozoica de Progreso al Norte y la cuenca del Golfo de Guayaquil al Sur, El basamento de la península está constituido por basaltos oceánicos de la Formación Piñón y Material volcánico sedimentario y Cherts de la Formación Cayo, (E Santana, J Domont, V Armas, L Burbano, 2003-2004).

El área de estudio está situada de acuerdo al Mapa Geológico, propuesto por el Instituto Geográfico Militar en 1982, en la formación Tosagua, figura 3.7, en la topografía de la región predominan terrenos que tienen pendientes entre 16 al 30%, en menor proporción existen terrenos planos levemente ondulados y ondulados, con una pendiente del 0.5 al 8%.

En general los suelos que se presentan son Suelos Sedimentarios Marinos, los cuales son más antiguos y se encuentran en las colinas, mesetas y tablazos, los suelos aluviales y coluviales de origen sedimentario marinos provenientes de las mesetas y colinas de la cordillera Chongón Colonche, que se han ido depositando en tiempos recientes en partes bajas de la cuenca hidrográfica dando lugar a la formación de valles aluviales.

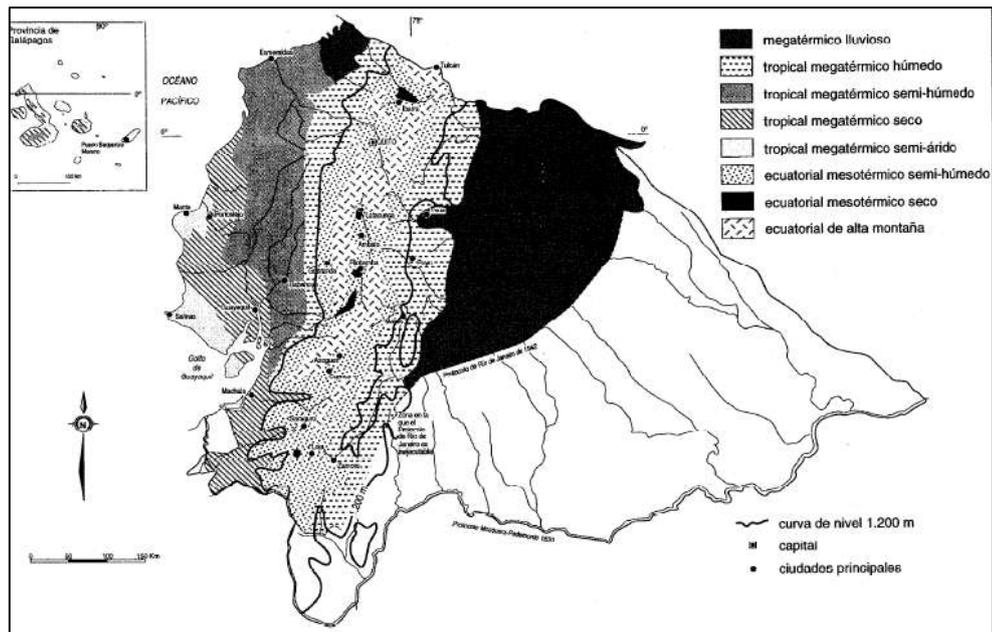


### Nomenclatura



**Figura 3.7.-** Mapa Geológico de Guayaquil **Fuente:** Instituto Geográfico Militar 1982.

El área de Estudio está situada en una zona Tropical Megatérmico seco, como se muestra en la zonificación propuesta por, (Porrut et al, 1995), como se muestra en la Figura 3.8.



**Figura 3.8.-** Repartición de los principales Climas **Fuente:** El agua en el Ecuador, Artículo III, (Porrut 1995)

### 3.5.4 ESTUDIO HIDROLOGICO

Para realizar el estudio Hidráulico, se debe considerar como primer paso determinar, el comportamiento de la cuenca es decir realizar el estudio Hidrológico del área de estudio para determinar la Avenida de Diseño o Caudal Máximo y Períodos de Retorno. En condiciones de crecida.

Para obtener la Avenida de Diseño o el caudal máximo en la sección de interés de un cauce natural (río o quebrada) existen dos formas de obtenerlo; la primera consiste en la aplicación de teorías estadísticas a series históricas de caudales máximos registrados en el tramo fluvial de interés o cercano a él; y la segunda forma, se refiere a los métodos indirectos mediante el uso de relaciones precipitación escorrentía, a partir de información pluviométrica registrada en el área o cuenca hidrográfica de interés.

### 3.5.4.1 EVALUACION DE PRECIPITACIONES

El área de estudio está situada en una zona de precipitaciones escasas como se muestra en la figura 3.9, donde se muestran Isolíneas, las cuales son líneas que unen puntos de igual precipitación y que determinan el régimen pluviométrico del lugar o zona. Corresponde a los promedios anuales de precipitación de una serie de 25 años, y en la figura 3.10 se muestra dicho régimen pero propuesto por (Porrut 1995), mostrándose similitud en el nivel de precipitaciones de la zona de estudios

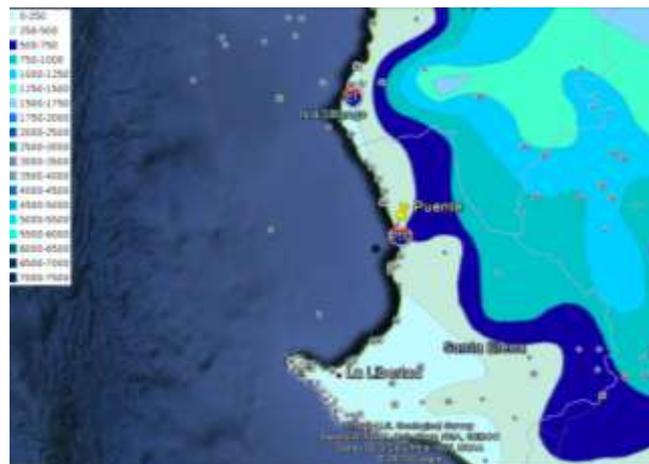
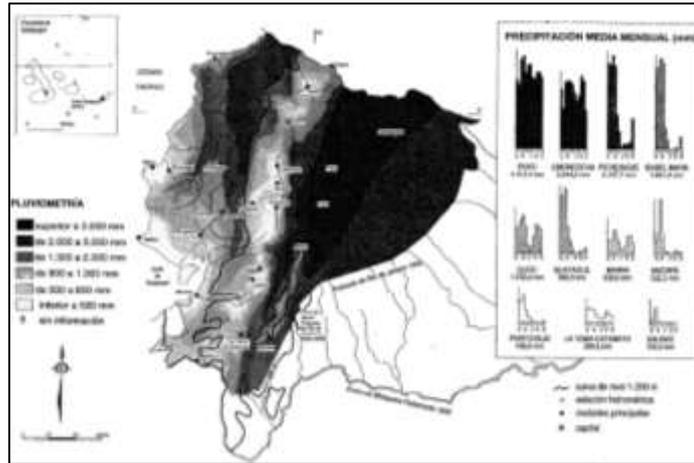
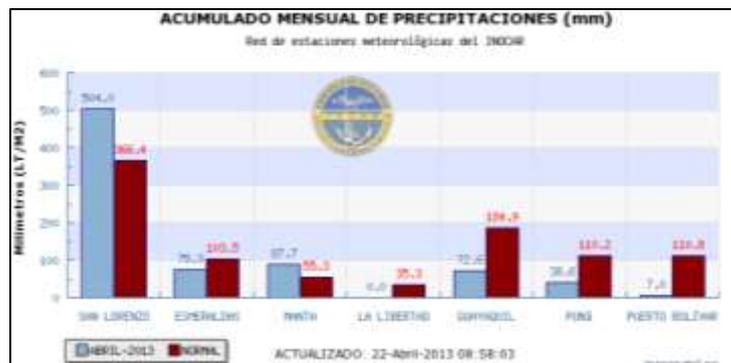


Figura 3.9.- Isohietas de precipitación de la zona Fuente: Google earth 2004.



**Figura 3.10.-** Pluviometria Anual (Periodo 1965, 1978) **Fuente:** El agua en el Ecuador, Artículo III, (Porrut 1995)

Además en la figura 3.11, se muestra un esquemático de las precipitaciones presentadas en el Ecuador en el periodo de abril, mostrándose que en el área de la Península de Santa Elena, representada por la Estación La Libertad no se registran lluvias comparada a las precipitaciones presentadas en otras regiones del país, lo que indica que en el área de Estudio no se registran precipitaciones considerables.



**Figura 3.11.-** Acumulado mensual de precipitaciones (mm) **Fuente:** INAMHI 2013

De acuerdo análisis estadístico y regionalización de las precipitaciones en el Ecuador por J. Nouvelot, P. Goulven, M. Alemán y P. Porrut, 1995, se ha zonificado el país por zonas pluviométricas, de la siguiente manera:

Zona 1, muy Seca, cubre una parte de la Península de Santa Elena, y las estaciones representativas con Salinas, Libertad y Ancón.

Zona 2, Seca, Ocupa una franja de 30 a 50 Km del norte al sur de manta, hasta la frontera peruana.

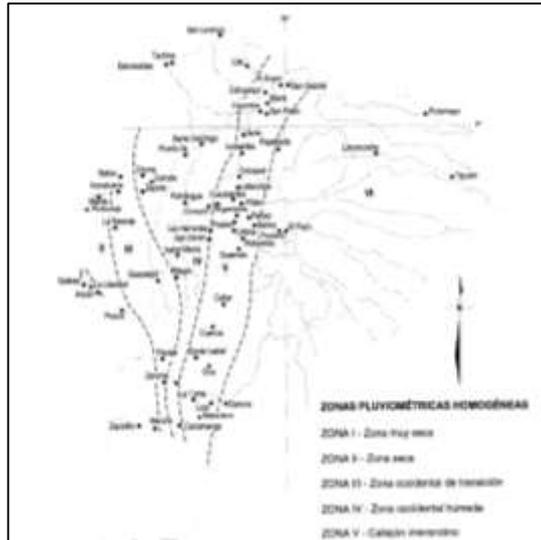
Zona 3, Occidental de transición, Situada al este de la zona seca, presenta un ancho de 100 Km en la latitud de Guayaquil.

Zona 4, Occidental Húmeda, Situada de Norte a Sur a lo largo de la cordillera

Zona 5, Callejón Interandino, esta estación presenta lluvias en los meses de enero a mayo y de octubre a noviembre

Zona 6.- Oriental Húmeda, Corresponde a la región amazónica que esta en constante influencia de masas de aire húmedo

En la imagen 3.12 se muestra la zonificación antes mencionada y en la tabla 3.1, las fórmulas para cada zona.



**Figura 3.12.- Zonas Pluviométricas Homogéneas** Fuente: El agua en el Ecuador, Artículo III, (Porrut 1995).

Una vez que se realizó el análisis de las precipitaciones se deduce que el área de estudio está situada en la Zona II es decir en una zona seca.

ECUACIONES REPRESENTATIVAS DE LAS ZONAS		
ZONA	DURACION	ECUACION
1	5 min < 120 min	$I_{1,120} = 7,3519 t^{0,4261} I_p$
	120 min < 1.440 min	$I_{1,120} = 86,1969 t^{0,4136} I_p$
2	5 min < 75 min	$I_{1,75} = 36,1212 t^{0,3883} I_p$
	75 min < 1.440 min	$I_{1,75} = 269,9406 t^{0,3936} I_p$
3	5 min < 60 min	$I_{1,60} = 85,7014 t^{0,4611} I_p$
	60 min < 1.440 min	$I_{1,60} = 349,1358 t^{0,4666} I_p$
4	5 min < 110 min	$I_{1,110} = 42,6786 t^{0,4160} I_p$
	110 min < 1.440 min	$I_{1,110} = 667,1140 t^{0,4244} I_p$
5	5 min < 44 min	$I_{1,44} = 76,4078 t^{0,4286} I_p$
	44 min < 1.440 min	$I_{1,44} = 204,8682 t^{0,4311} I_p$
6	5 min < 55 min	$I_{1,55} = 88,8592 t^{0,4683} I_p$
	55 min < 1.440 min	$I_{1,55} = 337,0868 t^{0,4747} I_p$
7	5 min < 25 min	$I_{1,25} = 85,2661 t^{0,3883} I_p$
	25 min < 1.440 min	$I_{1,25} = 296,0463 t^{0,3798} I_p$
8	5 min < 18 min	$I_{1,18} = 63,7834 t^{0,4271} I_p$
	18 min < 1.440 min	$I_{1,18} = 122,4313 t^{0,4667} I_p$
9	5 min < 50 min	$I_{1,50} = 167,1959 t^{0,4162} I_p$
	50 min < 1.440 min	$I_{1,50} = 794,3122 t^{0,4186} I_p$
10	5 min < 40 min	$I_{1,40} = 117,4077 t^{0,4471} I_p$
	40 min < 1.440 min	$I_{1,40} = 489,1646 t^{0,4382} I_p$
11	5 min < 70 min	$I_{1,70} = 102,4297 t^{0,4282} I_p$
	70 min < 1.440 min	$I_{1,70} = 475,0060 t^{0,4442} I_p$
12	5 min < 80 min	$I_{1,80} = 101,7109 t^{0,4342} I_p$
	80 min < 1.440 min	$I_{1,80} = 939,3998 t^{0,4382} I_p$
13	5 min < 60 min	$I_{1,60} = 84,6760 t^{0,4107} I_p$
	60 min < 1.440 min	$I_{1,60} = 198,9266 t^{0,4000} I_p$

**Tabla 3.1.- Formulas de Intensidad Ecuador**

Además se realizó el análisis de la Cuenca de Aportación como se muestra a continuación.

De la carta que se obtuvo del IGM, se trazó la Cuenca de Aportación que influye en el Puente, se identificaron las partes más altas que conforman la red de drenaje y se trazó la línea divisoria de aguas, como se muestra en la Figura 3.13.



**Figura 3.13.-** Limitación de la cuenca de aportación **Fuente:** El Autor

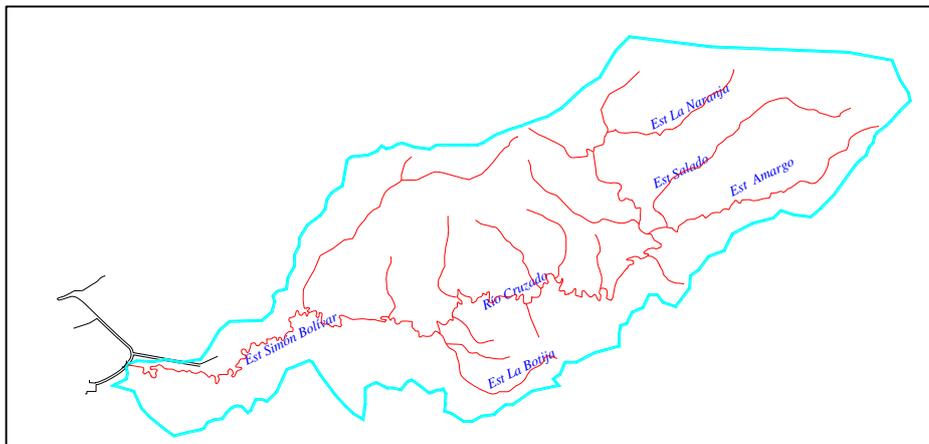
Con lo que se tienen las siguientes características físicas:

Área de la Cuenca:	35,71 km <sup>2</sup>
Perímetro de la Cuenca	33,30 km
Forma de la cuenca:	Alargada

La densidad de drenaje se la determinó a partir de la Fórmula:

$$Dd = \frac{Lc}{A}$$

Para lo cual de la Carta IGM, se realizó la medición de la longitud de los cursos de agua que intervienen en la cuenca, obteniendo una longitud total de 417 Km, que dividido para el área da como resultado 11.67Km/Km<sup>2</sup>, en la figura 3.14 se muestra las corrientes de agua antes mencionadas.



**Figura 3.14.-** Red de cursos de agua que intervienen en el Puente **Fuente:** El Autor

El Factor de Forma o Índice de Gravelis, que se obtiene por la siguiente fórmula:

$$Kc = 0.28 \frac{P}{A} \frac{Km}{Km^2}$$

Con lo que se tiene un Kc= 0.261

La Pendiente media de la Cuenca, se obtiene de la siguiente formula:

$$S_c = (\text{Elevación 1} - \text{Elevación 2}) / \text{Longitud del Punto Más Alejado}$$

Elevación 1 = 400

Elevación 2 = 30

$S_c = 0,02$  o 2%

Para la determinación del Hidrograma unitario de Diseño se utilizó 2 Metodologías: Hidrograma Triangular y por el Software Hec-Hms, como se indica a continuación:

#### **3.5.4.2 METODO DEL HIDROGRAMA UNITARIO TRIANGULAR**

Para la Ejecución de este Hidrograma se tomaron en consideración los siguientes parámetros:

#### **DATOS**

A = 35,71 km<sup>2</sup>

C = 80

L = 21,31 km

Elevación 1 = 400

Elevación 2 = 30

Sc = 0,02 o 2%

Duración = 4 h

## CALCULOS

Tiempo de concentración, empleando la Ecuación de Kirpich

$$T_c = 0.06628 \left( \frac{L}{S^{0.5}} \right)^{0.77}$$

Tc= 3,33 horas

Tc= 199.66 min

Tiempo de ocurrencia del caudal pico

tp= 0.6 x Tc

tp= 2,00 horas

tp= 119,80 min

Tiempo al pico del hidrograma unitario

$$Tp = \frac{D}{2} + tp$$

TP= 3,20 horas

Tiempo de retardo

tr= 1.67 x TP                      tr= 5,34 horas

Caudal Pico

$$q_p = (0.2083 \times A) / TP$$

$$q_p = 2,32 \text{ m}^3/\text{s}/\text{mm}$$

En la tabla 3.1, se muestra los análisis realizados

<b>t/tp</b>	<b>q/qp</b>	<b>t/tp*TP</b>	<b>qp*(q/qp)</b>	<b>q</b>
0	0.000	0.0000	0.00	0.00
0.1	0.015	0.3198	0.03	0.03
0.2	0.075	0.6396	0.17	0.17
0.3	0.160	0.9594	0.37	0.37
0.4	0.280	1.2792	0.65	0.65
0.5	0.430	1.5990	1.00	1.00
0.6	0.600	1.9188	1.40	1.40
0.7	0.770	2.2386	1.79	1.79
0.8	0.890	2.5584	2.07	2.07
0.9	0.970	2.8782	2.26	2.26
1	1.000	3.1980	2.33	2.33
1.1	0.980	3.5178	2.28	2.28
1.2	0.920	3.8375	2.14	2.14
1.3	0.840	4.1573	1.95	1.95
1.4	0.750	4.4771	1.74	1.74
1.5	0.650	4.7969	1.51	1.51
1.6	0.570	5.1167	1.33	1.33
1.8	0.430	5.7563	1.00	1.00
2	0.320	6.3959	0.74	0.74
2.2	0.240	7.0355	0.56	0.56
2.4	0.180	7.6751	0.42	0.42
2.6	0.130	8.3147	0.30	0.30
2.8	0.098	8.9543	0.23	0.23
3	0.075	9.5939	0.17	0.17
3.5	0.036	11.1928	0.08	0.08
4	0.018	12.7918	0.04	0.04
4.5	0.009	14.3908	0.02	0.02
5	0.004	15.9898	0.01	0.01

Tabla 3.2 Análisis realizados para la elaboración del Hidrograma sintético

De los cálculos realizados se muestra en la Figura 3.15 el hidrograma unitario para la cuenca de aportación

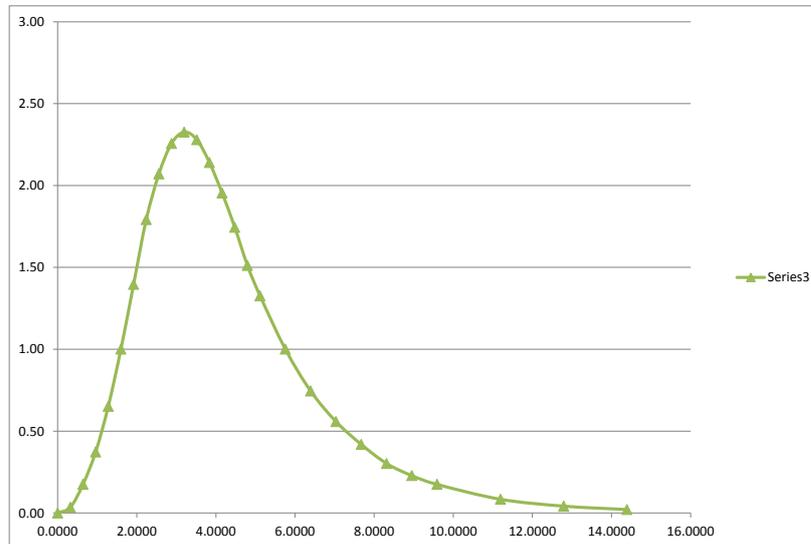


Figura 3.15 Hidrograma Unitario para la cuenca de aportación

### 3.5.4.3 HIDROGRAMA UNITARIO UTILIZANDO EL SOFTWARE HEC- HMS

Para obtener el Hidrograma unitario mediante el Software Hec-Hms, se utilizó el método de Bloques alternos con la finalidad de realizar el Hietograma de Diseño que se requiere en para el análisis, como se indica a continuación.

Determinación de las Intensidades de Precipitación en la zona desde Ancón hasta Santa Elena, según el INAMHI la fórmula para dicha zona II es la siguiente:

Duración:

$$5 \text{ min} < 75 \text{ min}$$

$$I(t, Tr) = 36,1212 t - 0,3063 I_d$$

75 min < 1.440 min

$$I(t, Tr) = 269,9406 t^{-0,7696} I_d$$

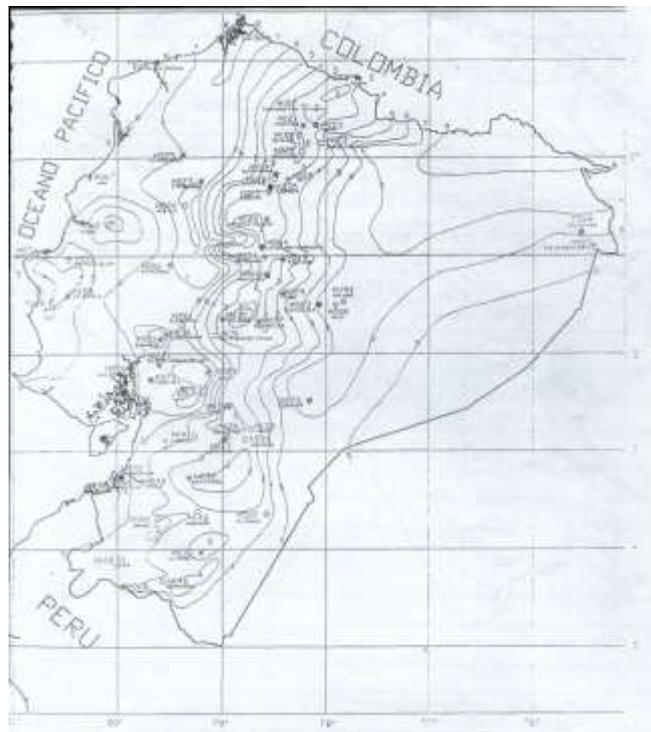
Dónde:

t = duración de la intensidad, igual al Tiempo de Concentración ( Tc ), en min.

Tr = período de retorno o de recurrencia, años

$I_d, Tr$  = valor determinado del gráfico de Intensidades Máximas de precipitaciones para Tr igual a 50 años , aproximadamente igual a 4

En la figura 3.16 se muestra el plano propuesto por el INAMI para periodos de retornos de 10 años y en la figura 3.17 para 25 años.



**Figura 3.16** Mapa de Isolíneas para TR 10 años



**Figura 3.17.-**Mapa de Isolíneas para TR 25 años

Los valores de  $I_dTR$  asociados a diferentes periodos de retorno, resultado de las interpolaciones de los mapas de isolíneas del INAMHI (1999) con la ubicación del área de estudio son::

Para un  $Tr$  10 años  $I_{dtr}$  4

Para un  $Tr$  25 años  $I_{dtr}$  5

### **DATOS**

A= 35,71 km<sup>2</sup>

Perímetro= 33,30 km

Con lo cual se realizó el hietograma de diseño y al se ingresó al Programa los siguientes parametros:

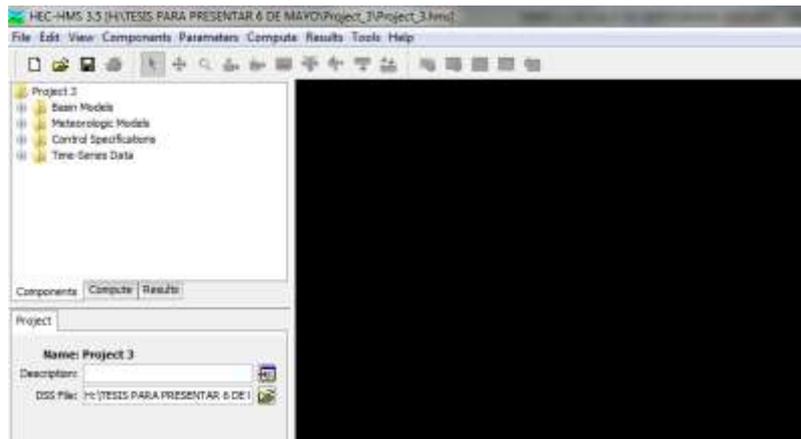
En la tabla 3.3 se muestran los resultados obtenidos del hietograma

PARA UNA LLUVIA DE 24 HORAS						
Duración (min)	Intensidad (mm/h)	hp mm	$\Delta$ hp mm	hietograma hp	hietograma acumulado	hietograma acu adimensional
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000
30	63.72	31.86	31.86	0.58	0.58	0.005
60	51.53	51.53	19.67	0.60	1.18	0.010
90	42.29	63.44	11.90	0.62	1.80	0.015
120	33.89	67.78	4.35	0.65	2.45	0.020
150	28.54	71.36	3.58	0.67	3.12	0.026
180	24.81	74.42	3.06	0.70	3.82	0.032
210	22.03	77.11	2.69	0.73	4.55	0.038
240	19.88	79.52	2.41	0.76	5.31	0.044
270	18.16	81.71	2.19	0.80	6.10	0.051
300	16.74	83.72	2.01	0.84	6.94	0.058
330	15.56	85.58	1.86	0.89	7.83	0.065
360	14.55	87.31	1.73	0.94	8.77	0.073
390	13.68	88.93	1.63	1.00	9.77	0.081
420	12.92	90.47	1.53	1.07	10.84	0.090
450	12.26	91.91	1.45	1.15	11.99	0.100
480	11.66	93.29	1.38	1.25	13.24	0.110
510	11.13	94.60	1.31	1.38	14.62	0.122
540	10.65	95.86	1.25	1.53	16.15	0.134
570	10.22	97.06	1.20	1.73	17.89	0.149
600	9.82	98.21	1.15	2.01	19.89	0.166
630	9.46	99.32	1.11	2.41	22.30	0.186
660	9.13	100.39	1.07	3.06	25.36	0.211
690	8.82	101.43	1.03	4.35	29.71	0.247
720	8.54	102.43	1.00	19.67	49.38	0.411
750	8.27	103.40	0.97	31.86	81.24	0.676
780	8.03	104.33	0.94	11.90	93.15	0.775
810	7.80	105.24	0.91	3.58	96.72	0.805
840	7.58	106.13	0.89	2.69	99.42	0.827
870	7.38	106.99	0.86	2.19	101.60	0.846
900	7.19	107.83	0.84	1.86	103.46	0.861
930	7.01	108.65	0.82	1.63	105.09	0.875
960	6.84	109.45	0.80	1.45	106.54	0.887
990	6.68	110.23	0.78	1.31	107.85	0.898
1020	6.53	110.99	0.76	1.20	109.05	0.908
1050	6.38	111.73	0.74	1.11	110.16	0.917
1080	6.25	112.46	0.73	1.03	111.19	0.925
1110	6.12	113.17	0.71	0.97	112.16	0.933
1140	5.99	113.87	0.70	0.91	113.07	0.941
1170	5.87	114.55	0.68	0.86	113.93	0.948
1200	5.76	115.22	0.67	0.82	114.75	0.955
1230	5.65	115.88	0.66	0.78	115.53	0.961
1260	5.55	116.52	0.65	0.74	116.27	0.968
1290	5.45	117.16	0.63	0.71	116.99	0.974
1320	5.35	117.78	0.62	0.68	117.67	0.979
1350	5.26	118.39	0.61	0.66	118.33	0.985
1380	5.17	118.99	0.60	0.63	118.96	0.990
1410	5.09	119.58	0.59	0.61	119.57	0.995
1440	5.01	120.16	0.58	0.59	120.16	1.000

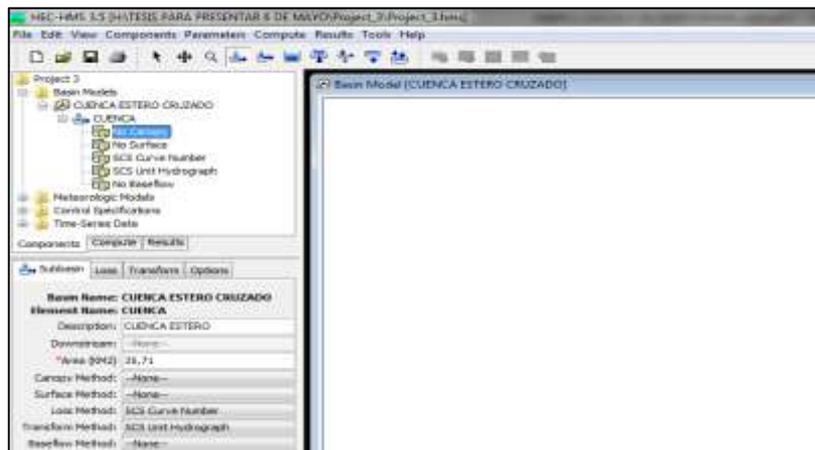
Tabla 3.3 Hietograma de Diseño

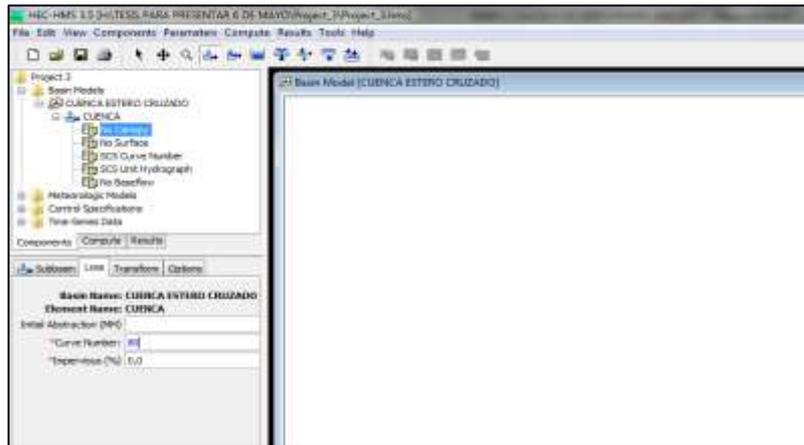
Para el ingreso del hietograma se lo realiza al programa de la siguiente manera.

Se crea un nuevo archivo, y se insertan cuatro componentes, Basin Models, Metereologic model, Control specification y Times series Data

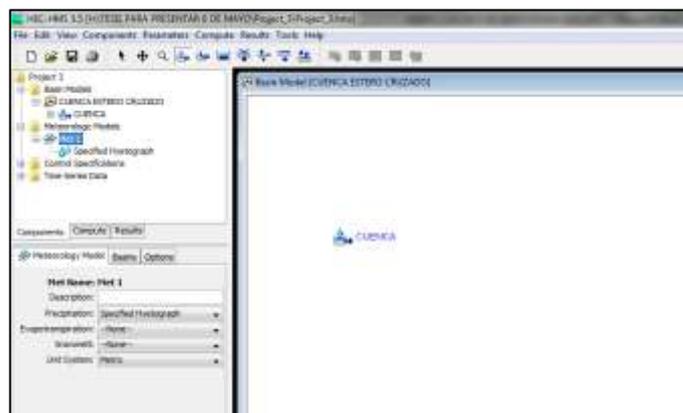


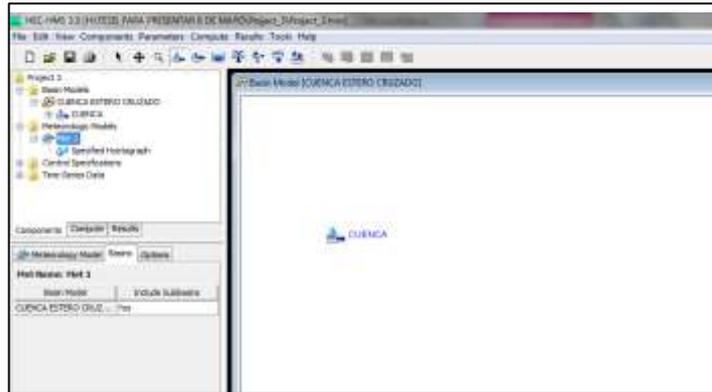
En la carpeta Basin Model se crea la cuenca, que se va a analizar y se procede a colocar los datos geométricos de la misma, previamente a este procedimiento se deben obtener de la carta IGM el área de la cuenca, la Pendiente media, CN, tiempo de concentración, tiempo de retardo, adjunto se encuentran los cálculos realizados para obtener los parámetros antes citados.



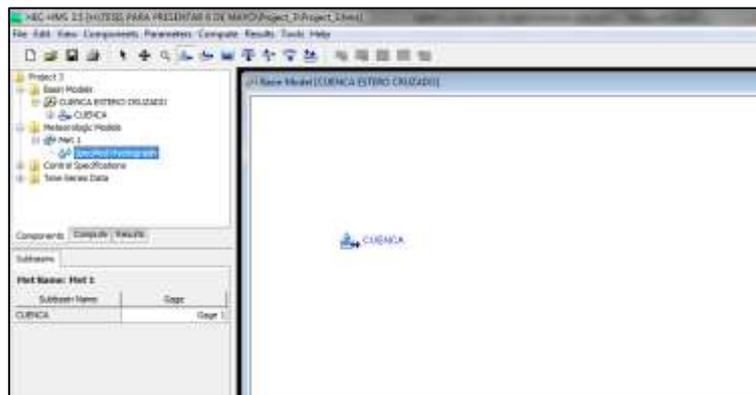


Una vez creados los datos geométricos de la cuenca, nos vamos a meteorologic model, y se indica que se va a especificar el hietograma y que se desea incluir a la cuenca que interviene en nuestro proyecto.

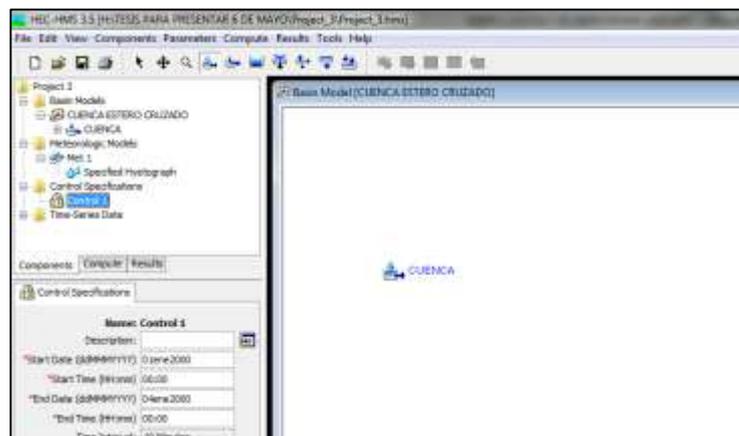




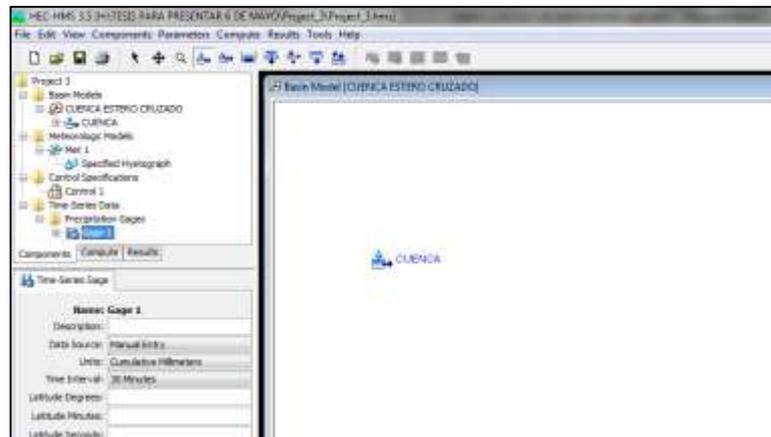
Se especifica el hietograma y se lo correlaciona con la estación 1 GATE 1



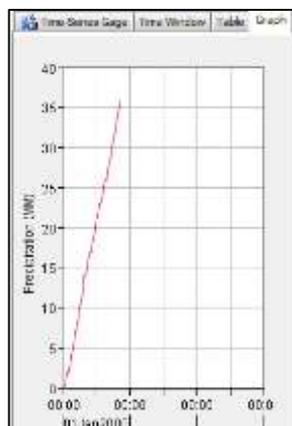
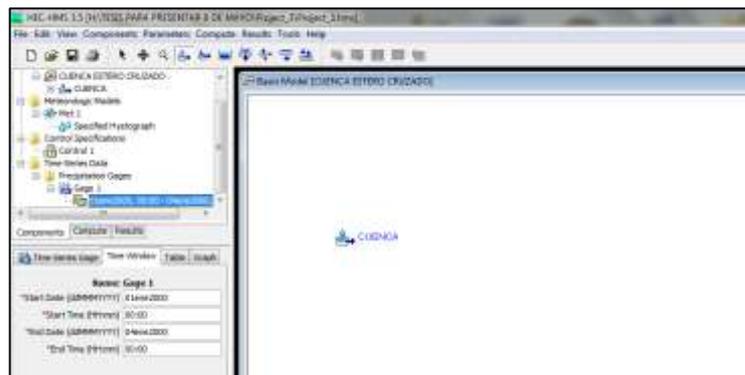
En control specifications, se coloca el tiempo en que se va a analizar el control es decir como se va a analizar una lluvia de 24 horas se coloca dicho intervalo.

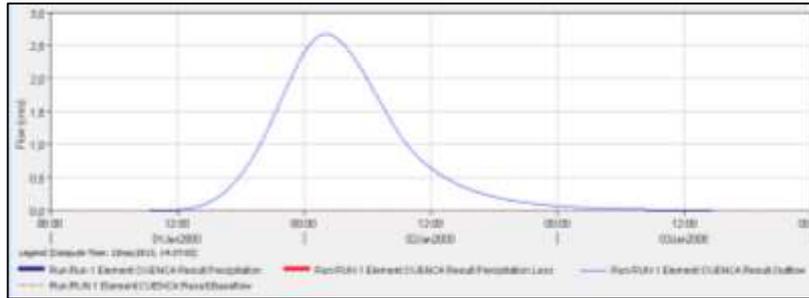


En times series data, se va a colocar el hietograma de precipitación en los intervalos que se realizaron en el cálculo, se debe tomar en cuenta que en este caso se está colocando el hietograma acumulado.



Finalmente se corre el programa con RUN y se obtienen los resultados de la gráfica del hietograma de precipitación y el hidrograma unitario.





### 3.5.5 ESTUDIO HIDRAULICO

#### 3.5.5.1 MODELO HIDRAULICO HEC-RAS

Concluido el Análisis Hidrológico se realizó el análisis hidráulico del puente existente, determinando el perfil de la superficie del agua para la creciente de diseño, con lo que se cuenta con la información necesaria para establecer lo siguiente:

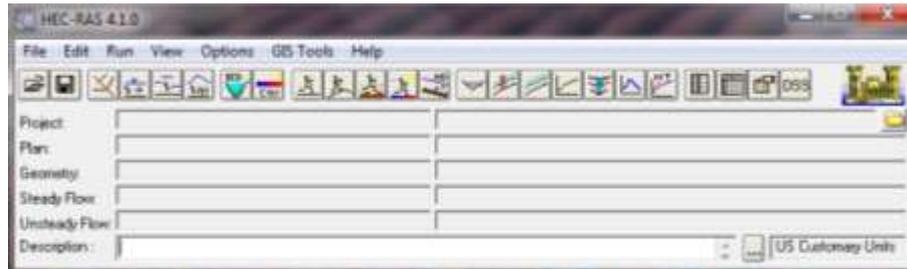
- Si el galibo de la estructura es el adecuado para el caudal.

El programa utiliza el balance de energía entre dos secciones sucesivas y emplea como base de datos a las secciones transversales que representan la geometría del cauce en el tramo de interés, el caudal y el coeficiente de rugosidad.

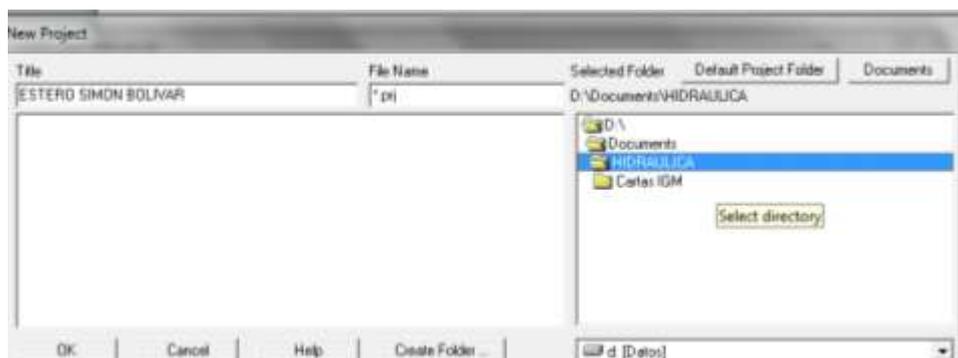
Entrega como resultados los niveles de eje hidráulico, además de parámetros hidráulicos tales como velocidad media del flujo, alturas máximas, número de Froude, alturas críticas, entre otros

Los pasos a seguir una vez instalado el programa son los siguientes:

1. Verificar que la configuración regional del computador tenga el punto como signo que separa los decimales.
2. Se ingresa al programa y aparece como primera ventana

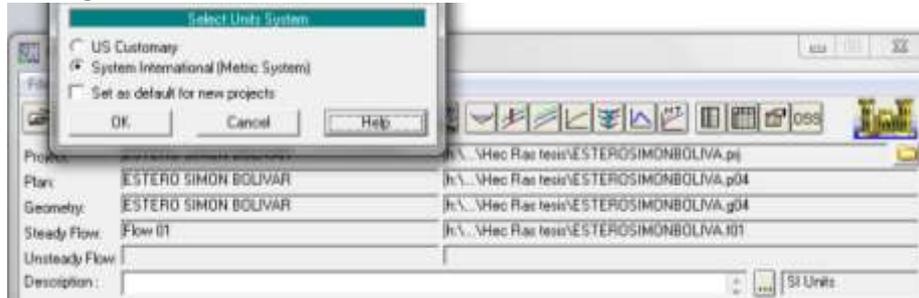


3. Se crea un nuevo proyecto:
  - File
  - New Project
  - Title (Se nombra al proyecto ESTERO SIMON BOLIVAR)
  - Ok
  - Aparece una ventana de diálogo donde se pregunta si se desea guardar el proyecto con el nombre antes descrito y que el programa trabajará con unidades Inglesas pero que pueden ser cambiadas al iniciar el programa a lo que se contesta ACEPTAR



#### 4. Cambiar las unidades al sistema Métrico:

- Se selecciona Options – Unit system (US Customary/SI)
- Se cambia de US Customary a System International (Metric System)



)

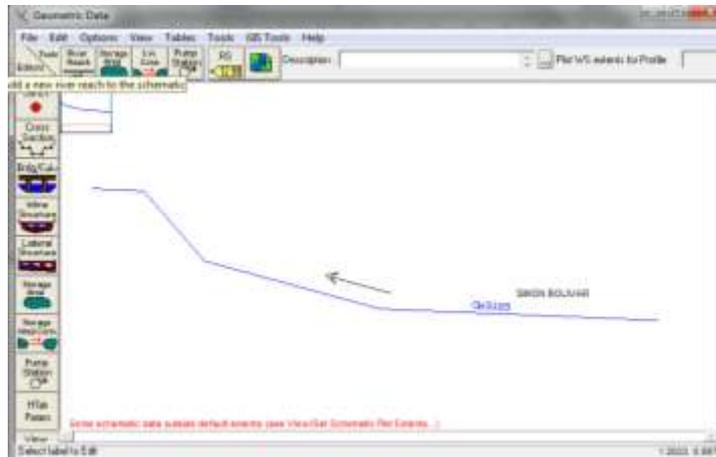
#### 5. Introducción de datos Geométricos

- Previo a la introducción de datos se tiene un listado de las coordenadas o puntos que conforman la sección del canal.
- Se debe accionar el botón  para iniciar la ventana que se muestra a continuación :

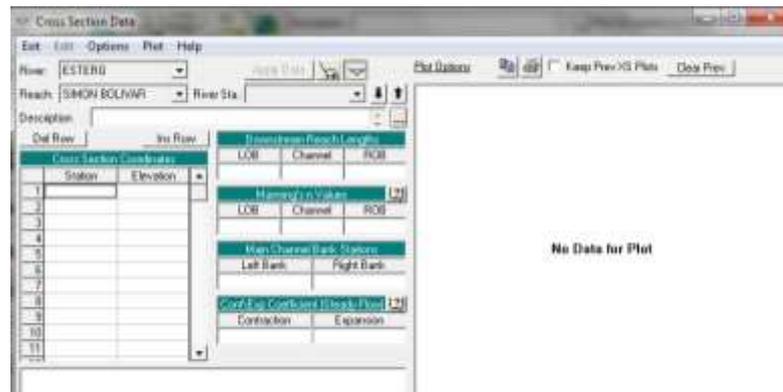


- Posteriormente se indica el Rio al que se hace referencia marcando el botón “River Reach”  se dibuja el cauce del rio marcando en primer lugar aguas arriba y al final con doble clic aguas abajo, se introduce el nombre del río y OK para aceptar.

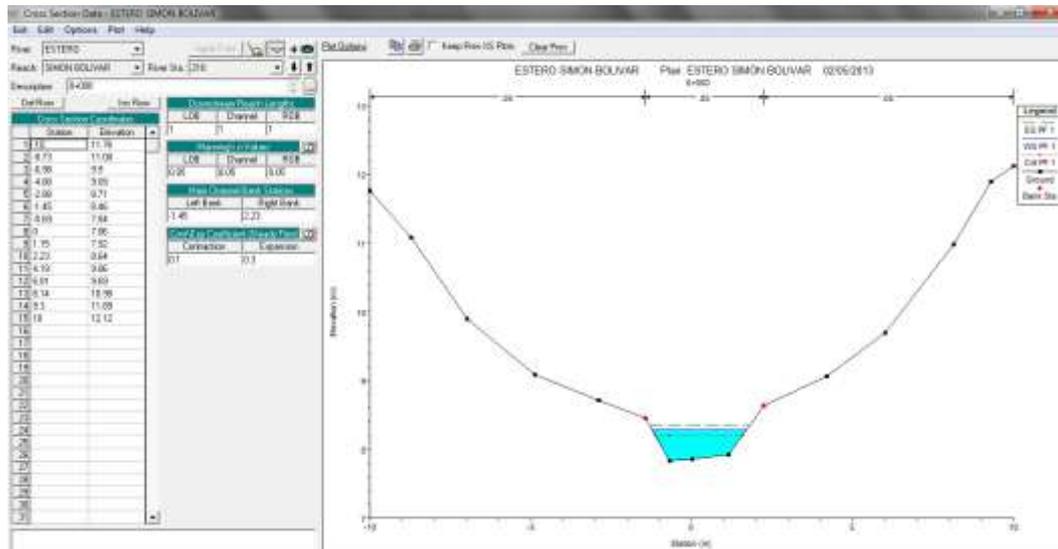
- Se debe indicar que el nombre del flujo para el programa será flujo 1 o Flow 1.



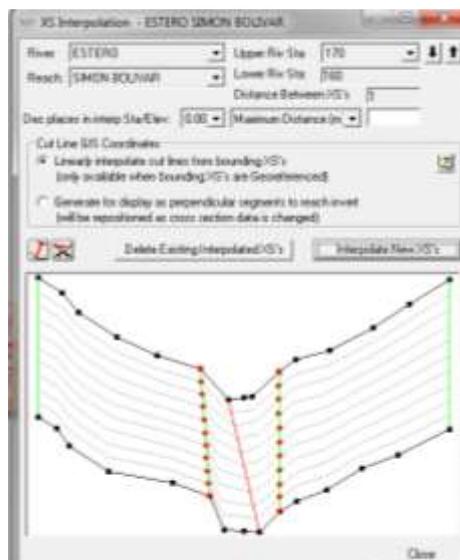
- Para introducir las secciones se selecciona el icono  y aparece una ventana a la izquierda en blanco.



- Para introducir la primera sección se indica en Options – Add a new cross section, se identifica la sección con un número con lo que se observará su ubicación con respecto a las demás.
- Una vez creadas las secciones y debido a que se requieren secciones transversales cada 1.0 m, Se diseña la sección ubicando las coordenadas de los puntos de la sección en Station, la abscisa y en Elevation la cota, se hace clic en Apply Data y se representan en la ventana de la izquierda



- Para interpolar las secciones se escoge la opción Tools- XS Interpolation, Se escoge la opción Between 2 XS, y aparece se incluyen dos herramientas para eliminar o crear cuerdas o líneas auxiliares.
- Una vez realizada la interpolación, se observa en la ventana de datos geométricos las secciones interpoladas con un asterisco, se debe indicar que también se interpolan los coeficientes de Manning.



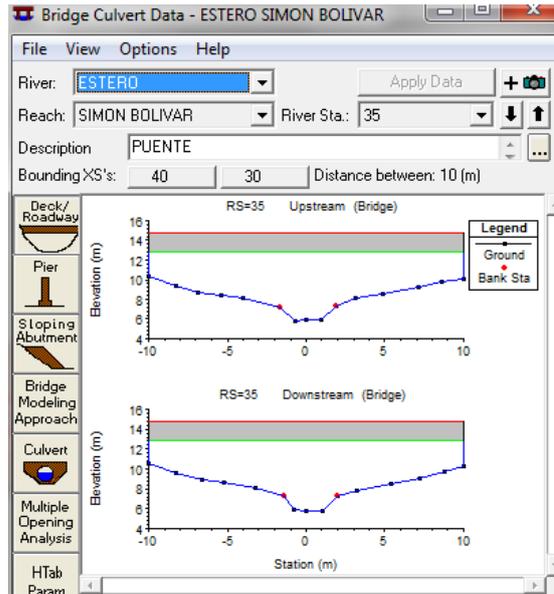
- Para introducir el puente en Geometric Data, se selecciona Brdg/Culv, nos pedirá que se introduzca el puente entre dos secciones inmediatas, como en el caso de estudio no se cuenta con pilas intermedias se coloca la geometría del tablero y de los estribos.
- Los datos del tablero se introducen en la ventana “Bridge Culvert Data”, icono “Deck/Roadway”

Distance	Width	Weir Coef
2	6	1.4

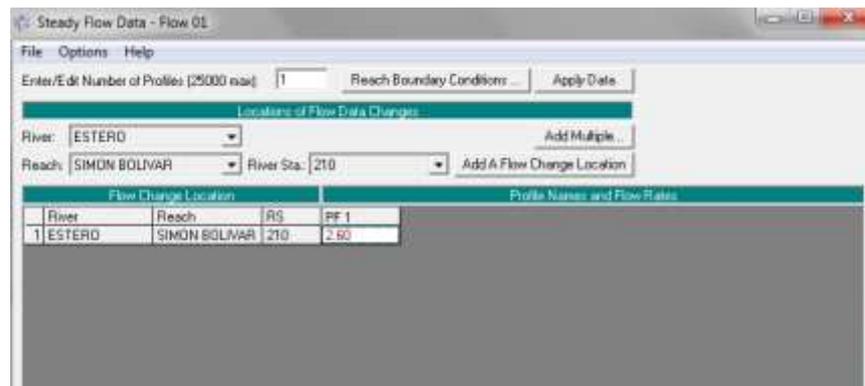
Upstream			Downstream			
Station	high chord	low chord	Station	high chord	low chord	
1	-10.	14.8	12.8	-10.	14.8	12.8
2	10.	14.8	12.8	10.	14.8	12.8
3						
4						
5						
6						
7						
8						

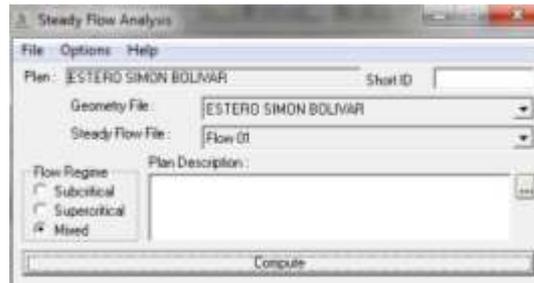
- Distance: La distancia desde la cara aguas arriba del puente hasta la sección 30
- Width: Es el ancho del tablero en metros
- Weir: Coeficiente del vertedero que se usara para el calculo se considera el valor de 1.4 por defecto
- High chord and Low Chord, son las cotas superiores e inferiores del puente.



## 6. Datos hidráulicos en flujo permanente

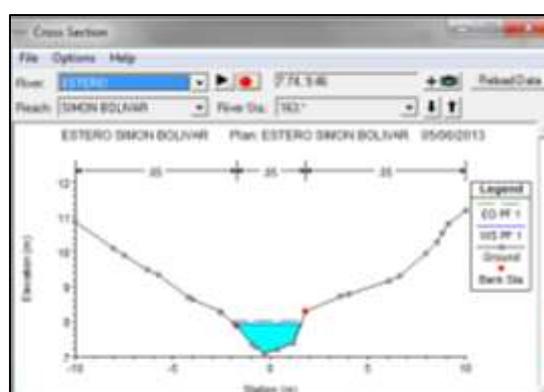
- Se selecciona el Icono Edit/Steady Flow Data 
- En la ventana se observa el número de perfiles que se han introducido en la geometría y se introduce el caudal que se obtuvo del estudio hidrológico, se asume que para todas las secciones se presenta dicho caudal como máximo.



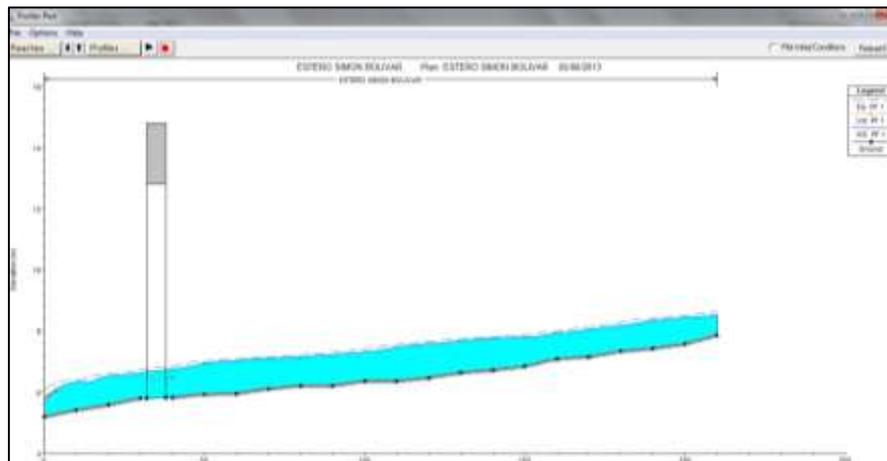


- Una vez que se ejecuta el programa se pueden observar los resultados con los iconos que se muestran a continuación:
- Cross- Section, Secciones transversales
- Water Surface Profiles, Ver los perfiles de las láminas de agua
- General Profile Plot, Ver Graficas a lo largo del perfil
- X-Y-Z Perspective Plots, Ver dibujos en perspectiva
- Stage and flow Hydrographs, ver hidrogramas de caudal y calado
- Hydraulic Property Plots, Ver graficas de propiedades hidráulicas
- Detail Output Table, Ver tablas de detalle
- Profile Summary Table, ver tabla de resumen
- Ver datos en DSS, DSS Data

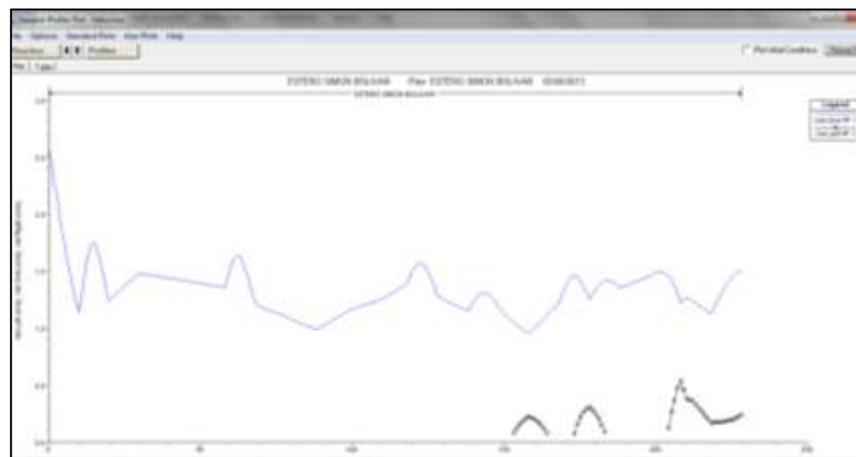
De los datos introducidos se tienen las siguientes gráficas, las mismas que indican la



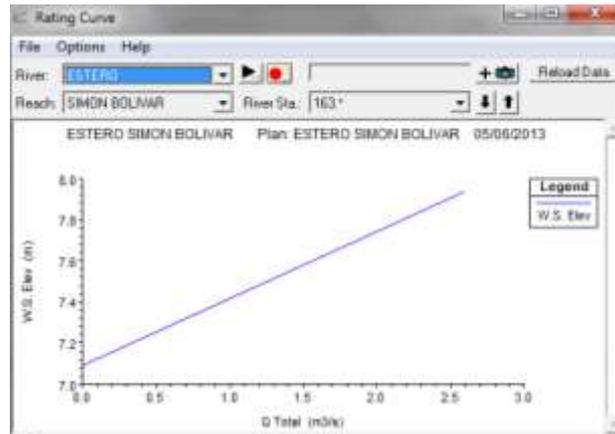
**Figura 3.18.-** Sección transversal para un caudal de 2.6m<sup>3</sup>/sg



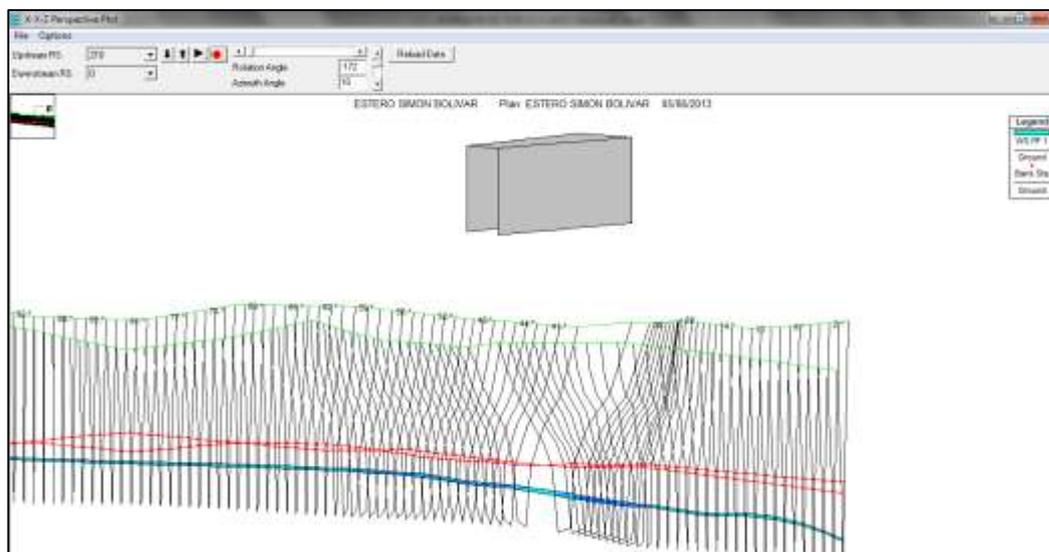
**Figura 3.19.-** Perfil de la lámina de agua para un caudal de 2.6m<sup>3</sup>/sg



**Figura 3.20.-** Perfil de velocidad del flujo para un caudal de 2.6m<sup>3</sup>/sg



**Figura 3.21.- Cota Vs Caudal Total**



**Figura 3.22.- Perfil del Cauce del rio con la Ubicaci3n del puente**

### 3.5.5.2 METODO DE SECCION PENDIENTE

Para la evaluaci3n hidr3ulica del puente por el m3todo de secci3n pendiente se identific3 el eje del cauce del Estero y la direcci3n de la corriente, adem3s de las caracter3sticas f3sicas del 3rea de estudio.

A continuaci3n se describen los pasos realizados para dicha evaluaci3n:

### **3.5.5.2.1 NIVELACION DEL FONDO DEL CAUCE**

Se realizó el levantamiento topográfico del cauce del río (ver 3.5.2 Topografía del área de estudios), con lo cual se obtuvo la nivelación del fondo del cauce, para determinar la pendiente geométrica del mismo, además del ancho, con los datos tomados del campo se aplicará la ecuación de Manning.

De la topografía realizada se muestra que el ancho es de aproximadamente 3.0 m, es decir se trata de un Estero de poco caudal, por lo que se realizó la nivelación del cauce en una longitud de 220 m, de los cuales 180 m son aguas arriba y 40 m aguas abajo, lo cual se ejecutó para observar características de la topografía, que puedan influir en el comportamiento del flujo, indica que los detalles fu

### **3.5.5.2.2 SECCION HIDRAULICA**

Para el método de estudio como su nombre lo dice, es de vital importancia la sección del cauce para determinar el cálculo del caudal de diseño, por lo que se realizó el levantamiento de secciones en el cruce del puente

Los niveles del N.A.M.E. y N.A.M.O. fueron determinadas en el campo por medio de los rastros encontrados en las márgenes del Estero, lo cual se observa por la presencia de vegetación, desechos, entre otros.

### **3.5.5.2.3 CONDICION HIDRAULICA**

Se consideraron las siguientes condiciones:

- Se verificó que el área donde se levanto la sección hidráulica no tenga cambios en la dirección del escurrimiento.
- La sección fue levantada de manera perpendicular al escurrimiento.
- El fondo del cauce no presentó cambios en su morfología.
- La pendiente geométrica es menor al 1%, (esta condición fue considerada ya que de  $S_o > 1\%$ , el método no se considera confiable).
- Se identificó que el área del cruce del puente no cuenta con la influencia de otro río.

#### **3.5.5.2.4 DETERMINACION DEL COEFICIENTE DE RUGOSIDAD DE MANNING.**

Se determinó el coeficiente de rugosidad de Manning "n", tomando en consideración las características fisiográficas, topográficas e hidráulicas de la corriente de estudio.

Entre los principales factores tenemos los siguientes:

La rugosidad de la superficie está dada por la gradación de los materiales que conforman el cauce, para el caso de estudio, de la observación se muestra que está conformado por arenas finas limosas de color café.

En el área se encuentra abundante vegetación, lo cual retarda el desplazamiento del flujo.

Al tomar en cuenta la irregularidad del cauce que comprende irregularidades en el perímetro mojado y en la sección transversal del río,

además se considera la forma del mismo a lo largo de su desarrollo, estas irregularidades son: depresiones, ondas arenosas, entre otras, se puede asumir que el cauce mantiene una configuración similar en cada uno de sus tramos.

Se debe tener en cuenta que en la mayoría de las corrientes el valor de "n" decrece con el tirante y del caudal, para el cauce del Estero Libertador Bolívar al no contar con un gran caudal, las irregularidades del fondo están expuestas y sus defectos son más pronunciados.

Debido a que las condiciones hidráulicas no variaron considerablemente a lo largo del Estero se consideró para la evaluación un tramo.

En la Figura 3.23 se muestra el cuadro con los valores de "n".

Material del cauce	n:	Min	Med	Máx
Tierra con vegetación		0.022	0.027	0.033
Excavado en roca		0.035	0.040	0.050
Riachuelos limpios		0.025	0.030	0.033
Riachuelos con cantos		0.035	0.045	0.055
Ríos de Montaña		0.040	0.050	0.070
Llanuras de inundación				
-con hierba		0.030	0.035	0.050
-con cultivos bajos		0.030	0.040	0.050
-con árboles		0.110	0.150	0.200
Grandes ríos		0.035	0.050	0.100

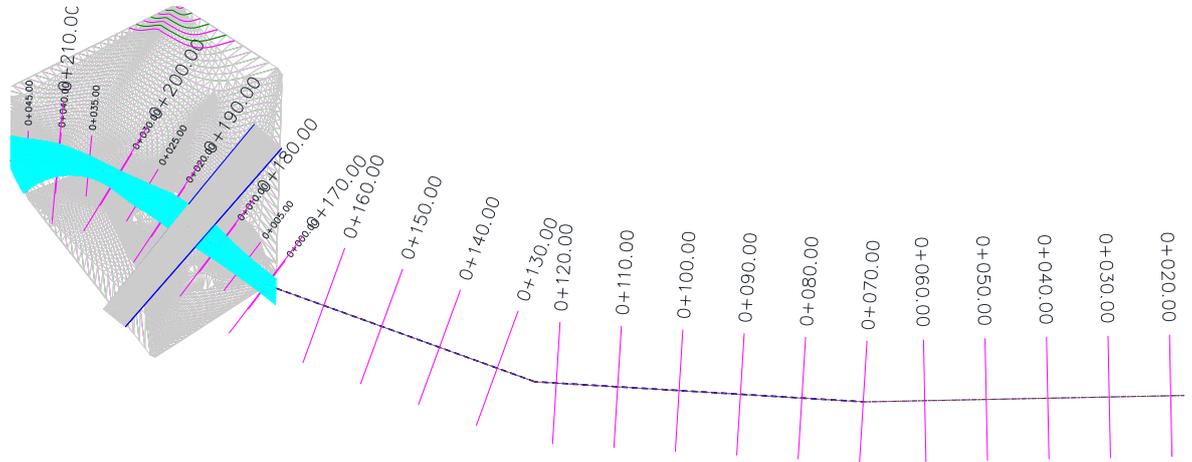
**Figura 3.23.-** Coeficiente de Manning **Fuente:** Chow, V.T. 1964

De lo que se tiene que el área está compuesta por vegetación y suelo areno limoso, obteniendo un coeficiente de rugosidad igual a 0.033.

### 3.5.5.2.5 AREA Y PERIMETROS MOJADOS.

Para realizar el cálculo del perímetro mojado se siguió el procedimiento que se detalla a continuación:

En los perfiles a estudiarse se colocó la elevación del N.A.M.E., registrado en las visitas de obra, determinando de esta manera el área hidráulica y el perímetro mojado, en la figura 3.24 se muestra la ubicación de los perfiles trasversales



**Figura 3.24.- Ubicación de los Perfiles Transversales Fuente: Autor**

Se presentan los análisis realizados:

### **Abscisa 0+180**

Perímetro Mojado = 5.16 m

Área Hidráulica = 4.02 m<sup>2</sup>

### **Radio Hidráulico**

$$r = Ah \text{ (m}^2\text{)}/Pm \text{ (m)}$$

$$r = 4.02 \text{ m}^2/5.16\text{m}$$

$$r = 0.77 \text{ m}$$

### **Abscisa 0+190**

Perímetro Mojado = 6.05 m

Área Hidráulica = 5.21 m<sup>2</sup>

### **Radio Hidráulico**

$$r = Ah (m^2)/Pm (m)$$

$$r = 5.21 m^2/6.05m$$

$$r = 0.86 m$$

#### **3.5.5.2.1 PENDIENTE GEOMETRICA.**

Para determinar la pendiente geométrica del cauce se puede realizar una grafica de los valores de las distancias horizontales, medidas desde el cauce, es decir la pendiente geométrica se considera como el desnivel de los extremos del tramo analizado dividido por la longitud horizontal de dicho tramo.

$$S= H/L$$

#### **Abscisa 0+180**

$$S= 0.10 m/2.00$$

$$S= 0.0005\%$$

#### **Abscisa 0+190**

$$S= 0.08 m/1.76$$

$$S= 0.00046\%$$

#### **3.5.5.2.2 PENDIENTE HIDRAULICA**

Para poder obtener la pendiente hidráulica que es el comportamiento del espejo de agua de una corriente, se lo debe analizar para los niveles mínimos y máximos.

Debido a que el cauce es relativamente seco el valor de dicha pendiente será el mismo considerado para la pendiente geométrica.

**Abcisa 0+180**

$$Sh = 0.10 \text{ m}/2.00$$

$$Sh = 0.0005\%$$

**Abcisa 0+190**

$$Sh = 0.08 \text{ m}/1.76$$

$$Sh = 0.00046\%$$

**3.5.5.2.3 VELOCIDAD DE DISEÑO**

Para el cálculo de la velocidad de diseño se utilizará la ecuación de Manning.

$$V = 1/n r^{2/3} Sh^{1/2}$$

**Abcisa 0+180**

$$V = 1/0.033 \cdot 0.77^{2/3} \cdot 0.05^{1/2}$$

$$V = 0.15 \text{ m}/\text{sg}$$

**Abcisa 0+190**

$$V = 1/0.033 \cdot 0.86^{2/3} \cdot 0.050.046^{1/2}$$

$$V = 0.14 \text{ m}/\text{sg}$$

#### 3.5.5.2.4 CALCULO DE CAUDAL

Para el calculo del caudal se utilizo la formula de la continuidad aplicando la fórmula.

$$Q = A * V$$

$$Q = 8.04 * 0.15 = 1.20 \text{ m}^3/\text{sg}$$

#### 3.5.6 IMPACTO AMBIENTAL

La conservación y preservación del medio ambiente es una tarea de toda la sociedad y del Estado ecuatoriano, por lo que toda organización debe tender a minimizar el efecto de las diferentes actividades del hombre que pueden afectar las condiciones del equilibrio hombre-naturaleza.

El área de estudio está rodeada por la Población de Libertador Bolívar, los moradores que viven aledaños al puente comentan que uno de los habitantes se dedica a la venta de pollos, además dicho sector es empleado para el consumo de bebidas alcohólicas, por lo cual al no sobrepasar el nivel máximo de Aguas, la longitud total del cauce, la parte inferior del tablero ha sido empleado como basurero, ver fotografía 6.

Por lo antes expuesto se plantea dentro de la presente tesis que se debería realizar un Plan de Manejo Ambiental, donde se tomen en consideración los siguientes aspectos:

- PLAN DE CONTROL, PREVENCION Y MITIGACION. Establece las acciones a desarrollar a fin de minimizar y controlar la generación de material de desechos.
- PLAN DE MANEJO DE RESIDUOS. Incluye el manejo, almacenamiento, reciclaje y disposición de los residuos sólidos generados por la población.

- PLAN DE CAPACITACION PÚBLICA. Se propone capacitar a los pobladores para que tengan conciencia de los problemas que generan arrojar desechos a las riberas del Estero.

### **3.5.7 CONCLUSIONES**

De los análisis realizados se concluye que para realizar la evaluación hidraulica de un puente se deben realizar la topografía de detalle en el área de estudio.

Evaluar la geología de la zona y el tipo de suelo que se estima para dicho sector.

Para obtener el coeficiente de Manning, se requiere de la experiencia del especialista para realizar las estimaciones, que puede apoyarse en antecedentes de casos similares, tablas y publicaciones técnicas disponibles, sobre la base de los datos recopilados en la etapa de campo.

La evaluación de obras existentes en el curso natural es muy importante para el diseño definitivo de una nueva estructura o el análisis de una estructura existente, porque permite verificar que la obra proyectada no provoque alteraciones desde el punto de vista de la hidráulica fluvial sobre obras existentes o viceversa, como cambios bruscos de pendiente que produzcan erosión, sedimentación, efectos de remanso, formación de nuevos cauces entre otros

Dicha evaluación comprenderá también el comportamiento hidráulico estructural de las obras existentes, información relevante a ser tomada en cuenta para el diseño de la estructura proyectada.

- Pendiente del cauce.
- Rugosidad del lecho y de sus márgenes a partir del tipo material predominante.
- Uniformidad de las secciones del cauce.
- Presencia de obstrucciones.
- Confluencias o desembocaduras cercanas.
- Altura, densidad y tamaño de la vegetación en el cauce y márgenes.
- Huellas de crecientes máximas en el puente o zonas aledañas.
- Tipo de flujo predominante y existencia de una sección de control.
- Indicios de socavación si el puente existe.
- Estabilidad de las márgenes.
- Existencia de estructuras o actividades sobre el río que puedan influir en su comportamiento.
- Máximos niveles históricos de creciente registrados.
- Coeficiente de rugosidad del lecho.

Por los análisis expuestos se concluye que al emplear el método sección pendiente se obtiene un caudal inferior al que se obtiene del análisis con el Modelo Hec Ras, lo cual puede debido a que en el campo las evidencias de niveles de agua se pueden haber borrado, lo cual afecta al caudal de diseño, pero se estima que el caudal que se presente para un evento externo de lluvia en un periodo de retorno de 50 años es el obtenido con el Modelo Hec Ras y se concluye para eventos de lluvia máxima la altura del gálibo, es la adecuada para los caudales correspondientes.

### **3.5.8 RECOMENDACIONES**

De acuerdo a los análisis realizados, no se espera una creciente que impida el tránsito vehicular, pero debido a que el caudal es muy bajo, se recomienda realizar un Plan de Manejo Ambiental, donde se tomen en consideración los siguientes aspectos:

- **PLAN DE CONTROL, PREVENCION Y MITIGACION.** Establece las acciones a desarrollar a fin de minimizar y controlar la generación de material de desechos.
- **PLAN DE MANEJO DE RESIDUOS.** Incluye el manejo, almacenamiento, reciclaje y disposición de los residuos sólidos generados por la población.
- **PLAN DE CAPACITACION PÚBLICA.** Se propone capacitar a los pobladores para que tengan conciencia de los problemas que generan arrojar desechos a las riberas del Estero.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Aplicación del modelo Hec-Ras, para el cálculo de los perfiles hidráulicos del sistema Hídrico del Rio Changuana, Universidad Politécnica del Litoral, Christian Javier Vivas González, David Matamoros Campusano
2. Atoche, Juan C. (2001) "Modelación numérica en hidráulica", CONEIC 2001, Lima, Perú.
3. Brunner, Gary (2001) "HEC-RAS River Analysis System: Hydraulic Reference Manual", U.S.nArmy Corps of Engineers.
4. Froelich, David (1998) "FESWMS-2DH Finite Element Surface-Water Modeling System: Two-Dimensinal Flow in a Horizontal Plane", Kentucky, USA.
5. King, Ian (1996) "RMA2 Version 4.3", New York.
6. Molinas, Albert (2000) "User's Manual for BRI-STARS", FHWA, Virginia, .8. Vásquez, José (1999) "Estudio integral de las defensas ribereñas del río Tumbes-Apéndice F:Modelo matemático de flujo", Universidad de Piura, Perú.
7. Vásquez, José (2000) "Estudio integral de las defensas ribereñas del río Piura-Apéndice H:

8. Vásquez, José (2001) "Modelación numérica del río Piura", XIII CONIC, Puno, Perú.

## **GLOSARIO DE TERMINOS**

**Agua.-** Es un fluido incompresible, es decir que si un volumen de agua se somete a una fuerza externa, dicho volumen se mantiene constante, o bien su densidad no cambia bajo ninguna circunstancia.

**Afluentes.-** Son los ríos secundarios que desembocan en un río principal.

**Corriente Fluvial.-** Es la escorrentía que pasa por el cauce de un río, dicha agua es procedente de los manantiales, montañas, quebradas, entre otras.

**Hietogramas.-** Es una gráfica que indica la variación de la altura de lluvia o su intensidad para un intervalo de tiempo.

**Caudal.-**Es el volumen de escorrentía superficial por unidad de tiempo que pasa por un punto de control, el mismo que se expresa en m<sup>3</sup>/sg o lt/sg.

**Gálibo o Altura libre.-**El gálibo se define como el espacio libre entre el nivel máximo del flujo de crecida y el nivel inferior del tablero del puente proyectado

**Número de Reynolds.-**Es un número adimensional utilizado en mecánica de fluidos, diseño de reactores y fenómenos de transporte para caracterizar el movimiento de un fluido.

## **SIMBOLOGIA**

<b>A:</b>	Área de drenaje
<b>P:</b>	Perímetro de la cuenca
<b>Dd:</b>	Densidad de Drenaje
<b>Lc:</b>	Longitud total de las corrientes de agua
<b>D:</b>	Desnivel de las curvas de Nivel
<b>Lx y Ly:</b>	Longitud total de las líneas de las mallas en la dirección x,y dentro de la cuenca.
<b>Nx y Ny:</b>	Número total de intersecciones y tangencias de las líneas de la malla en la dirección x,y con las curvas de nivel.
<b>Sp:</b>	Pendiente media
<b>Tc:</b>	Tiempo de concentración
<b>C:</b>	Coefficiente de escorrentía
<b>CN:</b>	Numero de Curva del SCS.
<b>hp(prom):</b>	Altura de precipitación
<b>At:</b>	Área total de la cuenca
<b>Ai:</b>	Área de influencia de la precipitación
<b>A`i:</b>	Áreas consideradas
<b>n:</b>	Número de estaciones
<b>Hei:</b>	Lluvia en exceso
<b>Δhei:</b>	Lluvia en exceso en un intervalo de tiempo Ati.
<b>Tp:</b>	Es el tiempo en que se produce el máximo caudal.

<b>Tb:</b>	Es el tiempo que transcurre desde que inicia la escorrentía directa hasta que termina.
<b>Q:</b>	Descarga máxima de diseño
<b>I:</b>	Intensidad de precipitación máxima
<b>R:</b>	Riesgo de falla admisible
<b>Tr:</b>	Tiempo de retardo
<b>Hu:</b>	Hidrograma Unitario
<b><math>R_h</math>:</b>	Radio Hidráulico de la sección m
<b>V:</b>	Velocidad media en la sección, m/sg
<b>v:</b>	Viscosidad cinemática del agua en $m/sg^2$
<b>F:</b>	Número de Froude
<b>V:</b>	Velocidad media de la sección