

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra

“Análisis Del Modelaje Hidráulico Del Sistema Hídrico Del Río
Chaguana, Mediante El Uso Del Modelo Hec-Ras”

TESIS DE GRADO

Previo a la obtención del Título de:

INGENIERO CIVIL

Presentada por:

Christian Javier Vivas González

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2004

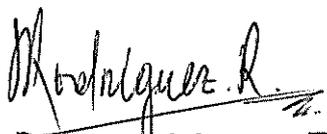
AGRADECIMIENTO

A todas las personas que de uno u otro modo colaboraron en la realización de este trabajo y especialmente en el Ing. David Matamoros, Director de Tesis, por su invaluable ayuda.

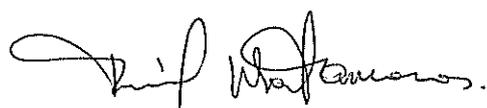
DEDICATORIA

A mi madre, la Sra.
Carmen González de
Vivas, y a mi familia,
que siempre me
brindaron su apoyo
incondicional.

TRIBUNAL DE GRADUACION



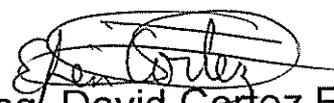
Ing. Julio Rodríguez R
SUBDECANO DE LA FICT
PRESIDENTE



Ing. David Matamoros C.
DIRECTOR DE TESIS



Ing. Gastón Proaño C.
VOCAL



Ing. David Cortez F.
VOCAL

DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad del contenido de esta Tesis de Grado, me corresponde exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”

A handwritten signature in black ink, written over a horizontal line. The signature is cursive and appears to read 'Christian Vivas G.'.

Christian Javier Vivas G.

RESUMEN

El presente trabajo desarrolla el Modelaje Hidráulico del Sistema Hídrico del Río Chaguana, Provincia de El Oro, compuesto por dos ríos: el Zapote y el Chaguana, mediante el uso del Modelo Hidráulico HEC-RAS.

El Modelaje Hidráulico consiste en el cálculo de los “Perfiles Hidráulicos” de cada uno de los tramos de los ríos analizados, a partir de datos obtenidos en campo. El Modelo también permitirá obtener los parámetros hidráulicos característicos de estos ríos.

En su primera parte, se presenta la metodología utilizada para el desarrollo del presente trabajo, entre lo que se destaca los procedimientos de recopilación y generación de información. De igual manera, se revisan todos los fundamentos teóricos para el análisis y manejo de ríos

Luego se presenta los Datos Primarios de la cuenca hidrográfica correspondiente al Río Chaguana, así como los Datos Secundarios de cada uno de los ríos analizados, los mismos que fueron obtenidos a partir de Campañas de Muestreo.

Finalmente se realiza una introducción a los procedimientos de cálculo que efectúa el modelo, para poder realizar el modelaje de los ríos Zapote y Chaguana.

INDICE GENERAL

	Pág.
RESUMEN.....	II
INDICE GENERAL.....	III
ABREVIATURAS.....	IV
SIMBOLOGIA.....	V
INDICE DE FIGURAS.....	VI
INDICE DE TABLAS.....	VII
INDICE DE PLANOS.....	VIII
CAPITULO 1	
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Generalidades.....	1
1.2. Objetivos.....	5
1.2.1. Objetivo General.....	5
1.2.2. Objetivos Específicos.....	5
1.3. Justificación del Proyecto	6
1.4. Selección del Área de Estudio	8
1.5. Metodología utilizada	8
1.5.1. Recolección de Información.....	8
1.5.2. Generación de Información.....	12

1.5.3. Procesamiento de los Datos Obtenidos.....	14
1.5.4. Resultados del Modelo Hidráulico.....	15

CAPITULO 2

2. FUNDAMENTO TEORICO PARA EL ANALISIS HIDRAULICO DEL RIO CHAGUANA.....	17
2.1. Ciclo Hidrológico.....	19
2.2. Características de una Cuenca.....	21
2.2.1. Cuenca receptora.....	22
2.2.2. Tramo medio.....	25
2.2.3. Cono de deyección.....	27
2.3. Factores que actúan en la Generación de Caudales Sólidos y Líquidos.....	28
2.3.1. Características de la lluvia.....	29
2.3.2. Erosión pluvial.....	31
2.3.3. Dinámica de los cauces.....	32
2.3.5. Rugosidad del Cauce.....	40
2.4. Transporte de Sedimentos.....	52
2.4.1. Socavación y Erosión en ríos.....	54
2.4.2. Agradación en ríos.....	56

CAPITULO 3

3. DATOS DE LA CUENCA DEL RÍO CHAGUANA	57
3.1. Obtención de Datos Primarios.....	57
3.1.1. Localización del Área de Estudio.....	57
3.1.2. Topografía de la Cuenca.....	58
3.1.3. Información Meteorológica de la Cuenca.....	59
3.1.4. Caudales de los Sistemas Hidráulicos.....	61
3.1.5. Uso y Tipos de Suelos.....	62
3.2. Generación de Datos Hidráulicos (Datos Secundarios).....	64
3.2.1. Secciones Transversales.....	64
3.2.2. Caudales medidos en Campo.....	65
3.2.3. Rugosidades de los Canales (n de Manning).....	67
3.2.4. Coeficientes de Contracción y Expansión.....	72

CAPITULO 4

4. DESCRIPCION DEL MODELO HEC-RAS	75
4.1. Metodología de Trabajo del HEC-RAS.....	76
4.1.1. Pasos en el Desarrollo de un Modelo Hidráulico con HEC-RAS.....	77
4.2. Metodología de Cálculo del HEC-RAS.....	83
4.2.1. Determinación de la Altura Crítica.....	90
4.2.2. Aplicación de la Ecuación del Momento.....	96

4.2.3. Limitaciones del Programa para Flujo Permanente.....	98
4.3. Requerimiento Básico de Datos.....	100
4.3.1. Datos Geométricos.....	100
4.3.2. Datos de Flujo Permanente.....	110

CAPITULO 5

5. ANALISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN EL MODELO.....	115
5.1. Resultados Gráficos del Modelo.....	118
5.1.1. Secciones Transversales.....	118
5.1.2. Perfiles Hidráulicos.....	125
5.1.3. Curvas de Gastos (Rating Curves).....	130
5.1.4. Curvas Generales del Sistema Hídrico.....	134
5.2. Resultados Tabulares del Modelo.....	148
5.3. Matriz de Valoración de los Resultados del Modelo.....	152

CAPITULO 6

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	155
6.1. Conclusiones.....	155
6.2. Recomendaciones.....	158

PLANOS Y ANEXOS

BIBLIOGRAFIA

ABREVIATURAS

m	Metro
m/m	Metro por metro
m ²	Metro cuadrado
m ³	Metro cúbico
m/s	Metro por segundo
m/s ²	Metro por segundo al cuadrado
m ³ /s	Metro cúbico por segundo
mm	Milímetro
Km ²	Kilómetro cuadrado
ha	Hectárea
Kg/m ³	Kilogramo por metro cúbico
N/m ²	Newton por metro cuadrado
N/m s	Newton por metro por segundo

SIMBOLOGÍA

τ_o	Tensión de Corte originada por el flujo
ρ	Densidad del Agua
g	Aceleración de la gravedad
R	Radio Hidráulico
A	Área de la sección mojada
I, S_e	Pendiente de la línea de energía
τ_{crit}	Tensión límite del suelo
NF	Número de Froude
n	Rugosidad de Manning
n_b	Rugosidad Base
n_1	Factor de irregularidad
n_2	Factor de variación del canal
n_3	Factor de obstrucción
n_4	Factor de vegetación
m	Grado de Factor Meándrico
Q	Caudal

INDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla II.1	Clasificación de los Ríos.....36
Tabla II.2	Coeficientes de Contracción y Expansión.....38
Tabla II.3	Valores Base del n de Manning.....45
Tabla II.4	Valores de Ajuste para Factores que Afectan la Rugosidad de un Canal.....51
Tabla III.1	Estaciones Meteorológicas Recopiladas.....61
Tabla III.2	Uso y Tipos de Suelos de la Cuenca del Río Chaguana.....63
Tabla III.3	Secciones Transversales.....65
Tabla III.4	Caudales medidos en Campo.....66
Tabla III.5	Tamaño Medio del Material de Márgenes y Fondo.....68
Tabla III.6	Rugosidad Base (n_b).....69
Tabla III.7	Factores de Corrección.....70
Tabla III.8	Rugosidad Final (n).....72
Tabla III.9	Coeficientes de Contracción y Expansión.....73

Tabla V.1	Consideraciones Hidráulicas de los Escenarios 1 y 2.....	116
Tabla V.2	Gráficas de los Perfiles Hidráulicos en Secciones Transversales.....	120
Tabla V.3	Gráficas de Perfiles Hidráulicos en el Sistema Hídrico.....	125
Tabla V.4	Gráficas de Curvas de Gastos de las Secciones Transversales del Sistema Hídrico del Río Chaguana.....	130
Tabla V.5	Gráficas de las Curvas Generales del Sistema Hídrico.....	134

INDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura II.1	Ciclo Hidrológico del Agua.....20
Figura II.2	Sectores de una Cuenca.....22
Figura II.3	Sección Transversal Típica.....33
Figura IV.1	Menú de Inicio del Proyecto Chaguana.....78
Figura IV.2	Menú de Inicio del Proyecto Zapote.....79
Figura IV.3	Menú de Secciones Transversales.....80
Figura IV.4	Representación de los términos de la Ecuación de la Energía...84
Figura IV.5	Diagrama Energía vs. Elevación de Superficie de Agua.....92
Figura V.1	Sistema Hídrico del Río Chaguana.....119
Figura V.2	Secciones Transversales del Río Zapote – Escenario 1.....121
Figura V.3	Secciones Transversales del Río Zapote – Escenario 2.....122
Figura V.4	Secciones Transversales del Río Chaguana – Escenario 1....123
Figura V.5	Secciones Transversales del Río Chaguana – Escenario 2....124
Figura V.6	Perfil Hidráulico del Río Zapote – Escenario 1.....126

Figura V.7	Perfil Hidráulico del Río Zapote – Escenario 2.....	127
Figura V.8	Perfil Hidráulico del Río Chaguana – Escenario 1.....	128
Figura V.9	Perfil Hidráulico del Río Chaguana – Escenario 2.....	129
Figura V.10	Curvas de Gastos del Río Zapote.....	132
Figura V.11	Curvas de Gastos del Río Chaguana.....	133
Figura V.12	Curvas Generales del río Zapote.....	136
Figura V.13	Curvas Generales del río Chaguana.....	137
Figura V.14	Tabla de Resultados - Sección Transversal.....	149
Figura V.15	Tabla de Resultados - Perfiles Hidráulicos del Zapote.....	150
Figura V.16	Tabla de Resultados - Perfiles Hidráulicos del Chaguana.....	151

INDICE DE PLANOS

Mapa III.1 Localización del Área de Estudio

Mapa III.2 Topografía de la Cuenca

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Generalidades

Si bien es cierto que el promedio anual de precipitación en el Ecuador es de 1,200 milímetros, el abastecimiento de agua se ha convertido en un problema muy serio en el país. Las razones principales de los problemas de abastecimiento de agua en el país, son la desigual distribución de precipitación y de población, así como la falta de infraestructura agraria. Algunas áreas reciben sólo 250 milímetros de precipitación anual, mientras que otras reciben alrededor de 6,000 milímetro por año. Algunas regiones no cuentan con registros de precipitaciones por meses (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología –INAMHI, Dirección de Informática). La gran parte de la población ocupa las regiones montañosas y la cuenca de Guayas en las tierras costeras bajas del Pacífico. En contraste, el 80 por ciento del

agua disponible en el país se encuentra en la escasamente poblada área de la cuenca del Amazonas.

En nuestro país, solamente el 10 por ciento del total de agua es utilizado adecuadamente, y de esta, 97 por ciento es utilizada para irrigación y 3 por ciento para propósitos domésticos e industriales. (USACE, 1998).

Debido a la deforestación, sobre-utilización y pobres prácticas de cultivos, se han registrado pérdidas importantes de tierra superficial alrededor del país.

La Información sobre la utilización de agua subterránea para la agricultura en el país es muy limitada, siendo el agua superficial la base de la mayoría de los sistemas de irrigación, los que en su mayoría, son ineficientes.

La gran mayoría de los sistemas de irrigación carecen de estructuras de captación y distribución que permiten el control y utilización del agua, y la mayoría de estos corresponden a canales abiertos, con pérdidas de hasta el 90 por ciento del agua (USACE, 1998).

El Consejo Nacional de Recursos Hidrológicos (CNRH) es la agencia responsable de permitir el desarrollo de sistemas de abastecimiento de agua en Ecuador. Esta agencia regula y coordina las solicitudes para el desarrollo de proyectos para el abastecimiento de agua doméstica, agrícola e

industrial. La agencia es relativamente nueva y ha heredado las bases de datos hidrológicos y de calidad de agua del Instituto Ecuatoriano de Recursos Hidráulicos (INERHI), agencia previamente responsable por el desarrollo de los proyectos de agua. Estudios realizados por CNRH demuestran que el promedio anual de precipitación está disminuyendo de 2 a 18 milímetros por año en muchos sectores del país.

Es fácil advertir que muchas actividades dependen de la utilización de los recursos hídricos, siendo innegable la relación que existe entre el uso del agua y el desarrollo sostenible. La buena utilización del agua inducirá de manera directa en el buen uso de los recursos naturales.

A medida que la población crece, se incrementa la presión sobre el medio ambiente, debido a la demanda de recursos naturales; esta demanda por lo general no es cubierta por los potenciales presentes en las cuencas, principalmente por las limitaciones tecnológicas y económicas.

Existe un claro reconocimiento de la necesidad de desarrollar más ampliamente las capacidades técnicas en la determinación de las áreas más propensas a sufrir algún tipo de fenómeno natural (inundaciones, sequías, etc.), desarrollando sistemas de predicción y advertencia, mediante la recopilación y análisis de la información hidrometeorológica existente.

El Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos tiene varios programas de computación para la cuantificación y administración de recursos de agua. Estos programas están siendo aplicados ampliamente a nivel internacional.

Muchos ingenieros del Ecuador están al tanto del Centro de Ingeniería Hidrológica del Cuerpo de Ingenieros (Hydrologic Engineering Center, HEC) y están familiarizados con varios de los programas de computación desarrollados por HEC. Quizás el más conocido es el programa HEC-2, actualmente reemplazado por el HEC-RAS, el cual es utilizado para calcular los perfiles hidráulicos en canales.

Además del programa HEC-RAS, otros programas HEC incluyen almacenamiento y administración de datos, regulación de represas, transporte de sedimentos, hidráulica de los ríos, hidrología estadística e hidrología de agua superficial.

Un entrenamiento apropiado en el manejo y aplicación de estos modelos, es sustancial para el éxito general de un plan de administración de recursos de agua.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo General

- Aplicar los conocimientos obtenidos en la ejecución del presente trabajo de investigación, con el fin de desarrollar criterios que pudiesen servir para elaboración de futuros temas de investigación.

1.2.2. Objetivos Específicos

- Aplicación del programa Hec-Ras en el desarrollo de un Proyecto Hidráulico.
- Determinar las características geomórfológicas de la Cuenca del Río Chaguana.
- Aplicar técnicas de muestreo para la obtención de los Datos Primarios y Secundarios necesarios para la utilización del Modelo Hidráulico.
- Modelar mediante el Hec-Ras, el comportamiento de los perfiles hidráulicos del Sistema Hídrico del Río Chaguana, ante diversas condiciones de caudales.

- Calcular los parámetros hidráulicos principales, en los diferentes tramos de interés del proyecto, los mismos que pudieran ser utilizados en el prediseño de obras hidráulicas para mejorar las condiciones actuales del Sistema Hídrico.
- Elaborar una matriz de valoración, en la que se determinará la calidad de los datos primarios y secundarios obtenidos para el desarrollo del presente proyecto de tesis, así como recomendaciones para mejorar la calidad de los mismos.

1.3. Justificación del Proyecto

De acuerdo a datos históricos, entre 1994 y 1997 se ha registrado una persistente sequía, lo que ha disminuido la duración de la descarga y del caudal en muchos arroyos intermitentes en la región de las Montañas de los Andes (USACE, 1998).

Adicionalmente, la contaminación del agua está eliminando muchos recursos de agua tanto potenciales como existentes. La mayoría de la contaminación proviene de desperdicios domésticos, químicos agrícolas (especialmente a lo largo de la costa). La minería aurífera también crea problemas de contaminación en ciertas áreas de la costa y la sierra.

En el sector agrícola, por ejemplo plantaciones bananeras, se utilizan grandes cantidades de químicos agrícolas (pesticidas), los cuales tienden a difundirse en el área del Golfo de Guayaquil. Este transporte de contaminantes está disminuyendo la calidad del agua, y por ende, afecta a sectores productivos como la industria camaronera.

El interés por entender esta problemática, ha derivado en un proyecto de investigación financiado por un convenio de cooperación entre universidades flamencas de Bélgica, y la ESPOL: Programa ESPOL-VLIR. Específicamente el Proyecto 4 de este Programa tiene por objetivo investigar los problemas ambientales generados por el sector agrícola.

Dentro del marco investigativo del Proyecto 4, se contempla el apoyo logístico a tesis de grado tendientes a analizar problemas específicos dentro de la investigación principal del Proyecto. Dicha investigación contempla el análisis de la contaminación de pesticidas en una cuenca hidrográfica de la Provincia de El Oro.

La presente tesis de grado servirá de apoyo en lo referente al análisis hidráulico de dicho sistema hídrico.

1.4. Selección del Área de Estudio

Como se menciona en el ítem anterior, el Proyecto 4 del Programa ESPOL-VLIR, tiene por objetivo investigar los problemas ambientales generados por el sector agrícola, por lo que se determinó el análisis de una cuenca hidrográfica en la que el Banano sea el principal producto de cultivo.

La cuenca del río Chaguana, ubicada en la provincia del Oro, cumplía con las características requeridas para realizar los trabajos que incluía el Proyecto.

1.5. Metodología utilizada

1.5.1. Recopilación de Información.

La búsqueda de la información básica que se requiere para iniciar el estudio hidrológico de la Cuenca del Río Chaguada, demandó una investigación exhaustiva en las entidades oficiales y particulares que tienen

relación con la región particular donde está localizada el área del proyecto. Mediante esta investigación se hizo un inventario que incluye los siguientes aspectos:

- Información Topográfica
- Información Hidrometeorológica
- Uso de Suelo

Información Topográfica

El procedimiento ideal para la elaboración de estudios hidrológicos consiste en utilizar mapas con curvas de nivel, a escalas que estén preferiblemente entre 1:10.000 y 1: 25.000. Cabe recalcar, que en regiones apartadas de los centros urbanos, en áreas montañosas y en zonas selváticas, la información cartográfica a escalas mayores de 1:100.000 resulta muy parcial.

La entidad encargada de preparar las cartas topográficas en el Ecuador, es el Instituto Geográfico Militar (IGM), quien a su vez recibe la colaboración del Interamerican Geodetic Survey (IAGS). Se procedió entonces a la recopilación de las cartas topográficas correspondientes a las zonas en estudio.

Hidrometeorología

Este tipo de datos comprende información climatológica e hidrométrica. La información climatológica incluye registros de precipitación, temperatura, humedad atmosférica, evaporación y vientos en la cuenca de estudio y en cuencas vecinas de la misma región.

La información hidrométrica comprende los registros de los caudales sólidos y líquidos en tramos seleccionados de las corrientes de drenaje. Estos caudales constituyen la información más valiosa para la ejecución de los estudios hidrológicos, y generalmente, es la más escasa. La información hidrométrica que se debe recolectar es la siguiente:

- Caudales medios diarios
- Caudales máximos instantáneos
- Registros de aforos sólidos y líquidos

En el Ecuador, La información hidrometeorológica ha sido recopilada y administrada por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI). Actualmente, el Consejo Nacional de Recursos Hidrológicos (CNRH), es la entidad encargada.

Con estas premisas, se procedió a la recopilación de los datos hidrometeorológicos administrados por dichas entidades.

Cabe recalcar que durante las diferentes campañas de muestreo que se realizaron, se incluyeron mediciones de velocidades del flujo del río. Estas mediciones de velocidad servirán para generar caudales instantáneos medios en estos puntos, logrando así obtener datos de flujo para cada una de los puntos de muestreo analizados.

Uso y tipo de Suelo

Se procederá a realizar un análisis del uso actual del suelo, así como de las proyecciones de desarrollo futuro. Dentro de este aspecto se incluyen las clasificaciones de los suelos y la determinación de áreas potencialmente erosionables.

El Proyecto VLIR-ESPOL desarrolló el “Estudio y Diagnóstico Ambiental del Chaguana”, investigación en la que se describen datos relacionados con el uso de suelo actual de la zona de la Cuenca del Chaguana, así como la clasificación de los tipos de suelo existentes en el sector.

Basados en este documento, Bonini y Guzmán (2003), realizaron un cuadro en que se detallan los usos y tipos de suelos que conforman el área de la cuenca en estudio. Este cuadro servirá entonces como soporte para la recopilación de información referente al tema.

1.5.2. Generación de Información

Área de la Cuenca

Una vez que se ha recopilado las hojas topográficas correspondientes al área de estudio, se procederá a digitalizar las curvas de nivel existentes.

Se utilizará el programa ArcView, como plataforma para el manejo de dicha información, para lo cual se desarrollará un Modelo Digital de Elevación (Digital Elevation Model – DEM). Este DEM, permitirá determinar mediante una extensión hidrológica (macro) del programa, la delimitación de la cuenca.

Secciones Transversales del Sistema Hídrico.

Como parte de las diferentes campañas de muestreo realizadas por el Programa VLIR-ESPOL, se realizaron mediciones topográficas de algunos perfiles transversales de los ríos Chaguana y Zapote. Mediante la utilización de un GPS (Sistema de Posición Geográfica), se procedió a georeferenciar los perfiles obtenidos.

Como ya fue mencionado, al momento de las mediciones realizadas para la obtención de las secciones de los ríos, se procedió también a realizar mediciones de velocidades del flujo. Estas velocidades servirán para obtener los caudales instantáneos de agua de las secciones transversales analizadas.

Rugosidades (n de Manning).

Como base para el cálculo y selección de las rugosidades, tanto del fondo del lecho como de las márgenes izquierda y derecha del río, se incluyó en la campaña de muestreo, la toma de muestras del material que conforma el río.

Se recolectaron dos muestras en cada uno de los puntos en donde se realizaron mediciones de perfiles transversales. Estas muestras contenían material característico de las márgenes, y del sedimento que conformaba el fondo de la sección. Cada muestra representó aproximadamente 800 cm^3 , y fueron debidamente etiquetadas y almacenadas. Se aplicaron pruebas de laboratorio a cada una de las muestras, en donde se obtuvieron las características granulométricas de las mismas.

Recordamos que la rugosidad (n) de Manning, incluye consideraciones de varios parámetros característicos de un canal, entre los que se incluyen factores de irregularidad de superficie, variación de forma y tamaño del la

sección transversal del canal, obstrucciones, vegetación y condiciones de flujo.

Los resultados granulométricos obtenidos en laboratorio, servirán para la obtención de un valor base (n_b). Una explicación más detallada del procedimiento seguido para la selección de los parámetros de rugosidad, se realizará en el Capítulo 2 - "Fundamento Teórico del Análisis Hidráulico".

1.5.3. Procesamiento de los Datos Obtenidos.

Una vez que se han recopilado y generado los datos necesarios para realizar el análisis hidráulico de los tramos de los ríos, se procederá a procesarlos, de tal manera que puedan ser ingresados al modelo HEC-RAS.

Las secciones transversales perteneciente a cada tramo, tanto para el Río Chaguana como para el Río Zapote, deberán ser ingresadas a manera de tabla, determinando las coordenadas y elevación de cada uno de los puntos obtenidos en la topografía de cada sección transversal. Se deberá también medir las longitudes existentes entre cada uno de las secciones transversales. Esto servirá para que el Modelo reconozca el espaciamiento existente entre cada sección.

Los datos de las rugosidades, tanto del lecho como de las márgenes de cada uno de los perfiles, deberán ser ingresados en el modelo. Se deberá también determinar **los coeficientes de contracción y expansión** para cada uno de las secciones transversales. Estos coeficientes servirán para que el modelo calcule las pérdidas debido a la contracción y expansión del flujo, entre dos secciones transversales.

Para obtener estos coeficientes, se deberá realizar una calificación cualitativa de la transición que sufre el flujo, determinando así si esta transición es insignificante, si es gradual, si es una transición producida por la presencia de un puente, o si es una transición abrupta. Para cada un de estas clasificaciones, existe un coeficiente, tanto para la contracción como para la expansión. Estos coeficientes varían entre 0.000 y 0.800.

Luego de ingresar todos los datos geomorfológicos de las secciones transversales, se procederá a ingresar los datos de flujo permanente. Se ingresarán los caudales instantáneos para cada una de las secciones transversales.

1.5.4. Resultados del Modelo Hidráulico.

Resultados Gráficos

Una vez ingresados todos los datos necesarios para realizar una corrida del modelo, el HEC-RAS ofrece opciones gráficas para visualizar los resultados obtenidos.

Entre estos resultados se podrán apreciar los **perfiles hidráulicos** existentes en cada sección transversal. El modelo calculará y graficará las líneas de gradientes de energía, las líneas de la altura crítica, y las líneas de la superficie de agua de cada perfil.

El modelo generará una **curva de gastos** para cada uno de las secciones transversales ingresadas. Estas curvas de gastos determinarán la variación que sufren los caudales a cada profundidad de agua.

Por último, el modelo ofrece la opción de visualizar diferentes **curvas generales del sistema hídrico**. En estas curvas se podrán apreciar la variación de diversos parámetros del río, en función de la longitud del mismo. Estos parámetros incluyen: Velocidad, flujo, área, ancho del canal, rugosidad, Número de Froude, radio hidráulico, resistencia al corte, área superficial, y volumen.

Resultados Tabulares

Así como el modelo permite visualizar los resultados mediante gráficos, también presenta estos resultados a manera de tablas.

El modelo permite obtener dos tipos de tablas, una de ellas corresponden a los datos obtenidos para cada uno de las secciones transversales, la segunda tabla contiene los datos referentes a los perfiles hidráulicos calculados.

CAPITULO 2

2. FUNDAMENTO TEORICO PARA EL ANALISIS HIDRAULICO DEL RIO CHAGUANA

La distribución de los climas, la formación de las nubes, su inestabilidad, la producción de las lluvias, la variación de los niveles de los ríos, y el almacenamiento de agua en depósitos superficiales o subterráneos son temas que conforman una rama especialización dentro de la Ingeniería Hidrológica, que se conoce como Hidrología Superficial y Subterránea, respectivamente.

La Hidrología en su definición más simple es la ciencia que estudia la distribución, cuantificación y utilización de los recursos hídricos que están disponibles en el globo terrestre. Estos recursos se distribuyen en la atmósfera, la superficie terrestre y las capas del suelo (G. Silva, 2002).

Como ha ocurrido con otras ciencias, a medida que los estudios hidrológicos se fueron desarrollando fue necesario dividir el tema general en una serie de tópicos especializados e interdisciplinarios que se agruparon bajo el nombre de Planeamiento de los Recursos Hidráulicos. En el planeamiento se incluyen como temas principales la Meteorología, la Hidrología Superficial y la Hidrología del Agua Subterránea.

La Meteorología trata de los fenómenos que se desarrollan en la atmósfera y de la relación que existe entre los componentes del sistema solar.

La Hidrología Superficial estudia la distribución de las corrientes de agua que riegan la superficie de la tierra y los almacenamientos en depósitos naturales como lagos, lagunas o ciénagas.

Por último, en la **Hidrología del Agua Subterránea** se incluyen los estudios de los almacenamientos subterráneos, o acuíferos, en lo referente a localización, volumen, capacidad de almacenamiento y posibilidad de recarga.

La Hidrología Básica estudia los conceptos físicos del ciclo hidrológico, los métodos de recolección de información hidrológica y los procedimientos clásicos de procesamiento de datos estadísticos.

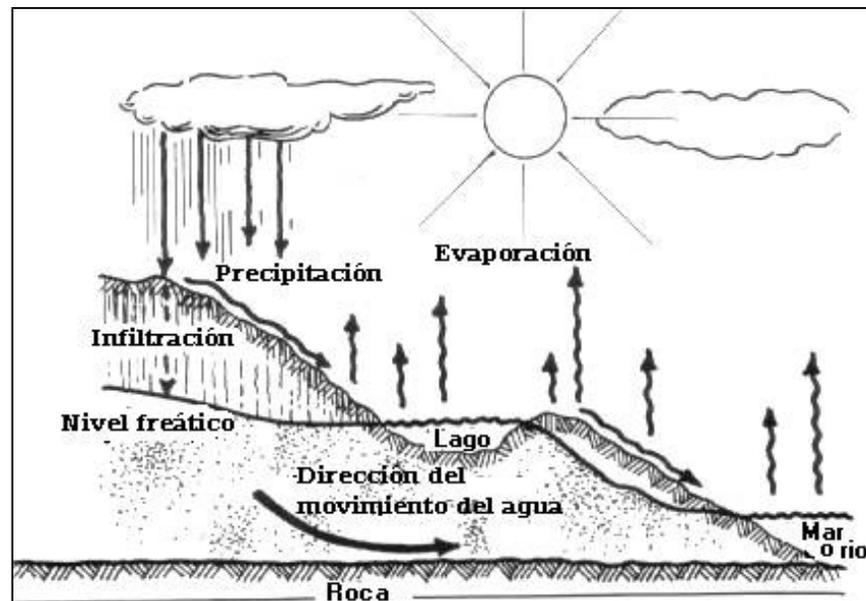
2.1. Ciclo Hidrológico

El ciclo del agua, o Ciclo Hidrológico, explica el campo de aplicación de la Hidrología y su relación con otras disciplinas como son la Meteorología, la Oceanografía, la Hidráulica, la Geotecnia, las Ciencias naturales, etc. El Ciclo comprende la circulación del agua desde los océanos hasta la atmósfera, luego a los continentes y nuevamente a los océanos.

En desarrollo del Ciclo Hidrológico el agua es transportada mediante procesos de Evaporación, Transpiración, Circulación Atmosférica, Condensación, Precipitación, Flujo Superficial y Subterráneo, y ocupa los almacenamientos que encuentra en su recorrido, tomando en cada caso el estado que corresponde a las condiciones imperantes de temperatura y presión. De esta forma, toma el estado líquido en océanos, lagos, embalses, ríos y acuíferos; el estado sólido en los glaciares y en los nevados, el estado gaseoso en la atmósfera y los estados sólido y líquido en las nubes.

En la Figura II.1, Ciclo Hidrológico del Agua, se aprecia una representación esquemática de los procesos en los que el agua es transportada, completando el Ciclo Hidrológico.

Figura II.1. Ciclo Hidrológico del Agua



Fuente: G. Silva, 2002

El volumen total de agua que participa en el Ciclo Hidrológico del Globo Terrestre es de 1.386 millones de kilómetros cúbicos aproximadamente (UNESCO, 1978).

El agua salada incluye los volúmenes almacenados en los océanos, en los acuíferos salados y en los lagos salados. Constituye el 97.47 % del total. El agua dulce no utilizable es la que no está disponible en forma líquida para su aprovechamiento inmediato en los proyectos de ingeniería. Está comprendida por los glaciares, la nieve y la humedad atmosférica. Representa el 1.76 % del recurso hídrico. En el agua dulce superficial se

consideran los volúmenes que pertenecen a los ríos, lagos y pantanos: ocupa solamente el 0.0076 % del total de agua que hay en el globo terrestre. Por último, el agua subterránea representa el 0.76 % del volumen total, lo cual indica que la cantidad de agua subterránea es 100 veces mayor que la de agua superficial.

El agua no está distribuida uniformemente sobre la superficie del globo terrestre; existen factores de tipo meteorológico, astronómico, orográfico, geográfico y geológico que regulan el comportamiento de las variables del Ciclo Hidrológico.

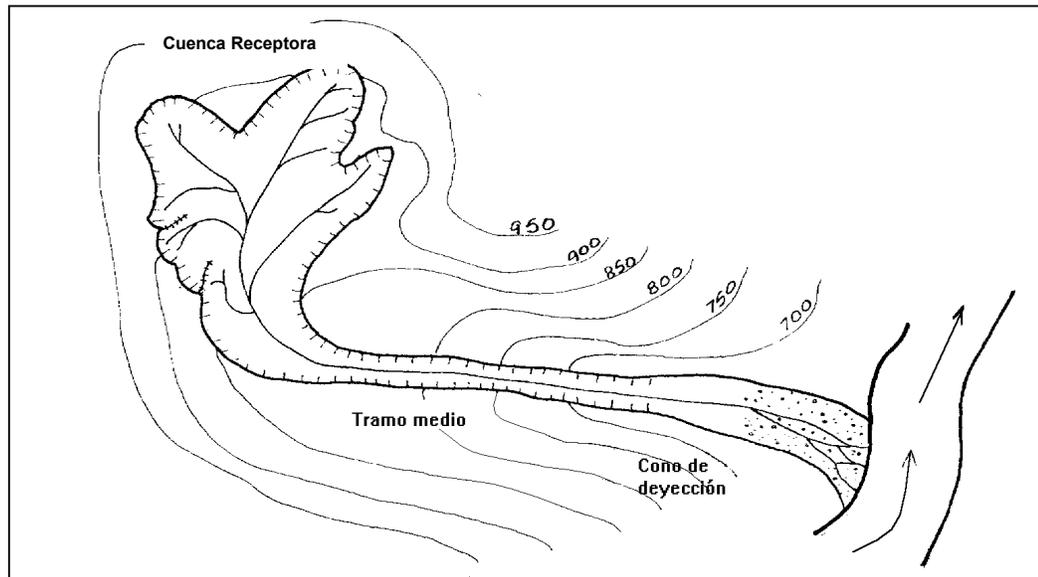
2.2. Características de una Cuenca

La cuenca de un río, en general, consta de tres sectores (Figura II.2):

- Cuenca Receptora
- Tramo medio
- Cono de deyección

Las cuencas adquieren condicionantes particulares con predominio de los elevados procesos de erosión, gran transporte de sedimentos y riesgos climáticos. Al mismo tiempo la ocupación del territorio se extiende prácticamente a toda su superficie, con prácticas agrícolas, pecuarias y mineras.

Figura II.2. Sectores de una cuenca.



Fuente: G.Silva, 2002

2.2.1. Cuenca receptora

La cuenca receptora, es la zona de mayor altura. De este sector proviene la mayor parte de los volúmenes de escurrimiento y es el de mayor aporte de sedimentos.

La erosión es un factor decisivo para este fenómeno, interviniendo factores como: topografía, propiedades físicas y químicas de los suelos.

El movimiento de masas puede atribuirse a las características geológicas, tectónicas, condiciones hidrológicas, propiedades químicas y físicas de las masas, clima, topografía, pendiente, cobertura vegetal, cambios en el contenido de agua en las masas de suelo.

Entre los tipos más característicos de movimientos de masas de tierra citamos los siguientes.

- **Derrumbes**

Desprendimiento de piedras en sectores de fuerte pendiente por influencia del agua y movimientos sísmicos.

- **Deslizamientos**

Movimientos en dirección de la pendiente, formados por masas de roca suelta o suelos. Se presentan en suelos arcillosos y limosos, con gran contenido de agua.

- **Cierre de Valle**

Movimiento muy lento de arrastre que cubre una gran extensión superficial. Este tipo de movimiento dura varios cientos de años y no puede ser regulado por el hombre porque tiene causas tectónicas.

Además de los movimientos de masas mencionados, adquieren relevancia los procesos de erosión laminar, a consecuencia del impacto directo de las gotas de lluvia sobre la superficie y el transporte de material por los escurrimientos superficiales.

Como consecuencia de la erosión laminar, se advierten sectores de suelo de color más claro en las laderas; el suelo orgánico de otro tiempo ha sido removido, quedando el subsuelo, más claro, pobre en materia orgánica.

En general, la superficie de los terrenos casi siempre es irregular, con depresiones y elevaciones, presentando además heterogeneidad en las características físicas y químicas de los suelos e irregularidades ocasionadas por las labores de labranza.

Estas condiciones dan lugar a que se presenten procesos de formación de surcos en dirección de la pendiente por la acumulación de agua en las depresiones hasta superar la resistencia de los componentes más débiles.

2.2.2. Tramo medio

El tramo medio de la cuenca, es por lo regular de topografía encajonada entre abruptos taludes, es más estrecho que las otras dos zonas y la solera de su lecho tiene pendientes acentuadas, aunque de menor magnitud que las que presenta la cuenca receptora. En este sector pueden presentarse procesos de erosión, esta vez debido a las grandes velocidades de flujo, originando fuertes tensiones de corte sobre la superficie del lecho; el flujo de agua adquiere gran capacidad de transporte.

A consecuencia de la erosión de fondo, el nivel de la solera disminuye progresivamente, aumentando la altura de los taludes laterales en la misma proporción, lo que puede provocar la inestabilidad de las riberas. Los cambios morfológicos se presentarán en función de la resistencia que ofrezcan los suelos componentes del perímetro hidráulico a la acción de las tensiones de corte del flujo.

En el tramo medio de la cuenca, se mantienen las condiciones de erosión, aunque esta vez el escurrimiento será responsable del proceso. El fenómeno de erosión origina la inestabilidad de los taludes por la

profundización del lecho. La erosión se manifiesta cuando la tensión de corte originada por el flujo:

$$\tau_o = \rho \cdot g \cdot R \cdot I$$

supera en magnitud a la tensión crítica del material que compone la solera:

τ_{crit}

Donde:

τ	Tensión de corte sobre la solera originada por el escurrimiento (N / m^2)
ρ	Densidad del agua (Kg / m^3)
g	Aceleración de la gravedad ($9.81 m / s^2$)
R	Radio Hidráulico (m) $R = A / U$
A	Área de la sección mojada (m^2)
U	Perímetro mojado (m)
I	Pendiente de la línea de energía, en general se asume igual a la pendiente de la solera.
τ_{crit}	Tensión límite del suelo, a partir de la cual las partículas de la solera entran en movimiento.

2.2.3. Cono de deyección

El cono de deyección, es el área donde se deposita la mayor parte del material generado por erosión en la cuenca receptora y en el tramo medio. La trayectoria del flujo cambia continuamente en razón a las características de zona de bajas pendientes y lecho aluvial. La condición de menor capacidad de transporte de sedimentos, dará lugar a que los sedimentos sean depositados de manera desordenada, generando continuos cambios de dirección del cauce.

Este tramo se encuentra ubicado en el sector inferior de la cuenca, constituyéndose en el lugar de deposición de los materiales erosionados en los sectores superiores. La zona adquiere pendientes menores, reduciéndose las velocidades y la capacidad de transporte, que dan lugar a procesos de sedimentación. La distancia que recorren las partículas de suelo desprendidas por la erosión depende de su tamaño, densidad, forma y velocidad de escurrimiento.

Algunos limos muy finos se sedimentan únicamente en las aguas estancadas; la arcilla muy fina y el humus coloidal no se sedimentan, permaneciendo suspendidas indefinidamente. Estas partículas permanecen en suspensión hasta que se coagulan por alcanzarse en el agua una

concentración determinada de electrolitos, o hasta que precipitan por producirse un brusco descenso de la temperatura.

La masa de tierra desprendida de las laderas se deposita al pie de estos terrenos o en planicies aluviales próximas. Esta masa es sobre todo resultado de la erosión laminar y de la erosión en surcos y se desplaza hasta distancias relativamente pequeñas de los terrenos de donde fueron desprendidos por la erosión, depositándose cuando la velocidad del escurrimiento disminuye. En ocasiones, gran parte de esta tierra puede depositarse formando pequeños abanicos aluviales cuando las corrientes experimentan cambios bruscos de pendiente.

En el cono de deyección, los problemas estarán asociados a desbordes e inundaciones de terrenos aledaños; en algunos casos estos lugares corresponden a terrenos de producción agrícola o urbanizaciones.

2.3. Factores que actúan en la Generación de Caudales Sólidos y Líquidos

Los principales factores que actúan en la generación de los caudales sólidos y líquidos que llegan a los cauces naturales están relacionados con las

características de la lluvia y de la cuenca, la erosión pluvial y la dinámica de los cauces. A continuación se detallan los fundamentos teóricos correspondientes a cada uno de los factores que actúan en la generación de caudales líquidos y sólidos.

No obstante, cabe recalcar que en la elaboración del presente trabajo, no se realizaron mediciones para la generación de Caudales Sólidos, solamente se investigó la generación de Caudales Líquidos.

2.3.1. Características de la lluvia

Intensidad

La intensidad de lluvia es aquella tasa de agua con la que cae la lluvia. Usualmente es medida en centímetros ó pulgadas por hora.

La intensidad de lluvia no considera la duración total de la lluvia. Esta puede ser considerada como la lluvia total en un período en particular.

Frecuencia

La frecuencia puede ser expresada como la probabilidad que tiene una intensidad de lluvia a ser igualada o excedida. La frecuencia puede también

ser expresada en términos del intervalo promedio entre intensidades de lluvia.

La frecuencia de una intensidad de lluvia no puede ser establecida sin especificar previamente la duración de la lluvia, debido a que la intensidad de lluvia varía con la duración de ésta.

Distribución Temporal

El análisis de la frecuencia de la intensidad de lluvia es discutido por Chow y otros autores. Generalmente se utilizan dos métodos para seleccionar los datos de lluvia que se utilizarán en los análisis de frecuencias. Estos métodos son: las series anuales y las series de duración parcial.

Las series anuales consideran únicamente la lluvia máxima de cada año (usualmente año calendario), e ignora las otras lluvias registradas en el mismo. Estas lluvias menores, registradas durante el año, muchas veces exceden las lluvias máximas de otros años.

Los análisis de series de duración parcial, consideran todas las lluvias mayores, sin considerar el número de ocurrencias dentro de un año en particular.

Para el diseño de obras hidráulicas con períodos de retorno mayores a 10 años, la diferencia entre estas dos series no tiene mayor relevancia.

Cuando el período de retorno (frecuencia de diseño) es menor a 10 años, las series de duración parcial son consideradas como las más apropiadas.

2.3.2. Erosión pluvial

La magnitud de la erosión pluvial depende del régimen de lluvias y de la geomorfología de la hoya vertiente. La erosión se cuantifica por medio del parámetro denominado "pérdida de suelo". Esta pérdida de suelo representa un potencial medio de erosión anual y se expresa en milímetros de suelo por año (mm/año).

Solamente una parte de este volumen llega hasta los cauces naturales y alimenta la carga de sedimentos en suspensión que transporta la corriente. Los siguientes son los factores que intervienen en el cálculo de la Pérdida de Suelo (G. Silva, 2002):

- Número de aguaceros fuertes en el año, intensidades de los aguaceros, tamaño y altura de caída de las gotas de agua.

- Erodabilidad del suelo.
- Distribución de los cultivos.
- Características físicas de la zona: Area, Longitud y Pendiente.

2.3.3. Dinámica de los cauces

La dinámica de los cauces depende de su caracterización hidráulica, la cual se basa en los siguientes aspectos:

Geometría del Cauce

La geometría del cauce está representada por la pendiente longitudinal y por las características de las secciones transversales del río.

Pendiente longitudinal

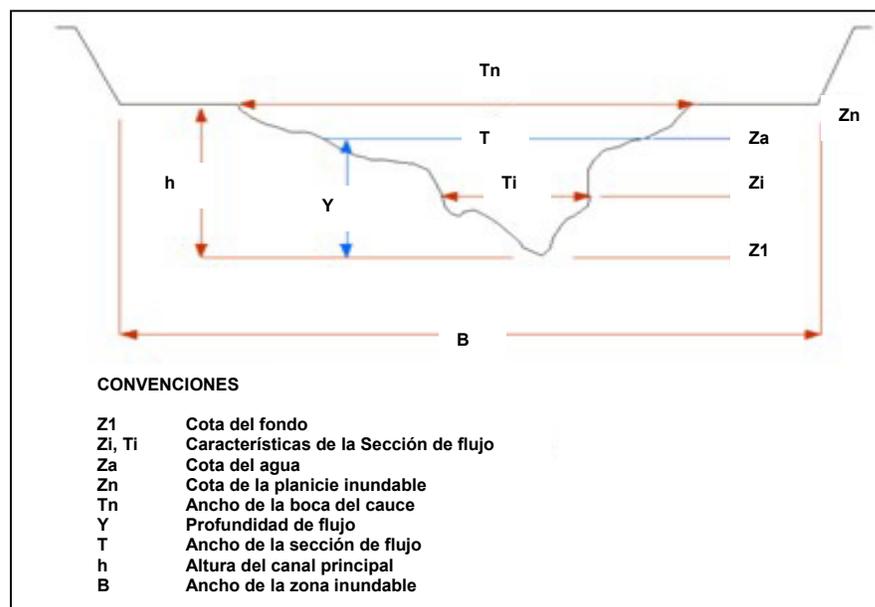
En cauces naturales la pendiente longitudinal se mide a lo largo de la línea del agua, debido a que el fondo no es una buena referencia, tanto por su inestabilidad como por sus irregularidades. La pendiente de la línea del agua varía con la magnitud del caudal, y esa variación es importante cuando se presentan cambios grandes del caudal en tiempos cortos, por ejemplo al paso de crecientes. En los períodos que tienen un caudal más o menos estable es posible relacionar las pendientes con los caudales utilizando registros de aforos.

Sección transversal

En los cauces naturales las secciones transversales son irregulares y la medición de sus características geométricas se realiza con levantamientos batimétricos.

En la Figura II.3, Sección Transversal Típica, se detallan los componentes básicos de una sección transversal.

Figura II.3 Sección Transversal Típica.



Fuente: G.Silva, 2002

La línea que une los puntos más profundos de las secciones transversales a lo largo de la corriente se denomina "thalweg". En las corrientes de lecho

aluvial se observan continuas variaciones en las secciones transversales y en la línea del thalweg. Las magnitudes y frecuencias de estas variaciones dependen del régimen de caudales, la capacidad de transporte de sedimentos, y el grado de estabilidad del cauce.

Sinuosidad

La Sinuosidad es la relación entre la longitud de un tramo de río medido a lo largo de sus línea central, y la longitud medida a lo largo de la línea central del valle o a lo largo de una línea recta que conecte los extremos del tramo del río. (HEC-20, 1995).

En algunas ocasiones, la sinuosidad es definida como la relación entre la pendiente del valle y la pendiente del río, o más comúnmente, la relación entre la longitud thalweg y la longitud del valle. Los tramos rectos en ríos, tienen una sinuosidad de uno, y el máximo valor de sinuosidad en ríos naturales, es alrededor de cuatro. En muchos casos, la sinuosidad de un río es raramente constante entre un tramo y el siguiente.

Un río recto, o uno que fluya directamente por la línea central del valle, en algunas ocasiones tendrá la misma pendiente que la del valle. A medida que la sinuosidad del río se incremente, su pendiente disminuirá en proporción directa. En forma similar, si un río sinuoso es alargado, la pendiente aumentará en proporción directa al cambio de longitud.

El tamaño, forma, y regularidad de lazos meándricos en los ríos, son aspectos que denotan sinuosidad. Cabe recalcar que no es común observar en la naturaleza lazos meándricos simétricos, y mucho menos común es encontrar una secuencia de dos o tres lazos idénticos y simétricos.

Existe una pequeña relación entre el grado de sinuosidad de un río, y su estabilidad lateral. Un río altamente meándrico puede tener una tasa de migración lateral más baja que la de un río sinuoso de tamaño similar. No obstante, la estabilidad en ríos depende principalmente de otras propiedades, especialmente de aquellas relacionadas al desarrollo de playas, y a la variabilidad del ancho del canal.

El Centro de Ingeniería Hidrológica (Hydrologic Engineering Center – HEC), propone una clasificación general de los ríos. Esta clasificación puede ser apreciada en la Tabla II.1.

Tabla II.1: Clasificación de los Ríos

CLASIFICACIÓN DE LOS RIOS	DESCRIPCIÓN
	Son ríos que bajo condiciones de márgenes llenas poseen una sinuosidad

CLASIFICACIÓN DE LOS RIOS	DESCRIPCIÓN
RECTOS	<p>pequeña, y bajo condiciones de márgenes bajos, desarrolla barras de arena en forma alternada. El thalwed se comporta en forma meándrica alrededor de estas barras, dando un aspecto sinuoso</p> <p>Los tramos rectos de un río, son considerados un estado de transición hacia la forma meándrica. Esto se debe a que un río recto es relativamente estable sólo en aquellos casos en que el tamaño y la carga de sedimentos son pequeños; el gradiente, velocidad y variabilidad de flujo es baja, y la relación ancho-profundidad del canal es relativamente baja.</p>
MEANDRICO	<p>Los ríos sinuosos, meándricos y altamente meándricos poseen inflexiones regulares que se observan sinuosas en una vista de planta, y consisten en una serie de curvas conectadas por tramos rectos.</p> <p>En un tramo recto, la formación de barras alternas producen que el thalweg sufra cambios continuos, esto produce que la corriente no se distribuya en forma uniforme a través de la sección transversal, siendo así reflectada hacia una margen y luego hacia la otra. Esto produce que el thalweg oscile transversalmente y se inicia la formación de curvas.</p> <p>Deslizamientos en las márgenes, deposiciones no uniformes de material en el lecho del río, basuras flotantes tales como árboles, y la fuerza de Coriolis debido a la rotación de la Tierra, son citadas como las causas de la formación meándrica en los ríos.</p> <p>En resumen, existe una pequeña relación entre el grado de sinuosidad y la estabilidad lateral del río. Un río altamente meándrico puede tener una tasa más baja de migración lateral que un río sinuoso de similar tamaño.</p>
TRENZADO	<p>Un río trenzado es aquel conformado por múltiples canales interlazados. En general, un río trenzado tiene pendiente pronunciada, carga de fondo alta en comparación con su carga en suspensión, y pequeñas cantidades de limos y arcillas en sus márgenes. Si el flujo es sobrecargado con sedimento, estos se depositan, agrandando el nivel del fondo e incrementando la pendiente del canal en un esfuerzo de obtener un fondo gradado. Así como el canal incrementa su pendiente, la velocidad también se incrementa, y se desarrollan canales múltiples. Los canales múltiples son generalmente formados como barras de sedimentos y depositados dentro del canal principal, causando que el sistema del canal se ensanche.</p>

Fuente: HEC-20, 1995.

Régimen de Flujo

El régimen de flujo en una sección particular de una corriente natural se clasifica en función del Número de Froude, "NF", el cual es una relación adimensional entre fuerzas de inercia y de gravedad.

En el régimen supercrítico ($NF > 1$) el flujo es de alta velocidad, propio de cauces de gran pendiente o ríos de montaña. El flujo subcrítico ($NF < 1$) corresponde a un régimen de llanura con baja velocidad. El flujo crítico ($NF = 1$) es un estado teórico en corrientes naturales y representa el punto de transición entre los regímenes subcrítico y supercrítico.

Contracción y Expansión

Una causa común de pérdida de energía dentro de un tramo (entre dos secciones transversales) es la contracción y expansión de flujo debido a cambios en la sección transversal. Cuando esto ocurre, estas pérdidas son calculadas en base a coeficientes de contracción y expansión (Tabla II.2).

Los coeficientes, los cuales son aplicados entre secciones transversales, son especificados como parte de los datos de la sección aguas arriba. Los coeficientes son multiplicados por la diferencia absoluta de velocidades entre una sección transversal y la siguiente sección aguas abajo, las cuales dan las pérdidas de energía debido a la transición.

Cuando el cambio entre las secciones transversales del río es pequeño, y el flujo es subcrítico, los coeficientes de contracción y expansión se encuentran normalmente en el orden de 0.1 y 0.3, respectivamente. Cuando el cambio en el área efectiva de la sección transversal es abrupto, como es el caso de la presencia de puentes, los coeficientes de contracción y expansión se encuentran en el orden de 0.3 y 0.5.

Tabla II.2: Coeficientes de Contracción y Expansión

Coeficientes de Contracción y Expansión para Flujos Subcríticos	Contracción	Expansión
Sin cálculo de pérdidas de transición	0.000	0.000
Transición Gradual	0.100	0.300
Secciones Típicas de Puentes	0.300	0.500
Transición Abrupta	0.600	0.800

Fuente: HEC-RAS – River Analysis Sistem.

El valor máximo de los coeficientes de contracción y expansión es uno (1.0). En general, los coeficientes empíricos de contracción y expansión deberán ser menores para flujos supercríticos. En un flujo supercrítico, la velocidad principal es mucho mayor, y cambios pequeños de profundidad pueden producir grandes cambios en la velocidad principal. En tramos en donde el

flujo es contraído y expandido, se deberá seleccionar cuidadosamente estos coeficientes.

Viscosidad

La viscosidad del agua representa un factor importante en el estudio de los cauces naturales. Esta viscosidad depende principalmente de la concentración de la carga de sedimentos en suspensión, y en menor escala de la temperatura.

En cauces limpios, es decir, aquellos en los que la concentración de sedimentos es menor del 10% en volumen, el agua se puede considerar como de baja viscosidad. A la temperatura de 20°C la viscosidad absoluta es del orden de 1 centipoise. (G.Silva, 2002).

En el caso extremo, cuando se conforman flujos de lodo, donde la proporción volumétrica entre el sedimento y el líquido sobrepasa el 80%, la viscosidad aumenta significativamente y puede llegar hasta los 4000 poises. Teniendo en cuenta que las fórmulas empíricas de flujo en corrientes naturales se han desarrollado para corrientes de agua limpia, es claro que las velocidades que se calculan con estas fórmulas resultan más altas que las velocidades reales cuando se aplican a flujos viscosos.

2.3.4. Rugosidad del Cauce

El coeficiente de rugosidad representa la resistencia a fluir que presenta el agua en cauces y llanuras de inundación.

Los resultados de la fórmula de Manning, un cálculo indirecto del flujo de un cauce, tienen aplicaciones en el manejo de flujos-planicies, en estudios de caudales, y en el diseño de puentes y cruces de carreteras sobre llanuras de inundación. La fórmula de Manning es:

$$V = \frac{1}{n} R^{2/3} S_e^{1/2}$$

Donde:

V= Velocidad media del flujo, en metros por segundo.

R= Radio Hidráulico, en metros.

S_e= Pendiente de la Gradiente de Energía, en metros por metro.

n= Coeficiente de rugosidad de Manning.

Los valores sugeridos para el n de Manning, tabulados acorde a factores que afectan la rugosidad, fueron estudiados por Chow (1959), Henderson (1966), y Streeter (1971).

Para la determinación del coeficiente de rugosidad, en el presente estudio se seguirá la metodología de cálculo sugerida por el Departamento de Exploración Geológica de los Estados Unidos (USGS), en la publicación 2339 (versión métrica) “Guía para la Selección de los coeficientes de Rugosidad de Manning para Canales Naturales y Llanuras de Inundación”.

Metodología de Cálculo

Los procedimientos descritos a continuación, se limitan únicamente a la selección de coeficientes de rugosidad, aplicado a flujos unidimensionales y en canales abiertos.

Las secciones transversales son típicamente divididas en sub-secciones en aquellos puntos donde se presenten rugosidades mayores o cambios en la geometría del canal. En resumen, estas sub-secciones deberán reflejar las condiciones representativas del tramo en estudio, y se determinarán coeficientes de rugosidad para cada sub-sección.

Existen diferentes formas de obtener los resultados para el cálculo de un valor de “n” equivalente para una sección transversal. Estos procedimientos, recopilados por Chow (1959,p. 136), utilizan cada una de las siguientes tres suposiciones.

1. La velocidad media en cada sub-sección de la sección transversal se mantiene constante.
2. La fuerza total resistente al flujo es igual a la suma de las fuerzas resistentes al flujo en las subdivisiones.
3. La descarga total de flujo es igual a la sumatoria de las descargas de las subdivisiones.

Valores de la rugosidad “n” del Canal

Los factores más importantes que afectan la selección de los valores “n” del canal son:

1. El tipo y tamaño de los materiales que componen el lecho y las márgenes del canal.
2. La forma del canal.

Cowan (1956), desarrolló un procedimiento para estimar los efectos que presentan estos factores en la determinación de un valor “n” para un canal.

El valor de la rugosidad “n” puede ser calculado de la siguiente manera:

$$n = (n_b + n_1 + n_2 + n_3 + n_4) m$$

En donde:

n_b = Es un valor base de n , para un canal recto, uniforme y regular, en materiales naturales.

n_1 = Factor de corrección para los efectos de las irregularidades de la superficie.

n_2 = Valor para las variaciones en forma y tamaño de las secciones transversales del canal.

n_3 = Valor para las obstrucciones.

n_4 = Valor para la vegetación y condiciones de flujo.

m = Factor de corrección para ríos meándricos.

Valor Base (n_b) para canales

En la selección del valor base de la rugosidad para las sub-secciones de un canal, éste deberá ser clasificado como estable o como arenoso. Un canal o río estable, está definido como aquel en el cual su lecho está compuesto por suelo firme, grava, canto rodado, peñasco, o roca. Además, el canal permanece sin cambios relativos. Un canal o río de arena, está definido como aquel en el que su lecho posee un suplemento ilimitado de arena.

Por definición, los rangos del tamaño de la arena oscilan entre 0.062 a 2 mm. La resistencia al flujo varía relativamente debido a que los materiales del lecho se mueven fácilmente, tomando diferentes configuraciones o formas de fondo. Las formas de fondo están en función de la velocidad de flujo, grano de arena, resistencia del lecho, y temperatura.

Los flujos producidos por estas formas de fondo están clasificados como régimen de flujo bajo y régimen de flujo alto, acorde con la relación existente entre la profundidad y la descarga. Los regímenes de flujo bajo ocurren durante descargas bajas, así como los regímenes de flujo alto ocurren durante descargas altas.

En regímenes de flujo bajo, el lecho puede presentarse plano y sin movimiento de sedimentos, o incluso podría presentar deformaciones y tener ondas uniformes formadas por el movimiento de los sedimentos aguas abajo. Estas ondas pequeñas son conocidas como ripples, y si su tamaño aumenta, son conocidas como dunas.

En regímenes de flujo alto, el lecho puede presentar superficies planas y movimientos de sedimento, incluso ondas de arena largas y suaves, en fase con las ondas de la superficie. Estas ondas son conocidas como ondas pasivas o antidunas.

A continuación se presenta la Tabla II.3, Valores Base del n de Manning. En esta tabla se incluyen valores base de “ n ” para varios tipos de canales, a partir del tamaño medio del Material del lecho de los mismos.

Tabla II.3 Valores Base del n de Manning			
Material del Lecho	Tamaño Medio del Material del lecho (en milímetros)	Canal Uniforme Recto¹	Canal Regular²
Canales de Arena			
Arena³	0.2	0.012	--
	.3	.017	--
	.4	.020	--
	.5	.022	--
	.6	.023	--
	.8	.025	--
	1.0	.026	--
Canales Estables y Llanuras de Inundación			
Concreto	--	0.012-0.018	0.011
Roca Cortada	--	--	.025
Suelo Firme	--	0.025-0.032	.020
Arena Gruesa	1-2	0.026-0.035	--
Grava Fina	--	--	.024
Grava	2-64	0.028-0.035	--
Grava Gruesa	--	--	.026
Canto Rodado	64-256	0.030-0.050	--
Peñasco	>256	0.040-0.070	--
Nota: ¹ Benson & Dalrymple , ² Para materiales indicados; Chow(1959) ³ Solo para regímenes de flujo Alto. Modificado por Aldridge & Garret, 1973. Fuente: USGS, 1995			

La elección de los valores de n seleccionados en la Tabla II.3, obedecerá al juicio personal y experiencia del diseñador.

Factores de Ajuste para los valores de “n”

Como ya se mencionó el ítem anterior, los valores n_b seleccionados en la Tabla II.1 corresponden a canales rectos, o con secciones transversales con forma uniforme. Las irregularidades del canal, alineamientos, obstrucciones, vegetación y forma meándrica del río, incrementan la rugosidad del mismo.

El valor para “n”, debe se ajustado en concordancia con los incrementos de rugosidad al valor base n_b . Estos ajustes se aplican a canales estables y de arena.

En la Tabla II.4, modificada por Aldridge y Garrett (1973), se muestran rangos de ajustes para factores que afectan la rugosidad del canal, para condiciones predominantes del canal. Cuando se seleccione los valores “n” del canal, se deberá considerar la profundidad de flujo. Si la profundidad de flujo es somera en relación del tamaño de los elementos rugosos, el valor n puede ser grande. El valor n decrece a medida que se incrementa la profundidad, excepto cuando las márgenes del canal sean mucho más rugosas que su lecho, o cuando una capa de vegetación densa cubra el canal en agua no profundas.

Irregularidad (n_1)

En los casos en que la relación entre el ancho y la profundidad es pequeña, la rugosidad causada por márgenes escarpadas, puntos proyectados, y

árboles y raíces expuestas a lo largo de las márgenes, pueden ser descritos en base a ajustes específicos.

Chow (1959) y Benson y Dalrymple (1967) mostraron que las márgenes severamente erosionadas y escarpadas pueden incrementar el valor “n” en más de 0.02. Se puede requerir ajustes mayores pueden para márgenes con mayor irregularidad.

Variación en la Sección Transversal del Canal (n_2)

El valor de “n” no está afectado significativamente por los grandes cambios en la forma y tamaño de la sección transversal, si estos son graduales y uniformes.

Una gran rugosidad, generalmente está asociada con alternaciones entre secciones transversales grandes y pequeñas, así como meandros muy cerrados, obstáculos, y desplazamientos extremo-a-extremo de canales con bajo nivel de agua.

El grado del efecto que tienen estos cambios en el tamaño del canal, depende primero, del número de alternaciones de las secciones transversales largas y pequeñas, y segundo, de la magnitud del los cambios. Los efectos de estos cambios abruptos, pueden extenderse aguas abajo, incluso por varios cientos de metros.

El valor de “n” para un tramo por debajo de una perturbación, puede requerir ajustes. Un incremento máximo de 0.003 en el valor de “n”, resultará del aumento de la curvatura del canal encontrado en el canal diseñado, y en los tramos de canales naturales utilizados para el cálculo de las descargas (Benson y Dalrymple. 1967).

Obstrucción (n_3)

Obstrucciones tales como troncos, material pétreo grueso, escombros, y pilotes de puentes, disturban el patrón de flujo en un canal, e incrementan la rugosidad.

La cantidad del este incremento depende de: la forma de la obstrucción; el tamaño de la obstrucción en relación con la sección transversal; y del número, distribución y espaciamiento de las obstrucciones.

El efecto que tienen estas obstrucciones en la rugosidad, está en función de la velocidad del flujo.

Cuando la velocidad de flujo es elevada, una obstrucción ejerce una esfera de influencia que es mucho mayor a la misma obstrucción, debido a que la obstrucción afecta al patrón de flujo en distancias considerables en cada extremo de ésta.

La esfera de influencia para velocidades presentadas generalmente en canales que poseen pendientes moderadas, es cerca de tres a cinco veces el ancho de la obstrucción.

Algunas obstrucciones pueden crear esferas de influencia sobrepuestas, pudiendo causar disturbios considerables. Chow (1959), asignó valores de ajuste para cuatro niveles de obstrucciones: insignificante, menor, apreciable, y severo.

Vegetación (n_4)

La medida en la que la vegetación afecta la rugosidad, depende de la profundidad del flujo, el porcentaje del perímetro mojado que se encuentra cubierto por vegetación, y la alineación de la vegetación, en relación con el flujo.

Las raíces de la vegetación existente que sean paralelas al flujo, pueden tener un efecto menor que las raíces perpendiculares a éste.

Los valores de ajuste mostrados en la tabla II.4, se aplican a canales con anchos no muy amplios. En canales anchos que poseen relaciones profundidad-ancho pequeñas, y que carecen de vegetación en el lecho, el efecto de la vegetación en las márgenes es pequeño, y el ajuste máximo es alrededor de 0.005. Si el canal es relativamente estrecho, y tiene márgenes

pronunciadas y cubiertas por vegetación densa, el ajuste máximo será alrededor de 0.03.

El valor mayor de ajuste dado en la tabla II.1, se aplica únicamente en lugares en donde la vegetación cubre la mayor parte del canal.

Grado de Forma Meándrica (m)

El grado de forma meándrica, “m”, depende de la relación entre la longitud total de un canal meándrico en el tramo a ser considerado, y la longitud recta del tramo del canal. La forma meándrica de un río es considerada “menor”, si esta relación varía entre 1.0 y 1.2, “apreciable” si varía entre 1.2 y 1.5, y “severa” si la relación supera 1.5.

Según Chow (1959), los meandros pueden incrementar los valores de “n” por más de un 30%, en donde el flujo se encuentra limitado dentro de un canal.

Tabla II.4. Valores de Ajuste para Factores que Afectan la Rugosidad de un Canal.

Condiciones del Canal	Ajuste del Valor de n^1	Ejemplo
Grado de Irregularidad (n_1)		
Suave	0.000	Comparado con el canal más suave existente para un material de lecho estándar.
Menor	0.001-0.005	Comparado con canales cuidadosamente degradados, en buenas condiciones, pero que presentan erosiones tenues o pendientes laterales erosionadas.

Moderado	0.006-0.010	Comparado con canales degradados, que poseen rugosidad de fondo moderada a considerable, y moderadamente erosionado, o pendientes laterales erosionadas en roca.
Severa	0.011-0.020	Severamente erosionada, o con márgenes escalpadas; canales altamente erosionados; sin forma, accidentado, y canales con superficie irregular.
Variaciones del la sección transversal del canal (n_2)		
Condiciones del Canal	Ajuste del Valor de n^1	Ejemplo
Gradual	0.000	El tamaño y forma de la sección transversal del canal cambia gradualmente.
Ocasionalmente Alternado	0.001-0.005	Ocasionalmente se alternan secciones transversales grandes y pequeñas, o el flujo puede variar de lado a lado, ocasionando cambios en la forma de la sección transversal.
Frecuentemente Alternado	0.010-0.015	Frecuentemente se alternan secciones transversales grandes y pequeñas, o el flujo frecuentemente varía de lado a lado ocasionando cambios en la forma de la sección transversal.
Efectos de las Obstrucciones (n_3)		
Condiciones del Canal	Ajuste del Valor de n^1	Ejemplo
Insignificante	0.000-0.004	Obstrucciones un poco dispersas, en las cuales incluyen depósitos de desechos, troncos, raíces expuestas, madera, o cantos rodados, que ocupen un área menor al 5 % de la sección transversal.
Menor	0.040-0.050	Las obstrucciones ocupan menos del 15 % del área transversal, y el espaciamiento entre las obstrucciones sea tal que la esfera de influencia alrededor de una obstrucción, no se extienda hasta la esfera de influencia de otra obstrucción.
Apreciable	0.020-0.030	Las obstrucciones ocupan entre el 15 y el 50 % del área de la sección transversal, o el espaciamiento entre las obstrucciones es lo suficientemente pequeño como para causar que el efecto de las obstrucciones se incremente, ocasionando atascamientos en una parte equivalente a la sección transversal.
Severa	0.005-0.015	Las obstrucciones ocupan más el 50 % del área de la sección transversal, o el espacio entre las obstrucciones es tan pequeño que cauce turbulencias a lo largo de la mayor parte de la sección.
Cantidad de Vegetación (n_4)		
Condiciones del Canal	Ajuste del Valor de n^1	Ejemplo
Pequeña	0.002-0.010	Crecimiento denso de césped flexible, hierba creciendo donde la profundidad promedio del flujo es al menos dos veces la altura de la vegetación.
Mediana	0.010-0.025	Césped creciendo donde la altura promedio del flujo es de una a dos veces el tamaño de la vegetación; hierba gruesa moderadamente densa, árboles pequeños creciendo en donde la profundidad promedio del flujo es dos a tres veces la altura de la vegetación; Vegetación moderadamente densa, similar a sauces de entre 1 a 2 años de edad, creciendo a lo largo de las márgenes, y con evidencia de vegetación insignificante en el fondo del canal, en donde los radios

Cantidad de Vegetación (n_4)		
Condiciones del Canal	Ajuste del Valor de n^1	Ejemplo
		hidráulicos exceden 0.61 metros.
Grande	0.025-0.050	Césped creciendo donde la profundidad promedio del flujo igual a la altura de la vegetación; sauces de 8 a 10 años de edad, o plantas de algodón intermedias, con cierta vegetación en donde el radio hidráulico es mayor a 0.61 metros.
Muy Grande	0.050-0.100	Césped creciendo donde la profundidad promedio del flujo es menor a la mitad de la altura de la vegetación; árboles espesos de sauce de alrededor 1 año de edad, creciendo con hierba a lo largo de las pendientes de las márgenes.
(Grado de forma Meándrica m) ^{1 2} m		
Condiciones del Canal	Ajuste del Valor de n^1	Ejemplo
Menor	1.00	Relación entre la longitud del canal y la longitud del valle es de 1.0 a 1.2.
Apreciable	1.15	Relación entre la longitud del canal y la longitud del valle es de 1.5.
Severa	1.30	Relación entre la longitud del canal y la longitud del valle es mayor a 1.5.

¹ Ajustes para el grado de irregularidad, variación en la sección transversal, efecto de las obstrucciones, y vegetación, son añadidos al valor base n (Tabla II.3), antes de ser multiplicado por el ajuste de factor meándrico.

² Valores de ajuste aplicados a flujos confinados en canales, y no aplicables donde los flujos valle abajo cruzan meandros.

Fuente: USGS, 1995.

2.4. Transporte de Sedimentos

En una corriente natural, el transporte de los sedimentos se compone de carga de fondo, carga en suspensión y carga en saltación; la última componente es una combinación de las dos primeras. La suma de las tres se denomina carga total.

La pendiente del cauce es uno de los factores importantes que inciden en la capacidad que tiene el flujo para transportar sedimentos, por cuanto está relacionada directamente con la velocidad del agua. En los tramos de

pendiente fuerte los cauces tienen pendientes superiores al 3%, y las velocidades de flujo resultan tan altas que pueden mover como carga de fondo sedimentos de diámetros mayores de 5 centímetros, además de los sólidos que ruedan por desequilibrio gracias al efecto de lubricación producido por el agua. (D. Simona y F. Senturk, 1992).

Cuando el cauce pasa de un tramo de pendiente alta a otro de pendiente baja, su capacidad de transporte se reduce y comienza a depositar los materiales que recibe del tramo anterior. En este proceso forma islas y brazos y puede tomar una conformación trezada, con cauce divagante. Además, el material que se deposita eleva el fondo del cauce y disminuye su capacidad a cauce lleno.

En los cauces de régimen tranquilo, también denominados de llanura, las aguas se desbordan cuando los caudales de crecida superan la capacidad a cauce lleno. Por su lado en los tramos de régimen torrencial o de montaña, se presentan principalmente fenómenos de socavación de fondo y erosión de márgenes.

2.4.1. Socavación y Erosión en ríos.

El régimen torrencial se caracteriza porque el flujo tiene una velocidad alta, el número de Froude es mayor que 1 y la línea del agua se ve afectada por

la formación de resaltos que son ocasionados por las irregularidades del fondo y de las secciones transversales.

Los ríos que presentan este tipo de régimen, son cauces con gran capacidad de arrastre de sedimentos. La cantidad de material que efectivamente transportan estos cauces depende de la conformación del fondo y de la potencialidad de la fuente que produce los sedimentos. El lecho de estos ríos puede ser rocoso, aluvial o de material cohesivo.

En el primer caso la sección transversal es estable; en el segundo se presenta transporte de material aluvial dentro de la capa de material suelto, y en el tercero el grado de cohesión es un factor que reduce la posibilidad de movimiento del material de fondo, en comparación con el material aluvial del mismo tamaño. (G. Silva, 2002). La socavación se clasifica como socavación general y socavación local.

La socavación general es aquella que se produce en lechos aluviales o cohesivos por efecto de la dinámica de la corriente y está relacionada con la conformación del nivel de base. Es un fenómeno a largo plazo, aun cuando eventos catastróficos pueden acelerarlo.

La socavación local se presenta en sitios particulares de la corriente y es ocasionada por el paso de crecientes y por la acción de obras civiles, como obras de encauzamiento, espolones, puentes con pilas o estribos dentro del cauce, obras transversales de control, etc. La socavación en un tramo de

una corriente natural es la suma de las dos componentes, la socavación general y la socavación local.

Antes de diseñar obras para tratamiento de cauces es necesario conocer la magnitud de la socavación. Para determinar la magnitud de la socavación general se deben realizar análisis geomorfológicos entre puntos de control, es decir, entre secciones estables. Estos análisis se basan en el estudio de fotografías aéreas y cartografía de diferentes épocas, y en los cambios que se aprecien en observaciones de campo y en levantamientos topográficos.

La socavación local tiene dos componentes, la producida por el paso de crecientes y la correspondiente a la construcción de obras civiles. Para calcular la primera existe un sinnúmero de fórmulas, que son modificadas continuamente por sus autores, a medida que se avanza en la experimentación de campo. Estas fórmulas se basan principalmente en el efecto de la fuerza tractiva sobre la carga de fondo.

Para el cálculo de la socavación local por efecto de pilas y estribos de puentes, muros longitudinales, obras transversales, etc., hay necesidad de revisar las experiencias que existen en cada caso particular y las fórmulas empíricas que se han desarrollado.

2.4.2. Agradación en ríos

Cuando la pendiente del cauce es pequeña, o cuando el flujo en el tramo que se considera en el estudio está regulado por una curva de remanso y el régimen es tranquilo, generalmente subcrítico, la capacidad de transporte de sedimentos es baja, y el río puede comenzar a depositar parte de los sedimentos de suspensión y de fondo que trae desde zonas de mayor capacidad de transporte.

El fenómeno principal que se presenta en los tramos de baja pendiente y régimen tranquilo es de agradación. La magnitud de este fenómeno puede calcularse mediante controles periódicos de los cambios que se producen en la geometría del cauce, o con realización de balances en tramos determinados. Para realizar los balances deben medirse los volúmenes de sedimentos que entran y salen del tramo.

Los fenómenos combinados de erosión y agradación generan cambios en la configuración del fondo, y formación de brazos e islas. Estos cambios serán más grandes entre mayores sean las tasas de transporte, y pueden producir modificaciones importantes en el régimen de flujo durante los períodos críticos de estiaje y crecientes.

CAPITULO 3

3. DATOS DE LA CUENCA DEL RÍO CHAGUANA

3.1. Obtención de Datos Primarios

3.1.1. Localización del Área de Estudio

La Cuenca del Río Chaguana se localiza en la región suroeste de la República del Ecuador, en la provincia del Oro. La Cuenca presenta forma irregular.

Las coordenadas geográficas de los cuadrantes entre los que se encuentra ubicada la Cuenca del Río Chaguana son:

9'660,403 N	9'660,403 N
617,965 S	625,205 S
9'632,773 N	9'632,773 N
617,965 S	625,205 S

La Cuenca abarca una superficie aproximada de 323.134 Km², la misma que comprende los sectores de las ciudades de Tendales y El Guabo.

Cabe recalcar que la Cuenca del Río Chaguana es en realidad una sub-cuenca perteneciente a la gran Cuenca del Río Pagua, que desemboca al Océano Pacífico.

En la Sección Mapas y Anexos, al final del documento, se presenta el Mapa **III.1 - Localización del Área de Estudio**. En este mapa se incluye los detalles del posicionamiento de la Cuenca del Chaguana.

3.1.2. Topografía de la Cuenca

La Cuenca del río Chaguana posee elevaciones que varían entre una cota máxima de 3120 msnm (metros sobre el nivel del mar) en la zona

montañosa de los Andes, y una elevación mínima de 1 msnm, en la desembocadura del Chaguana en el Pagua.

La Cuenca se encuentra conformada por tres ríos principales: el Río Chaguana, y sus afluentes Colorado y Zapote.

El Mapa **III.2 – Topografía de la Cuenca**, incluido en la Sección Planos y Anexos, ilustra las curvas topográficas del sector.

3.1.3. Información Meteorológica de la Cuenca

Temperatura

La temperatura promedio del sector es de 24.6 °C, registrándose temperaturas máximas de 27.4 °C, y mínimas de 21.3 °C.

Estos datos fueron recopilados de los anuarios del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI), en la Serie de Datos Meteorológicos preparada por la Dirección de Informática de esta institución.

Los datos de temperatura corresponden a mediciones hechas en la Estación: Machala-UTM, con Código: M185, durante el período de 1973 al 2000.

Un resumen detallado de dicha información se presenta en el [Anexo III-1](#), dentro de la Sección de Planos y Anexos, al final del documento.

Precipitación

La información corresponde a los registros del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI), Dirección de Informática.

Dada la variabilidad de los registros de precipitación en los diferentes sectores que conforman la Cuenca en estudio, así como la disponibilidad de esta información, se recopilaron los registros de cinco estaciones meteorológicas.

En la tabla III-1, mostrada a continuación, se detallan los nombres de estas estaciones meteorológicas, así como el código de las mismas y el período de aforamiento.

Tabla III-1. Estaciones Meteorológicas Recopiladas

ESTACION	CODIGO	PERIODO
Machala - UTM	M 185	1973-2000
Tendales	M 425	1973-1983
Tenguel	M 478	1965-1980
Uzcurrumi	M 481	1976-1993
Huertas	M 740	1971-1991

Fuente: Base de datos de la Dirección de Informática del INAMHI.

Los Anexos [III-2](#), [III-3](#), [III-4](#), [III-5](#) y [III-6](#), en la Sección de Planos y Anexos, muestran los detalles de los registros de precipitación de las cinco estaciones meteorológicas.

3.1.4. Caudales de los Sistemas Hidráulicos

El INERHI, junto con la Agencia de Aguas de Machala, ha venido realizando controles de aforos en las cuencas hidrográficas del El Oro.

En el [Anexo III-7](#), de la Sección de Planos y Anexos, se muestran los datos correspondientes a mediciones mensuales realizadas entre los años 1978 y 1983.

3.1.5. Uso y Tipos de Suelos

Los datos que se presentan a continuación, fueron recopilados del trabajo investigativo realizado por Bonini y Guzmán (2003). Estos datos obedecen a verificaciones estadísticas de uso de suelos en el sector, así como muestreos de campo para la determinación de los tipos de suelos que conforman el área de la Cuenca.

A continuación se presenta la tabla III.2, Uso y Tipos de Suelos de la Cuenca del Río Chaguana.

En esta tabla se aprecia una clasificación de los diferentes usos de suelo que se registran en la Cuenca, así como el área (ha) que cada uno de estos posee y el porcentaje que representan.

De igual manera, en esta tabla se incluye un listado de los tipos de suelo existentes en la Cuenca, detallando la superficie y porcentajes que representan estos, en relación a la extensión total del la Cuenca del Río.

Tabla III.2. Uso y Tipos de Suelos de la Cuenca del Río Chaguana

Detalle de distribución USO / TIPO de Suelo		Área (ha)	% (ha)
Cuenca Río Chaguana		32211.5392	100
Uso de Suelos	Pastizales	6158.2268	19.12
	Humedales Arborizados	1.2602	0.00
	Pastizales de Invierno	347.9027	1.08
	Humedales no Arborizados	972.9230	3.02
	Banano	8932.5376	27.73
	Bosques Mezclados	8146.1394	25.29
	Tierras Agrícolas-Genéricas	326.8317	1.01
	Arroz	1127.4271	3.50
	Tierras Agrícolas-Línea de Cultivos	1271.2222	3.95
	Zona Residencial de Densidad media	70.3800	0.22
	Pastizales de Verano	2991.5284	9.29
	Huertos	1865.1600	5.79
Tipo de Suelos	FRANCO LIMOSO	4181.9613	12.98
	FRANCO ARCILLOSO	3092.5498	9.60
	FRANCO	12826.3287	39.82
	ARCILLO LIMOSO	75.6305	0.23
	FRANCO ARENOSO	9780.1272	30.36
	ARENO ARCILLOSO	770.9268	2.39
	ARENO FRANCO	683.2790	2.12
	ARCILLA	319.6786	0.99
	ARENA	481.5572	1.49

Fuente: Bonini – Guzmán. 2003

3.2. Generación de Datos Hidráulicos (Datos Secundarios)

3.2.1. Secciones Transversales

Tal como se indica en la sección 1.5.2.2 -Secciones Transversales del Sistema Hídrico-, para la obtención de las secciones transversales utilizadas en el presente trabajo, se realizaron mediciones topográficas de las márgenes y fondo de los ríos Chaguana y Zapote.

Estas mediciones se realizaron en puntos específicos de cada río, denominados “puntos de muestreo”.

Cada punto fue respectivamente georreferenciado, mediante la utilización de un GPS.

La tabla III.3 mostrada a continuación, detalla la nomenclatura de los puntos de muestreo en los que se realizaron mediciones topográficas, tanto para el río Zapote, como para el río Chaguana. Esta tabla incluye también las coordenadas geográficas de estación de muestreo. Cabe mencionar que estas nomenclaturas corresponden a designaciones establecidas en el Proyecto 4, Programa ESPOL-VLIR (Ver Sección 1.3 – Justificación del Proyecto).

Tabla III.3, Secciones Transversales

Río Zapote		
Sección	Coordenadas	
	Norte	Este
A1	9647576	635913
A2	9648954	635693
A3	9649795	635840
A4	9651189	636317
A5	9652118	635692
A6	9653372	635352
A7	9654367	635116

Río Chaguana		
Sección	Coordenadas	
	Norte	Este
A11	9640175	634960
A12	9640540	634792
A13	9640909	634711
A14	9642434	635028
A16	9642705	635179
A17	9643130	635030
A18	9643553	635184

Fuente: Mediciones en sitio. Campaña de Muestreo VLIR-ESPOL (2001,2002)

Los gráficos de las secciones transversales son mostrados en el Capítulo 5, de este documento.

3.2.2. Caudales medidos en Campo

Tal como se menciona en el Capítulo 1, Sección I.5.1.2 (Hidrometeorología), durante las diferentes campañas de muestreo realizadas, se obtuvieron

datos de velocidad de flujo en los diferentes puntos correspondientes a cada sección transversal. La tabla III.4 detalla los valores de los caudales medidos en campo. Las velocidades de flujo, V_1 y V_2 incluidas en esta tabla, corresponden a mediciones realizadas en la campaña de Noviembre del 2001, y Julio del 2002 respectivamente.

Tabla III.4 Caudales medidos en Campo

Río Zapote					
Sección	Velocidad V (m/s)		Área A (m²)	Caudal Instantáneo Q (m³/s)	
	V₁	V₂		Q₁	Q₂
A1	0.26	0.32	1.545	0.40	0.49
A2	0.25	0.293	2.025	0.51	0.59
A3	0.15	0.164	3.702	0.55	0.61
A4	0.20	0.226	3.342	0.67	0.76
A5	0.20	0.23	3.4406	0.69	0.79
A6	0.18	0.20	5.8300	1.05	1.166
A7	0.17	0.18	8.0219	1.36	1.44

Río Chaguana					
Sección	Velocidad V (m/s)		Área A (m²)	Caudal Instantáneo Q (m³/s)	
	V₁	V₂		Q₁	Q₂
A11	0.15	0.18	3.347	0.50	0.60
A12	0.19	0.222	2.72	0.52	0.60
A13	0.45	0.5	1.23	0.55	0.62
A14	0.28	0.289	3.68	1.03	1.07
A16	0.59	0.651	1.911	1.13	1.24
A17	0.4	0.455	3.029	1.21	1.38
A18	0.21	0.224	7.918	1.66	1.77

Fuente: Mediciones en sitio. Campaña de Muestreo VLIR-ESPOL (2001,2002)

3.2.3. Rugosidades de los Canales (n de Manning)

Los valores calculados de rugosidad, mostrados a continuación, fueron calculados bajo los criterios expuestos en la Sección II.3.4.4, Rugosidad del Cauce.

En dicha sección, se realiza una explicación de la metodología de cálculo para la obtención de las rugosidades de las márgenes y fondo de los ríos.

Cabe recalcar que los datos de granulometría para cada sección, fueron obtenidos a partir de pruebas de laboratorio.

Resultados de Laboratorio (Tamaño Medio de Partícula)

En la **Tabla III-5** mostrada a continuación, se realiza un resumen de los tamaños medios, D_{50} , de las muestras tomadas en campo.

Estos resultados fueron obtenidos de las respectivas curvas granulométricas obtenidas en base de ensayos de Laboratorio (**Anexo III-9**).

Cabe recalcar que en la campaña de muestreo realizada se tomaron dos muestras por cada punto de muestreo, una para el lecho del río, y otra que representa ambas márgenes del mismo.

TABLA III-5 Tamaño Medio del Material de Márgenes y Fondo

RIO ZAPOTE				
SECCION	Tamaño Medio del Material (mm)			OBSERVACIONES (Fondo)
	Margen Izquierdo	Fondo	Margen Derecho	
A1	0.32	1.12	0.32	Arena muy gruesa
A2	0.31	0.74	0.31	Arena gruesa
A3	0.30	0.76	0.30	Arena gruesa
A4	0.41	0.79	0.41	Arena gruesa
A5	0.52	0.60	0.52	Arena gruesa
A6	0.56	0.55	0.56	Arena media
A7	0.54	0.53	0.54	Arena media

RIO CHAGUANA				
SECCION	Tamaño Medio del Material (mm)			OBSERVACIONES (Fondo)
	Margen Izquierdo	Fondo	Margen Derecho	
A11	0.28	32.00	0.28	Grava gruesa
A12	0.19	31.00	0.19	Grava gruesa
A13	0.18	30.00	0.18	Grava gruesa
A14	0.18	3.20	0.18	Grava muy fina
A16	0.17	2.50	0.17	Grava muy fina
A17	0.17	0.89	0.17	Arena gruesa
A18	0.17	0.47	0.17	Arena media

Fuente: Análisis de Laboratorio. (2002)

No todos los datos mostrados en la Tabla III-5 obedecen a datos reales obtenidos de laboratorio. Diversas circunstancias, entre las que se incluyen accesibilidad al punto de muestreo, tamaño referencial del material (demasiado grande) y pérdida de muestras, obligaron a realizar interpolaciones y extrapolaciones para completar los datos necesarios para el desarrollo del presente trabajo. En el momento de realizar las interpolaciones y extrapolaciones, se tomaron en cuenta diferentes factores como: distancias aguas arriba y aguas abajo, entre el punto de muestreo con

dato real, y el punto de muestreo a ser interpolado; Tipo de suelo propio del sector a ser interpolado; Interpolación directa.

Determinación de la Rugosidad Base (n_b)

Una vez obtenido los datos de tamaño medio de partícula, para cada uno de los puntos de muestreo, se compara estos valores con los rangos mostrados en la Tabla II.1 (Sección II.3.3.4.3), obteniendo así un valor de rugosidad base (Tabla III-6).

TABLA III-6 Rugosidad Base (n_b)

RIO ZAPOTE				
SECCION	Rugosidad Base (n_b)			OBSERVACIONES
	Margen Izquierdo	Fondo	Margen Derecho	
A1	0.017	0.026	0.017	
A2	0.017	0.024	0.017	
A3	0.017	0.024	0.017	
A4	0.020	0.025	0.020	Puente Río Zapote
A5	0.022	0.023	0.022	
A6	0.023	0.022	0.023	
A7	0.022	0.022	0.022	

RIO CHAGUANA				
SECCION	Rugosidad Base (n_b)			OBSERVACIONES
	Margen Izquierdo	Fondo	Margen Derecho	
A11	0.018	0.034	0.018	
A12	0.012	0.030	0.012	
A13	0.012	0.030	0.012	
A14	0.012	0.028	0.012	
A16	0.011	0.028	0.011	
A17	0.011	0.025	0.011	
A18	0.011	0.022	0.011	Puente Río Chaguana

Fuente: Tabla II.1 Valores Base del n de Manning. – Capítulo 2

Factores de Corrección (n_1 , n_2 , n_3 , n_4 , m)

La Tabla III-7, Factores de Corrección (Ver Capítulo II para definiciones de estos parámetros), muestra los resultados calculados de factores de corrección (n_1 , n_2 , n_3 , n_4 y m) para las diferentes secciones transversales analizadas en el presente trabajo.

Estos valores son obtenidos de la Tabla II-2 (Sección II.3.3.4.4), partiendo de observaciones realizadas en sitio.

TABLA III-7 Factores de Corrección

RIO ZAPOTE						
SECCION	FACTORES DE CORRECCIÓN					OBSERVACIONES
	n_1	n_2	n_3	n_4	m	
A1	0.001	0.000	0.002	0.001	1	Aguas arriba se aprecian Barras puntuales de arena gruesa y vegetación.
A2	0.001	0.001	0.001	0.002	1	Erosión tenue en las márgenes.
A3	0.001	0.002	0.001	0.002	1	Variación leve en tamaño y forma entre secciones transversales.
A4	0.000	0.002	0.015	0.002	1	Obstrucción de pilas del puente. Aguas abajo se colocaron rocas a manera de disipadores de energía.
A5	0.000	0.003	0.001	0.020	1	Variación considerable entre tamaño y forma de secciones transversales. Abundante vegetación (maleza) en las márgenes.
A6	0.001	0.002	0.001	0.020	1.1	Variación considerable entre tamaño y forma de secciones transversales. Abundante vegetación (maleza) en las márgenes.
A7	0.001	0.003	0.001	0.005	1	Variación considerable entre tamaño y forma de secciones transversales. Vegetación insignificante en el fondo del canal.

RIO CHAGUANA						
SECCION	FACTORES DE CORRECCIÓN					OBSERVACIONES
	n ₁	n ₂	n ₃	n ₄	m	
A11	0.011	0.001	0.015	0.002	1	Márgenes erosionadas. Flujo perturbado por cantos rodados a todo lo largo de la sección.
A12	0.004	0.003	0.001	0.002	1.1	Erosiones tenues en las márgenes. Obstrucciones dispersas.
A13	0.003	0.005	0.001	0.015	1	Cambio brusco en tamaño y forma de secciones transversales. Abundante vegetación (maleza) en las márgenes.
A14	0.001	0.002	0.010	0.015	1	Represamiento de canto rodado, colocado para cruce vehicular del río. Abundante vegetación (maleza) en las márgenes.
A16	0.001	0.002	0.008	0.025	1	Represamiento de canto rodado y escombros de construcción. Abundante vegetación (maleza) en las márgenes.
A17	0.001	0.005	0.004	0.008	1	Cambio brusco en tamaño y forma de secciones transversales. Vegetación insignificante en el fondo del canal.
A18	0.001	0.005	0.015	0.002	1	Obstrucción de pilas del puente. Aguas abajo se colocaron rocas a manera de disipadores de energía.

Fuente: Tabla II.2 Valores de Ajuste para Factores que Afectan la Rugosidad de un Canal. Capítulo 2

Rugosidad Final (n)

La Tabla III-8, muestra las rugosidades finales, calculadas para cada una de las secciones transversales analizadas en el presente trabajo. Cabe recalcar que para el cálculo se las rugosidades finales se utilizó la fórmula:

$$n = (n_b + n_1 + n_2 + n_3 + n_4) m$$

de la Sección II.3.3.4.2 “Valores de rugosidad “n” del Canal”.

TABLA III-8 Rugosidad Final (n)

RIO ZAPOTE			
SECCION	Rugosidad Final (n)		
	Margen Izquierdo	Fondo	Margen Derecho
A1	0.021	0.030	0.021
A2	0.022	0.029	0.022
A3	0.023	0.030	0.023
A4	0.039	0.044	0.039
A5	0.046	0.047	0.046
A6	0.043	0.042	0.043
A7	0.032	0.032	0.032

RIO CHAGUANA			
SECCION	Rugosidad Final (n)		
	Margen Izquierdo	Fondo	Margen Derecho
A11	0.047	0.063	0.047
A12	0.020	0.036	0.020
A13	0.036	0.054	0.036
A14	0.040	0.056	0.040
A16	0.047	0.064	0.047
A17	0.029	0.043	0.029
A18	0.034	0.045	0.034

3.2.4. Coeficientes de Contracción y Expansión

Una causa común de pérdida de energía dentro de un tramo (entre dos secciones transversales) es la contracción y expansión de flujo debido a cambios en la sección transversal (Sección II.3.3.3).

Los coeficientes mostrados ([Tabla III-9](#)) son multiplicados por la diferencia absoluta de velocidades entre una sección transversal y la siguiente sección aguas abajo, las cuales dan las pérdidas de energía debido a la transición.

TABLA III-9 Coeficientes de Contracción y Expansión

RIO ZAPOTE		
SECCION	COEFICIENTES	
	Contracción	Expansión
A1	0.1	0.3
A2	0.1	0.3
A3	0.1	0.3
A4	0.3	0.5
A5	0.1	0.3
A6	0.1	0.3
A7	0.1	0.3

RIO CHAGUANA		
SECCION	COEFICIENTES	
	Contracción	Expansión
A11	0.1	0.3
A12	0.1	0.3
A13	0.1	0.3
A14	0.1	0.3
A16	0.1	0.3
A17	0.1	0.3
A18	0.3	0.5

Fuente: Tabla II.2 - Coeficientes de Contracción y Expansión. Capítulo 2

Los datos mostrados en este capítulo, constituyen la base fundamental para el desarrollo del presente trabajo de investigación, ya que todo cálculo hidráulico necesita de estos datos para poder ser realizado.

Como ya se mencionó en capítulos anteriores, el objetivo de esta tesis es la de generar parámetros hidráulicos del Sistema Hídrico del Río Chaguana, mediante el uso de un “Modelo Hidráulico”, en este caso el HEC-RAS.

El Capítulo IV “Descripción del Modelo HEC-RAS”, que se presenta a continuación, servirá como una introducción al manejo del modelo, así como explicará los procedimientos hidráulicos de cálculo que se siguen para la obtención de estos parámetros hidráulicos.

CAPITULO 4

4. DESCRIPCION DEL MODELO HEC-RAS

El Centro de Ingeniería Hidrológica (Hydrologic Engineering Center), ha desarrollado el U. S. Army Corps of Engineering River Analysis System (HEC-RAS). Este software permite al usuario establecer modelaciones de flujo tanto estacionarios como no estacionarios. HEC-RAS es un sistema integrado de programas, diseñado para realizar un uso interactivo en un ambiente integrado de multi-tareas y multi-usuarios.

El sistema Hec-Ras contiene tres componentes para realizar análisis hidráulicos unidimensionales aplicados a: (1) cálculos de perfiles hidráulicos en flujos permanentes; (2) simulaciones de flujo no permanente; y (3) cálculos de transporte de sedimento en fondos y paredes erosionables.

Todos estos tres componentes utilizarán una misma representación geométrica de datos, y similares rutinas de cálculo geométrico e hidráulico.

Adicional a estos tres componentes hidráulicos, el sistema contiene algunos elementos de diseño hidráulico que pueden ser utilizados una vez que los perfiles hidráulicos hayan sido calculados.

4.1. Metodología de Trabajo del HEC-RAS.

Como fue mencionado en el Capítulo Introductorio, HEC-RAS es un paquete integrado de programas que realizan análisis hidráulicos, en el cual el usuario interactúa con el sistema a través del uso de un Graphical User Interface (GUI). Este sistema tiene la capacidad de desarrollar cálculos de perfiles hidráulicos en flujos permanentes y no permanentes.

En terminología HEC-RAS, un **PROYECTO** es una serie de archivos de datos, asociados a un sistema fluvial en particular. El modelador puede desarrollar uno o varios de los tipos de análisis incluidos en el paquete del HEC-RAS, como parte del proyecto.

Los archivos de datos para un proyecto son catalogados de la siguiente manera: datos de planta, datos geométricos, datos de flujo permanente, datos de flujo no permanente, y datos de diseño hidráulico.

Durante el curso de un estudio, el modelador puede necesitar formular diferentes **Planes**. Cada plan representa una serie específica de datos geométricos y datos de flujo. Una vez que los datos básicos han sido ingresados en el HEC-RAS, el modelador puede fácilmente formular nuevos planes. Después de que las simulaciones han sido desarrolladas para los diferentes planes, los resultados pueden ser comparados simultáneamente en forma tabular y gráfica.

4.1.1. Pasos en el Desarrollo de un Modelo Hidráulico con HEC-RAS

Para la creación de un modelo hidráulico con el HEC-RAS, existen cinco pasos principales:

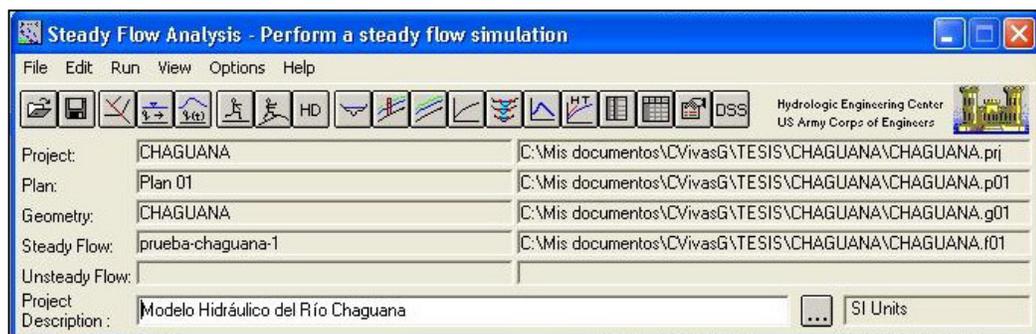
- Inicio de un nuevo proyecto.
- Ingreso de datos geométricos.
- Ingreso de datos de flujo y de condiciones del sistema.
- Desarrollo de los cálculos hidráulicos
- Visualización e impresión de los resultados.

Inicio de un Nuevo Proyecto

En este primer paso, en el que se inicia en el HEC-RAS el desarrollo de un modelo hidráulico, el modelador deberá establecer el directorio en el cual se realizarán los trabajos, y un título que definirá al nuevo proyecto. Para el desarrollo del modelo que representará a los ríos que se analizan en el presente trabajo de tesis, se eligió una carpeta base denominada “TESIS”. Esta carpeta contiene todos los documentos y archivos utilizados en el desarrollo de este trabajo. Dado que se modelarán dos tramos de río, uno del Río Zapote, y otro del Río Chaguana, se desarrollarán dos proyectos que represente a cada uno de los tramos. Estos proyectos se titulan “ZAPOTE.prj”, y “CHAGUANA.prj”.

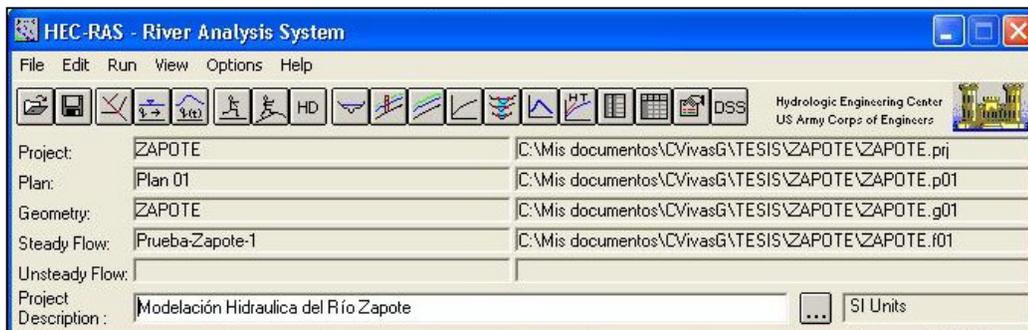
Las figuras IV.1 y IV.2, muestran las ventanas de inicio del HEC-RAS para cada uno de los proyectos.

Figura IV.1. Menú de Inicio del Proyecto Chaguana.



Fuente: HEC-RAS – River Analysis System. Proyecto CHAGUANA.

Figura IV.2. Menú de Inicio del Proyecto Zapote.



Fuente: HEC-RAS – River Analysis System. Proyecto ZAPOTE.

Ingreso de los Datos Geométricos

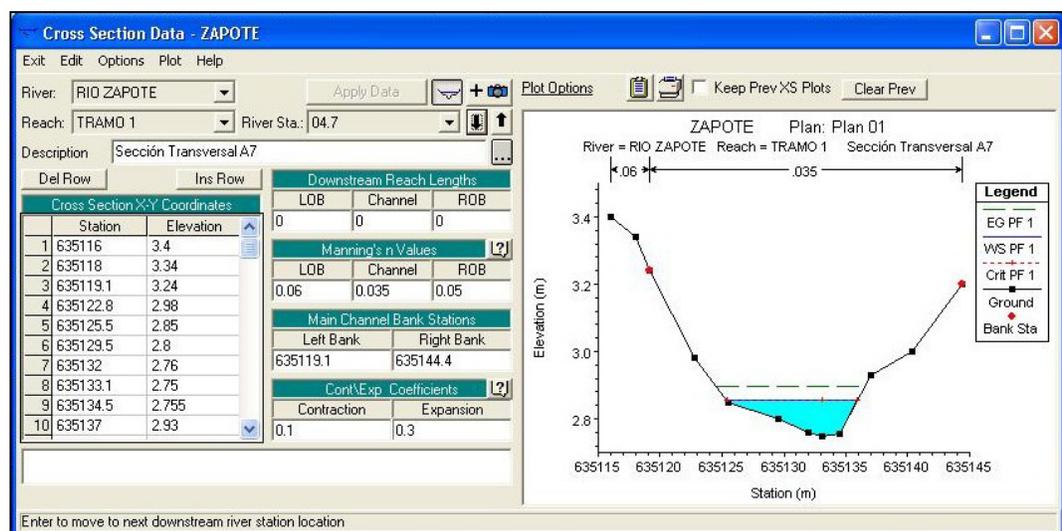
El siguiente paso es el ingreso de los datos geométricos necesarios, los cuales consisten en información de conectividad para el sistema fluvial en estudio, también conocidos como datos de secciones transversales (River System Schematic), y, si el modelo lo requiere, datos de estructuras hidráulicas (puentes, alcantarillas, diques, etc.).

Para desarrollar los datos geométricos, se debe ingresar un gráfico esquemático del sistema fluvial. Se debe graficar en tramos desde aguas arriba hacia aguas abajo (en la dirección positiva del flujo). Luego de que cada tramo haya sido graficado, se identifica al “Río” y al “TRAMO”. Cada tramo deberá conectarse, formándose puntos de unión en forma automática. Una vez concluidos estos pasos, se procede al ingreso de las secciones

transversales del río, así como los datos de las estructuras hidráulicas si fuese el caso. Los identificadores del Río, Tramo y Estación del Río, son utilizados para describir la localización de la sección transversal en relación con el sistema fluvial analizado.

Una vez que todos los datos de las secciones transversales han sido ingresados, el modelador puede ingresar cualquiera de las estructuras hidráulicas disponibles en el paquete HEC-RAS, tales como puentes, alcantarillas, diques, etc. Como se puede apreciar en la figura IV.3, cada sección transversal posee una identificación para el Río, Tramo, Estación del Río, y una Descripción.

Figura IV.3. Menú de Secciones Transversales.



Fuente: HEC-RAS – River Analysis System. Proyecto ZAPOTE.

Ingreso de los Datos de Flujo y Condiciones de Frontera.

Una vez que han sido ingresados los datos geométricos, se procede a ingresar todos los datos de flujo permanente o no permanente. El tipo de dato de flujo a ser ingresado, dependerá del tipo de análisis a ser desarrollado.

Para el desarrollo del presente trabajo de Tesis, se asumirá un análisis de flujo permanente en ambos tramos de los ríos. Los datos requeridos para realizar el análisis de flujo permanente son:

- Número de perfiles a ser calculados.
- Datos de flujo.
- Condiciones de frontera del sistema del río.

Al menos un dato de flujo deberá ser ingresado para cada tramo dentro del sistema. Adicionalmente, el dato de flujo puede ser cambiado en cualquier punto dentro del sistema fluvial analizado.

Se requieren condiciones límite para desarrollar los cálculos. Si un análisis de flujo sub-crítico va a ser desarrollado, solo se requerirán condiciones límite aguas abajo. De igual manera, si un análisis de flujo super-crítico se va a desarrollar, entonces únicamente se requerirán condiciones límite

aguas arriba. Si se requiere realizar un desarrollo de cálculos para un régimen de flujo mixto, se requerirá entonces condiciones de frontera, tanto aguas arriba como aguas abajo.

Desarrollo de los Cálculos Hidráulicos

Una vez que han sido ingresados todos los datos geométricos, es posible desarrollar los cálculos hidráulicos. Como se mencionó anteriormente, existen tres tipos de cálculos que pueden ser desarrollados por el HEC-RAS: Análisis de Flujo Permanente, Análisis de Flujo No Permanente, y, Funciones de Diseño Hidráulico.

Una vez que se ha establecido qué tipo de análisis a ser desarrollado, se procede a realizar la orden de **Cálculo**. Una vez dada la orden de cálculo, el sistema HEC-RAS reconoce todos los datos del plan seleccionado, y los escribe en un "run file". El sistema hace correr el modelo de flujo permanente (SNET) utilizando el mismo nombre del "run file".

Visualización e Impresión de Resultados.

Una vez que el modelo ha finalizado todos los cálculos, es posible visualizar los resultados. Las opciones de visualización que posee la ventana principal

del HEC-RAS incluyen: secciones; perfiles; curvas de gasto; perspectivas X-Y-Z; tablas de detalle; y los resúmenes de los errores, advertencias y notas.

4.2. Metodología de Cálculo del HEC-RAS.

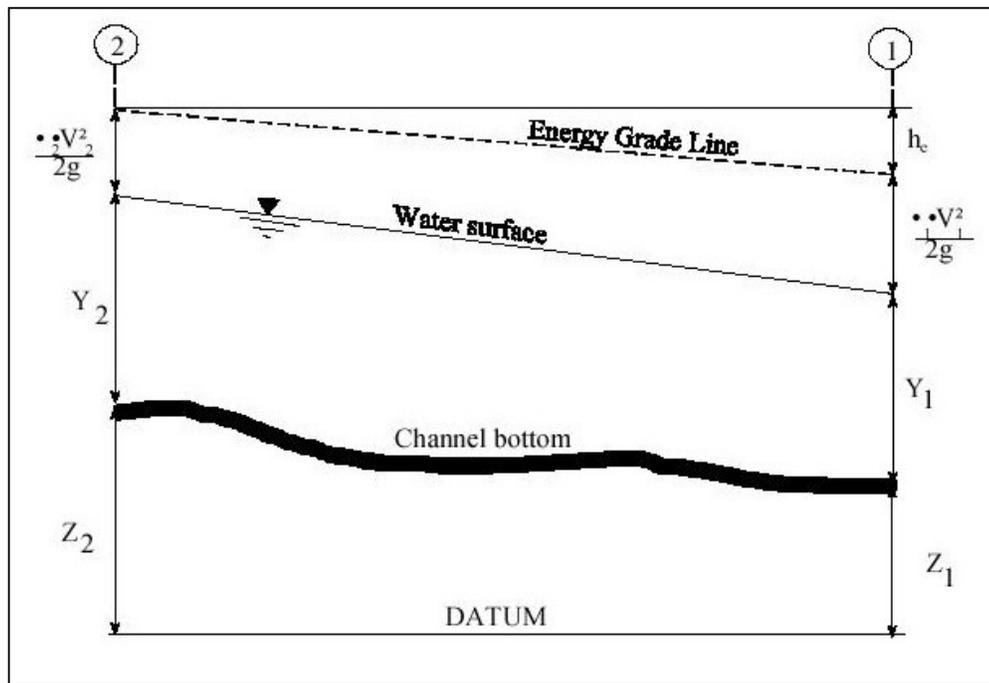
Para determinar la elevación de la superficie de agua en una sección transversal, se procede a calcular en forma iterativa las Ecuaciones 4.1 y 4.2. La Ecuación 4.1, es conocida como Ecuación de la Energía. La Figura IV.4, muestra una explicación gráfica de esta ecuación.

$$Y_2 + Z_2 + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} = Y_1 + Z_1 + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} + h_e \quad (\text{Ecuación 4.1})$$

Donde:

Y_1, Y_2	= Profundidad del agua en la Sección Transversal.
Z_1, Z_2	= Elevación del lecho del tramo.
V_1, V_2	= Velocidades promedio (Q total / A total)
α_1, α_2	= Coeficientes de velocidad
g	= Aceleración de la gravedad
h_e	= Pérdida principal de Energía.

Figura IV.4. Representación de los Términos de la Ecuación de la Energía



Fuente: Referencia Hidráulica del HEC-RAS. Cap2

La pérdida principal de energía (h_e) entre dos secciones transversales está relacionada con pérdidas por fricción y pérdidas por contracción y expansión. La ecuación para la pérdida principal de energía se aprecia en la ecuación 4.2.

$$h_e = L \bar{S}_f + C \left[\frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} - \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} \right] \quad \text{Ecuación (4.2)}$$

Donde:

- L = Longitud del tramo
- \bar{S}_f = Pendiente de fricción entre dos secciones.
- C = Coeficiente de pérdida por expansión o contracción.

El procediendo computacional es el siguiente:

1. Se asume una elevación de superficie de agua aguas arriba de la sección transversal (o aguas debajo de la sección transversal, si se desea calcular un perfil supercrítico).
2. Basados en esta elevación asumida, se determina la capacidad de transporte total y así como la velocidad principal.
3. Con los valores obtenidos en el paso 2, se calcula la pendiente de fricción y se resuelve la Ecuación 4.2 para h_e .

4. Con los valores obtenidos en el paso 2 y 3, se resuelve la ecuación 4.1 para WS_2 .
5. Se comparan los valores calculados del WS_2 con los valores asumidos en el paso 1. Se repiten los pasos del 1 hasta el 5, hasta que la diferencia entre ellos sea de 0.003 m. Esta tolerancia puede ser definida por el usuario.

El criterio utilizado para asumir las elevaciones de la superficie de agua en el proceso iterativo, varía de intento en intento. El primer intento de superficie de agua esta basado en proyectar la profundidad del agua de una sección transversal, sobre la siguiente sección transversal.

Para el segundo intento, el programa vuelve a asumir la elevación de la superficie de agua, pero añadida a un 70% del error obtenido en el primer intento (Elevación calculada – Elevación asumida). En otras palabras, la Elevación nueva = Elevación asumida + 0.70 x (Elevación calculada – Elevación asumida).

El tercer y subsiguiente intento es generalmente basado en un método “Secante” proyectando la relación de cambio de las diferencias entre las elevaciones calculadas y asumidas para los dos primeros intentos.

La ecuación 4.3 para el método de la secante se resume de la siguiente manera:

$$WS_1 = WS_{1-2} - Err_{1-2} \times Err_Asum / Err_Dif \quad \text{Ecuación (4.3)}$$

Donde:

- WS_1 = La nueva superficie de agua asumida
- WS_{1-1} = La superficie de agua asumida en la iteración previa
- WS_{1-2} = La superficie de agua asumida dos intentos atrás
- Err_{1-2} = El error de dos intentos atrás (superficie de agua calculada menos la asumida en la iteración I-2)
- Err_Asum = La diferencia entre las superficies de agua obtenidas en los dos intentos previos.
- $$Err_Asum = WS_{1-2} - WS_{1-1}$$
- Err_Dif = La superficie de agua asumida menos la superficie de agua calculada en la iteración previa (I-1), más el error dos intentos previos (Err_{1-2}).
- $$Err_Dif = WS_{1-1} - WS_Calc_{1-1} + Err_{1-2}$$

El cambio desde un intento al siguiente, está restringido en un máximo del 50% de la profundidad asumida en el intento previo. En ocasiones, el

método de la secante puede fallar si el valor de Err_Dif se torna muy pequeño. Si el Err_Dif es menor que $1.0E-2$, no se deberá utilizar este método. Cuando ocurra esto, el programa calculará un nuevo valor asumido, tomando en cuenta el promedio de los valores de superficie de agua asumido y computado en las iteraciones previas.

El programa está restringido a un número máximo de iteraciones (el número predeterminado es 20) para balancear el perfil hidráulico. Mientras el programa realiza las iteraciones, mantiene un nivel de superficie de agua tal que produce un monto mínimo de error entre los valores asumidos y calculados. Esta superficie de agua es llamada “superficie de agua con mínimo error”. Si el número máximo de iteraciones es alcanzado antes de que se produzca un balance, el programa calculará entonces una profundidad crítica (si esta no ha sido ya ingresada). El programa verificará entonces si el error asociado con la superficie de agua con error mínimo, se encuentra entre uno los rangos de tolerancia predefinida (el programa lo asume con 0.1m).

Si el error mínimo de superficie de agua tuvo un error asociado menor a la tolerancia predeterminada, y esta a su vez se encuentra en el lado correcto de la altura crítica, entonces el programa utilizará esta superficie de agua como una respuesta final, y enviará un mensaje de aviso si esto ocurriese.

Si al contrario, la superficie de agua de error mínimo tuvo un error asociado mayor a la tolerancia predeterminada, o si esta se encuentra en el lado erróneo de la altura crítica, el programa utilizará a la altura crítica como resultado final para la sección transversal, enviando un mensaje de aviso si esto ocurriese. Tanto la superficie de error mínimo como la altura crítica son únicamente utilizadas en aquellas situaciones en las que se le permite al programa el continuar con la solución de los perfiles hidráulicos.

Cuando una elevación “balanceada” ha sido obtenida para una sección transversal, se realizan verificaciones para asegurar que la elevación se encuentra en el lado correcto del perfil de altura crítica (Ej.: sobre la altura crítica si se requiere un perfil subcrítico). Si la elevación balanceada se encuentra en el lado erróneo de la superficie de altura crítica, se asume la altura crítica para la sección transversal.

Para un perfil subcrítico, una verificación preliminar para un adecuado régimen de flujo, envuelve el análisis del número de Froude. El programa calcula el número de Froude de las superficies de agua “balanceadas”, tanto para el canal principal, como para la sección transversal completa. Si alguno de estos dos números de Froude son mayores que 0.94, entonces el programa verificará el régimen de flujo, mediante el cálculo de una altura crítica con mayor precisión, usando el método de la mínima energía

específica. Un número de Froude de 0.94 es usado en vez de 1.0, debido a que los cálculos del número de Froude en canales irregulares no son muy precisos. De esta manera, el uso de un valor de 0.94 se considera conservador, en tanto que el programa calculará una altura crítica con mayor frecuencia de la que podría necesitar.

Para un perfil supercrítico, la altura crítica es calculada automáticamente para todas las secciones transversales, las cuales permiten una comparación directa entre las elevaciones tanto balanceada como crítica.

4.2.1. Determinación de la Altura Crítica

La altura crítica para una sección transversal puede ser determinada si alguno de las siguientes condiciones son satisfechas:

1. El flujo supercrítico ha sido especificado.
2. El cálculo de la altura crítica ha sido requerido por el usuario.
3. La sección transversal con fronteras externas y la profundidad crítica deben ser determinados para asegurar que las condiciones de frontera ingresadas estén en el régimen de flujo correcto.

4. El número de Froude verificado para un perfil subcrítico indica que la altura crítica necesita ser determinada para verificar el régimen de flujo asociado con la elevación balanceada.
5. El programa no pudo balancear la ecuación de la energía dentro de la tolerancia especificada antes de alcanzar el máximo número de iteraciones.

La ecuación 4.4 determina la energía total para una sección transversal.

$$H = WS + \frac{\alpha V^2}{2g} \quad \text{Ecuación (4.4)}$$

Donde:

H = Energía total

WS = Elevación de la superficie de agua.

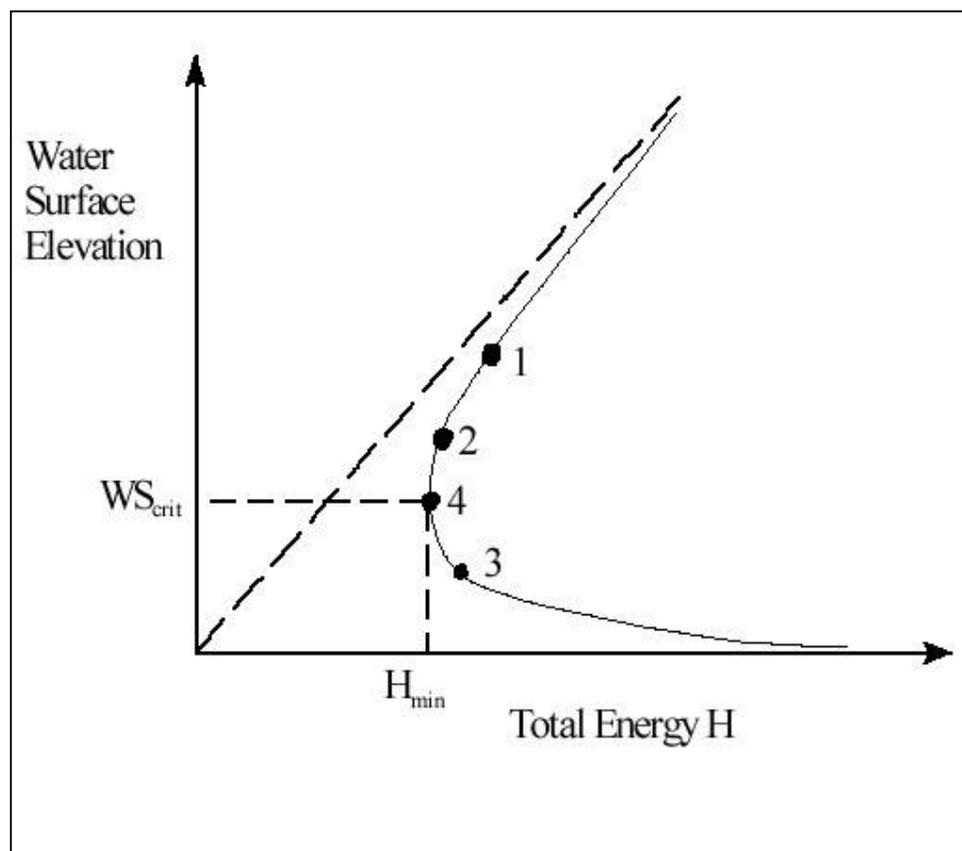
$\frac{\alpha V^2}{2g}$ = Velocidad principal.

La elevación de la superficie crítica, es la elevación en la que la energía total principal es mínima (Ej., energía específica mínima de una sección transversal para un caudal dado). La altura crítica es determinada mediante un procedimiento iterativo en donde los valores de WS son asumidos, y sus

correspondientes valores de H son determinados con la Ecuación 4.4 hasta que sea obtenido un valor de H mínimo.

La figura IV.5 muestra un diagrama de la Energía vs. Elevación de agua.

Figura IV.5. Diagrama Energía vs. Elevación de Superficie de Agua.



Fuente: Referencia Hidráulica del HEC-RAS. Cap2

El HEC-RAS posee dos métodos para el cálculo de la altura crítica: un método “parabólico”, y un método “secante”. El método parabólico es computacionalmente más rápido, pero este es sólo capaz de localizar una sola energía mínima. Para la mayoría de secciones transversales, solo habrá una energía mínima en el total de la curva de energía, debido a esto, el método parabólico ha sido dispuesto como el método predeterminado (el método predeterminado puede ser modificado por el usuario). Si el método parabólico es probado, y este no converge, el programa procederá automáticamente a utilizar el método secante.

En ciertas situaciones es posible tener más de una energía mínima en la curva de energía. Estos múltiples mínimos suelen ser asociados a secciones transversales que poseen quiebres en la curva de energía. Estos quiebres pueden ocurrir debido a márgenes muy anchas y planas, así como a perfiles transversales con diques y áreas de flujo inefectivas.

Cuando el método parabólico es utilizado en una sección transversal que posee múltiples mínimos en la curva total de energías, el método convergerá en el primer mínimo localizado. Este procedimiento puede llevar a estimaciones incorrectas de alturas críticas. Si se presume que el programa posee alturas críticas localizadas incorrectamente, se deberá seleccionar el método de la secante y el modelo deberá ser nuevamente simulado.

Método Parabólico

En resumen, el método “parabólico” envuelve la determinación de valores de H para tres valores de perfiles espaciados a intervalos iguales. El perfil correspondiente al mínimo valor de H, definido por una parábola que pasa a través de tres puntos en un plano de H versus altura de perfil, es utilizado como base para asumir el siguiente valor de elevación.

Se presume que la elevación crítica ha sido obtenida cuando el cambio en la profundidad del agua desde una iteración a la siguiente es menor a 0.003 m, y el nivel de energía provisto no presente disminución o incrementos mayores a 0.003 m.

Método de la Secante

El método de la “secante”, primero crea una tabla de superficies de agua versus energías, dividiendo la sección transversal en 30 intervalos. Si la altura máxima de la sección transversal (desde punto más elevado hasta el punto menor) es menor a 1.5 veces la máxima altura del canal principal (desde el punto más elevado de la margen del canal principal hasta el fondo del mismo), entonces el programa divide toda la sección transversal en 30 intervalos iguales. Si ese no es el caso, el programa utilizará 25 intervalos desde el fondo hasta el punto mayor del canal principal, y luego 5 intervalos iguales desde el canal principal hasta el extremo superior de la sección

transversal. Luego, el programa realiza una búsqueda en la tabla para localizar los mínimos locales.

Cuando un punto en la tabla es encontrado de tal forma que la energía inmediatamente por encima, y, inmediatamente por debajo es mayor que la energía para la superficie de agua dada, entonces la localización general de un mínimo local ha sido encontrada. El programa buscará entonces el mínimo local mediante el uso del método de la proyección de la pendiente de la secante.

El programa realizará iteraciones para el mínimo local hasta treinta veces, o hasta que la altura crítica haya sido forzado por la tolerancia crítica de error. Luego de que el mínimo local haya sido determinado con mayor precisión, el programa continuará buscando en la tabla, verificando si existe algún otro mínimo local. El programa podrá localizar hasta tres mínimos locales en la curva de energía. Si más de un mínimo local es encontrado, el programa definirá la altura mínima como aquella correspondiente a la energía mínima.

Si el mínimo local es originado por un quiebre en la curva de energía causado por el rebosamiento de un dique o por un área de flujo inefectivo, el programa seleccionará el siguiente mínimo menor en la curva de energía. Si todos los mínimos locales ocurren en un quiebre en la curva de energía

(causado por diques y áreas de flujo inefectivas), el programa seleccionará la altura crítica correspondiente a la energía menor. Si es encontrado ningún mínimo local, el programa utilizará la elevación de superficie de agua correspondiente a la menor energía.

Si la profundidad crítica encontrada se encuentra en el extremo superior de la sección crítica, entonces es probable que esta altura crítica no sea real. Debido a esto, el programa duplicará la altura de la sección transversal y probará nuevamente. La duplicación la altura de la sección transversal está acompañada por una extensión de las paredes verticales en el primer y último punto de la sección. La altura de la sección transversal puede ser doblada cinco veces antes de que el programa cese la búsqueda.

4.2.2. Aplicación de la Ecuación del Momento

En cualquier punto en donde la superficie de agua atraviese la altura crítica, la ecuación de la energía no se considerará aplicable. La ecuación de la energía es únicamente aplicable a situaciones de flujo con variación gradual, y cuando la transición desde un flujo subcrítico a supercrítico o supercrítico a subcrítico, presente una rápida variación de flujo.

Existen algunos instantes en donde la transición desde un flujo subcrítico a supercrítico y supercrítico a subcrítico puede ocurrir. Estos incluyen cambios significativos en la pendiente del canal, elementos estructurales, y cruces de ríos. En algunos de estos ejemplos, pueden ser utilizadas ecuaciones empíricas, mientras que en otros casos será necesario aplicar la ecuación de momento para poder obtener una respuesta.

Dentro de HEC-RAS, la ecuación del momento puede ser aplicada para los siguientes problemas específicos: La presencia de saltos hidráulicos; flujos hidráulicos bajos en puentes; y cruces de ríos.

La ecuación de momentos se deriva de la segunda ley del movimiento de Newton's:

Fuerza = Masa x Aceleración (cambio en momento)

$$\sum F_x = ma \qquad \text{Ecuación (4.5)}$$

Dado que las condiciones existentes de los tramos de los ríos a ser analizados en el presente trabajo de tesis, no presentan situaciones que

demanden la utilización de la ecuación del momento, no se realizará una explicación mayor de este subíndice.

4.2.3. Limitaciones del Programa para Flujo Permanente.

El HEC-RAS supone los siguientes puntos como implícitos en las expresiones analíticas utilizadas en el programa:

1. El flujo es permanente.
2. El flujo varía en forma gradual. (Excepto en estructuras hidráulicas como: puentes; alcantarillas; y diques. En estas localidades, en donde el flujo puede variar rápidamente, la ecuación del momento u otra ecuación empírica es utilizada).
3. El flujo es unidireccional (Ej.: los componentes de la velocidad en direcciones distintas a la dirección del flujo no son tomados en cuenta).
4. La pendiente de los canales de ríos son pequeñas, siendo menores a 1:10.

Se asume que el flujo es permanente debido a que los términos dependientes del tiempo no son incluidos en la ecuación de la energía.

Se asume que el flujo presentará variaciones graduales debido a que la ecuación de la energía esta basada en la premisa de que existe una distribución de la presión hidrostática en cada sección transversal. En sitios en donde el flujo presenta una rápida variación, el programa activará la ecuación del momento u otra ecuación empírica.

Se asume que el flujo es unidireccional debido a que la ecuación que define la elevación de la línea de la energía total H , está basada en la premisa de que ésta se mantiene constante en todos los puntos de la sección transversal.

Se asume canales con pendientes pequeñas debido a que la presión superior, la cual es un componente de Y en ecuación 4.1, es representada por la altura de agua medida verticalmente.

El programa normalmente no posee la capacidad de tratar con márgenes y fondos móviles (Ej.: transporte de sedimentos) y requiere que las pérdidas de energía sean definidas en los términos contenidos en la ecuación 4.2.

4.3. Requerimiento Básico de Datos

El objetivo principal del programa Hec-Ras es relativamente simple: calcular las superficies de elevación de agua en todos los puntos de interés del usuario, para cualquier serie de datos de flujo (simulación de flujo permanente) dada, o mediante evaluación de hidrogramas a través del sistema (simulación de flujo no permanente). Los datos necesarios para el desarrollo de estos cálculos son divididos en las siguientes categorías: datos geométricos, datos de flujo permanente, datos de flujo no permanente, y, datos de sedimentación.

Los datos geométricos son requeridos para cualquiera de los análisis desarrollados dentro del HEC-RAS. Los otros tipos de datos, son requeridos únicamente si se desea desarrollar algún tipo específico de dato (Ej.:, los datos de flujo permanente son requeridos para el desarrollo de un cálculo de perfiles hidráulicos en flujo permanente).

4.3.1. Datos Geométricos

Los datos geométricos básicos consisten en establecer la conectividad del sistema del río (Esquemático del Sistema del Río); datos de secciones

transversales; longitud de tramos; coeficientes de pérdida de energía (pérdidas por fricción, y pérdidas por contracción y expansión); e información sobre cruces en ríos.

Determinación de los Límites del Estudio

Cuando se desarrolla un estudio hidráulico, generalmente es necesario poseer datos tanto aguas arriba como aguas debajo del tramo o tramos de río a ser estudiado. La determinación de datos adicionales aguas arriba, será necesaria para evaluar cualquier impacto aguas arriba debido a construcciones realizadas o por realizar.

La colección de datos para aguas arriba, deberá estar limitado a una distancia tal que el incremento en el perfil de la superficie de agua, resultante de una modificación del canal, converja dentro de las condiciones de perfil existentes. De igual manera, la colección de datos para aguas abajo del tramo a ser estudiado, deberá prevenir que cualquier condición de frontera definida por el usuario, afecte los resultados dentro del tramo en estudio.

En general, las superficies de agua en las fronteras aguas debajo de un modelo, normalmente no son conocidas. se deberá estimar estas superficies de agua para cada perfil a ser calculado.

Una práctica común es el uso de la ecuación de Mannig, y el cálculo del tirante crítico (profundidad crítica), a manera de superficie de agua inicial. El uso de la profundidad normal introducirá un error en el perfil de agua superficial de la frontera. En general, para flujos subcríticos, el error en la frontera será disminuido a medida que se procesen los cálculos aguas arriba.

Para prevenir cualquier error computacional dentro del tramo en estudio, las condiciones desconocidas de frontera deberán ser colocadas lo suficientemente lejos hacia aguas abajo, de manera que el perfil calculado converja en una respuesta consistente durante el tiempo en que los cálculos alcancen el límite aguas abajo del estudio.

Gráfico Esquemático del Sistema del Río

El esquemático del sistema del río es requerido para cualquier serie de datos geométricos dentro del sistema HEC-RAS. El gráfico esquemático define la manera en que los diferentes tramos del río se conectan entre sí, así como establece una convención de nomenclaturas para referenciar el resto de datos.

El sistema esquemático del río es desarrollado mediante el gráfico y la conexión de los diferentes tramos del sistema, dentro del editor de datos

geométricos. Este gráfico deberá ser desarrollado antes de proceder a ingresar cualquier otro dato. Cada tramo del río, dentro del dibujo esquemático, posee un único identificador. A medida que se ingresan los siguientes datos, éstos deberán ser referenciados para cada tramo específico.

Los identificadores de ríos y tramos definen a qué tramo pertenece cada sección transversal, mientras que el identificador de la estación del río, define el lugar en el que se localiza la sección transversal dentro del tramo, con respecto a la siguiente sección transversal para el tramo en mención. La conectividad de los tramos es muy importante para el entendimiento de cómo los cálculos deberán proceder desde un tramo al siguiente.

Se requerirá dibujar cada tramo desde aguas arriba hacia aguas abajo, definiendo así la dirección positiva del flujo. El punto de conexión de dos tramos es considerado como un cruce. Los cruces deberán ser únicamente establecidos en puntos en donde dos o más ríos se junten o se separen entre sí. Los cruces no podrán ser establecidos con un tramo simple fluyendo hacia otro tramo simple. Estos dos tramos deberán ser combinados y definidos como un solo tramo.

Geometría de las Secciones Transversales

La geometría de frontera para el análisis de flujo en ríos naturales, está especificado en términos de perfiles de la superficie del terreno natural (secciones transversales), y de las distancias medidas entre estas secciones (longitud de tramos). Las secciones transversales están localizadas en intervalos a lo largo del río, para caracterizar tanto la capacidad de acarreo del río, como su llanura de inundación adyacente. Estos deberán extenderse a lo largo de toda la llanura de inundación y deberán además ser perpendiculares a las líneas de flujo. Se deberá tratar en todo momento que las secciones transversales obtenidas representen la geometría real del río.

Se requieren secciones transversales en puntos representativos a través del tramo del río, y en puntos en donde ocurran cambios en la descarga, pendiente, forma, o rugosidad, así como en sitios en donde se hayan colocados diques o estructuras de control. En donde se produzcan cambios abruptos, se deberán utilizar varias secciones transversales para poder describir los cambios relacionados con distancias.

El espaciamiento entre las secciones transversales está relacionado con el tamaño del río, la pendiente del mismo, y la uniformidad de la forma de las secciones transversales. Cada sección transversal en una serie de datos en el HEC-RAS, está identificado por un Río, Tramo, y Estación de Río.

Las secciones transversales se desarrollan ingresando las estaciones y elevaciones (datos X – Y) de izquierda a derecha, con respecto a la dirección aguas abajo. Los identificadores de las Estaciones del Río, pueden representar la ubicación de las secciones a lo largo del río, puntos de medición, o cualquier sistema numérico ficticio.

El sistema numérico deberá ser consistente, dado que el programa asumirá que los números mayores corresponden a aguas arriba, y los números menores corresponden a aguas abajo. Se deberán especificar dentro del editor de datos de las secciones transversales, los puntos de estación, izquierdo y derecho, que separarán el área del canal principal con la correspondiente a la llanura de inundación de cada sección. Los puntos finales de cada sección transversal que sean demasiado bajos (por debajo de la elevación de la superficie de agua calculada), serán extendidos verticalmente, y una nota indicando que la sección transversal ha tenido que ser extendida, será mostrada en el output de cada sección.

Además de lo ya mencionado, se requerirán otros datos para cada sección, los cuales consisten en: longitudes de los tramos aguas abajo; coeficientes de rugosidad; y coeficientes de contracción y expansión.

Longitudes de los Tramos

Las distancias medidas entre las secciones transversales son denominadas como Longitudes de tramos. Las longitudes del tramo para la margen izquierda, margen derecha, y para el canal principal, se especifican dentro del editor de datos para la sección transversal. Las longitudes de tramo del canal, corresponden a las mediciones a lo largo del thalweg. Las longitudes de tramo de las márgenes, deberán ser medidas a lo largo de la senda anticipada del centro de masa del flujo en la margen.

Usualmente, estas tres longitudes poseen valores similares. No obstante, en condiciones en donde existan diferencias significativas tales como ríos meándricos, o en donde el fondo del río sea sinuoso, y las márgenes sean rectas.

Coefficiente de Pérdida de Energía

El programa utiliza diferentes tipos de coeficientes de pérdida para evaluar las pérdidas de energía:

1. Valor del n de Manning o valor de la rugosidad equivalente “ k ”, para pérdidas por fricción.

2. Coeficientes de contracción y expansión para evaluar las pérdidas de transición (choque).
3. Coeficientes de pérdida por puentes y alcantarillas, para evaluar las pérdidas relacionadas a la forma de las paredes, configuración de los pilotes, presión de flujo, y condiciones de entrada y salida.

Número (n) de Manning: La selección de un valor apropiado para el número (n) de Manning, tiene mucha significancia en la precisión de los cálculos de los perfiles hidráulicos.

El valor del n de Manning es variable, y depende de un gran número de factores entre los que se incluyen: rugosidad de superficie; vegetación; irregularidades del canal; alineación del canal; erosión y depositación; obstrucciones; tamaño y forma del canal; estación y descarga; cambio temporal; temperatura; y material en suspensión y carga de fondo.

En general, el número de Manning deberá ser calibrado en todo sitio en donde sea disponible obtener información de perfiles hidráulicos. Cuando no se disponga de esta información, se deberán utilizar valores obtenidos para ríos en condiciones similares, o valores obtenidos desde datos experimentales.

Rugosidad Equivalente “k”: Como opción para describir la rugosidad en las fronteras en el diseño hidráulico de un canal, HEC-RAS utiliza comúnmente un parámetro “k” de rugosidad equivalente. Esta rugosidad equivalente, también conocida como “altura de la rugosidad”, es una medición de la dimensión linear de los elementos rugosos, la cual no es necesariamente igual a la altura actual, o incluso la altura promedio de estos elementos.

Las variaciones horizontales de los valores de “k” están descritas de la misma manera en que se describen las variaciones horizontales del “n” de Manning. Se pueden especificar más de veinte valores de “k” para cada sección transversal.

Coefficientes de Contracción y Expansión: Como ya se mencionó en la Sección II.3.3.3, una causa común de pérdida de energía dentro de un tramo (entre dos secciones transversales) es la contracción y expansión de flujo debido a cambios en la sección transversal. Estas pérdidas son calculadas desde los coeficientes de contracción y expansión, especificados en el editor de datos de la sección transversal.

Los coeficientes, los cuales son aplicados entre secciones transversales, son especificados como parte de los datos de la sección aguas arriba. Los coeficientes son multiplicados por la diferencia absoluta de velocidades entre una sección transversal y la siguiente sección aguas abajo, las cuales dan las pérdidas de energía debido a la transición.

Datos de Cruces de Ríos

Los cruces de ríos son definidos como puntos en donde dos o más ríos se juntan o se separan entre sí. Los datos de los cruces consisten de una longitud de tramo a lo largo del cruce, y ángulos tributarios (solo si la ecuación de momentos es seleccionada). Las longitudes de tramos a lo largo del cruce son ingresadas en el editor de Datos de Cruces. Este permite que las longitudes a lo largo de confluencias muy complicadas sean acomodadas.

En el presente trabajo no se realizarán cruces de ríos, por lo que no se procederá a colocar mayor explicación de este ítem.

4.3.2. Datos de Flujo Permanente

Régimen de Flujo

Los cálculos de los perfiles hidráulicos para una sección transversal comienzan con condiciones iniciales conocidas o asumidas, y consecuentemente, con condiciones aguas abajo para flujos subcríticos o aguas arriba para flujo supercrítico. Los regímenes de flujo (subcrítico, supercrítico, o flujo mixto) se encuentran especificados en la ventana de Análisis de Flujo Permanente en la interfase del usuario.

Los perfiles subcríticos calculados por el programa están restringidos por la profundidad crítica hacia arriba, y los perfiles supercríticos están restringidos por la profundidad crítica hacia abajo. En los casos en que el régimen de flujo pase desde subcrítico a supercrítico, o desde supercrítico a subcrítico, el programa deberá ser desarrollado en el modo de régimen de flujo mixto.

Condiciones de Frontera

Las condiciones de frontera son necesarias para establecer la superficie de agua inicial en el final del sistema del río (aguas arriba y aguas abajo).

La superficie de agua inicial es necesaria para que el programa pueda iniciar los cálculos.

En un régimen de flujo subcrítico, solo se necesitarán condiciones de frontera en el punto final aguas abajo el sistema del río. Si un régimen de flujo supercrítico va a ser calculado, las condiciones de frontera serán necesarias únicamente en el punto aguas arriba final del sistema del río. Si se va a realizar cálculos con régimen de flujo mixto, entonces se necesitarán condiciones de frontera tanto en el inicio como en el final del sistema del río.

El editor de las condiciones de frontera contiene una tabla en la que se presenta todos los tramos. Cada tramo posee una condición de frontera tanto aguas arriba como aguas abajo. Las conexiones en cruces de ríos, son consideradas como condiciones internas de frontera. Las condiciones internas de frontera son presentadas automáticamente en la tabla, basadas en cómo el sistema del río fue definido en el editor de datos geométricos.

Se necesita ingresar únicamente las condiciones externas de frontera. Existen cuatro tipos de condiciones de frontera disponibles:

Elevación conocida de la Superficie de Agua: Para esta condición de frontera, se deberá ingresar una elevación para la superficie de agua ya conocida, para cada uno de los perfiles a ser calculados.

Tirante o Profundidad Crítica: Cuando este tipo de condición de frontera es seleccionado, no se requerirá ingresar cualquier otra información. El programa calculará el tirante crítico para cada uno de los perfiles, y los utilizará como condiciones de frontera.

Tirante o Profundidad Normal: Par este tipo de condición de frontera, se requerirá ingresar la pendiente de la línea de energía, la cual será utilizada para calcular el tirante normal (utilizando la ecuación de Manning) en ese punto. Se calculará un tirante normal para cada perfil, basado en la pendiente ingresada. En general, la pendiente de la energía puede ser aproximada mediante el uso de la pendiente promedio del canal, o por la pendiente promedio de la superficie de agua en las proximidades de la sección transversal.

Curva de Gasto (Rating Curve): Cuando este tipo de condición de frontera es seleccionado, una ventana aparecerá permitiendo el ingreso de una curva de gastos de elevación versus caudal. Para cada perfil, la elevación será interpolada a partir del caudal dado por la curva de gasto, utilizando interpolación lineal entre los puntos ingresados. En los casos en que la elevación de la superficie de agua en la frontera en estudio sea desconocida, y una superficie de agua definida sea requerida en la frontera para iniciar los

cálculos, el modelador deberá ya sea estimar la superficie de agua, o seleccionar los tirantes normal o crítico.

Utilizar una superficie de agua estimada, incorporará un error en el perfil de superficie de agua en la proximidad de la condición de frontera. Si es importante obtener respuestas con mayor precisión en la sección transversal cercana a la condición de frontera, entonces se deberá adicionar secciones transversales debajo de la frontera aguas abajo.

Si un perfil supercrítico será calculado, entonces se deberán adicionar secciones transversales aguas arriba de la frontera aguas arriba relevante. Si un perfil de régimen de flujo mixto va a ser calculado, entonces se adicionarán secciones transversales tanto aguas arriba como aguas debajo de todas las fronteras relevantes.

Información de Descarga

La información de la descarga es necesaria en cada sección transversal, para que puedan ser calculados los perfiles hidráulicos. Los datos de descarga son ingresados desde aguas arriba hacia aguas abajo para cada uno de los tramos. Al menos un valor de caudal deberá ser ingresado para cada tramo en el sistema del río.

Una vez que un valor de caudal sea ingresado en el punto final aguas arriba de un tramo, se asumirá que el caudal permanecerá constante hasta que otro valor de caudal sea encontrado en el mismo tramo. La rata de flujo puede ser modificada en cualquier sección transversal dentro de un tramo. No obstante, la rata de flujo no podrá ser modificada en la mitad de un puente, alcantarilla, o cruce de río. Los datos de flujo deberán ser ingresados para el número total de perfiles que van a ser calculados.

La metodología de cálculo utilizada por el HEC-RAS, mostrada en este Capítulo, facilitará la comprensión de los datos que el Modelo determine.

A continuación se presenta el Capítulo V “Análisis de los Resultados obtenidos en el Modelo”. En este capítulo se mostrarán todos los resultados, tanto gráficos como tabulares, determinados por el Hec-Ras.

CAPITULO 5

5. ANALISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN EL MODELO

En la Sección III.2.2 (Caudales medidos en Campo) se muestran los valores de los caudales obtenidos (Q_1 y Q_2), en las campañas de muestreo efectuadas en noviembre del 2001, y en julio del 2002 respectivamente.

El modelaje hidráulico analizado en el presente trabajo, contempla el estudio del comportamiento del sistema hídrico del Río Chaguana, bajo estas dos consideraciones de caudales, analizando así, dos diferentes escenarios: Escenario 1 y Escenario 2.

Para en análisis de la simulación hidráulica realizada por el Modelo, se asumirá Condiciones de Flujo Permanentes, es decir, que en la ecuación de la energía no serán incluidos términos que dependan del tiempo. Además, se realizarán los cálculos a partir de consideraciones de Flujo Subcrítico (N° de Froude < 1).

La tabla V.1, resume las consideraciones hidráulicas aplicadas a cada uno de los escenarios.

Tabla V.1 Consideraciones Hidráulicas de los Escenarios 1 y 2

ESCENARIO	CONSIDERACIONES HIDRÁULICAS
ESCENARIO 1	<ul style="list-style-type: none"> • Caudal Q1 (Tabla III.3) • Flujo Permanente • Flujo Subcrítico (N° de Froude < 1)
ESCENARIO 2	<ul style="list-style-type: none"> • Caudal Q2 (Tabla III.3) • Flujo Permanente • Flujo Subcrítico (N° de Froude < 1)

Los resultados del modelo se presentan tanto en forma gráfica como tabular. Cabe mencionar que el modelo trabaja únicamente en lenguaje inglés, por lo que los parámetros incluidos en los resultados obedecen a abreviaturas en dicho idioma.

A continuación se presenta el significado de la nomenclatura utilizada por el modelo.

E.G. Elev (m)	Línea de la Gradiente de Energía para un perfil hidráulico dado.
W.S.Elev (m)	Perfil hidráulico calculado a partir de la Ecuación de la Energía.
Crit W.S. (m)	Altura crítica. Altura de agua correspondiente a la energía mínima en la curva energía vs. profundidad.
E.G. Slope (m/m)	Pendiente de la línea de gradiente de energía.
Q Total (m³/s)	Caudal total en una sección transversal
Top Width (m)	Ancho del canal tomando como referencia la superficie del agua.
Vel Total (m/s)	Velocidad promedio del flujo total de una sección transversal.
Max Chl Dpth (m)	Máxima Profundidad del canal.
Conv. Total (m³/s)	Capacidad de Transporte total de la sección transversal.
Length Wtd (m)	Longitud del tramo entre dos secciones transversales.
Min Chl El (m)	Elevación mínima del canal.
Frctn Loss (m)	Pérdida de energía entre dos secciones transversales.
C & E Loss (m)	Pérdidas por contracción y expansión entre dos secciones transversales.
Wt. n-Val	Valor de la rugosidad n de Manning.
Flow Area (m²)	Área de flujo de la sección transversal.
Hydr. Depth (m)	Altura hidráulica.
Wetted Per. (m)	Perímetro mojado.
Shear (N/m²)	Tensión cortante.
Stream Power (N/m s)	Poder Hidráulico.

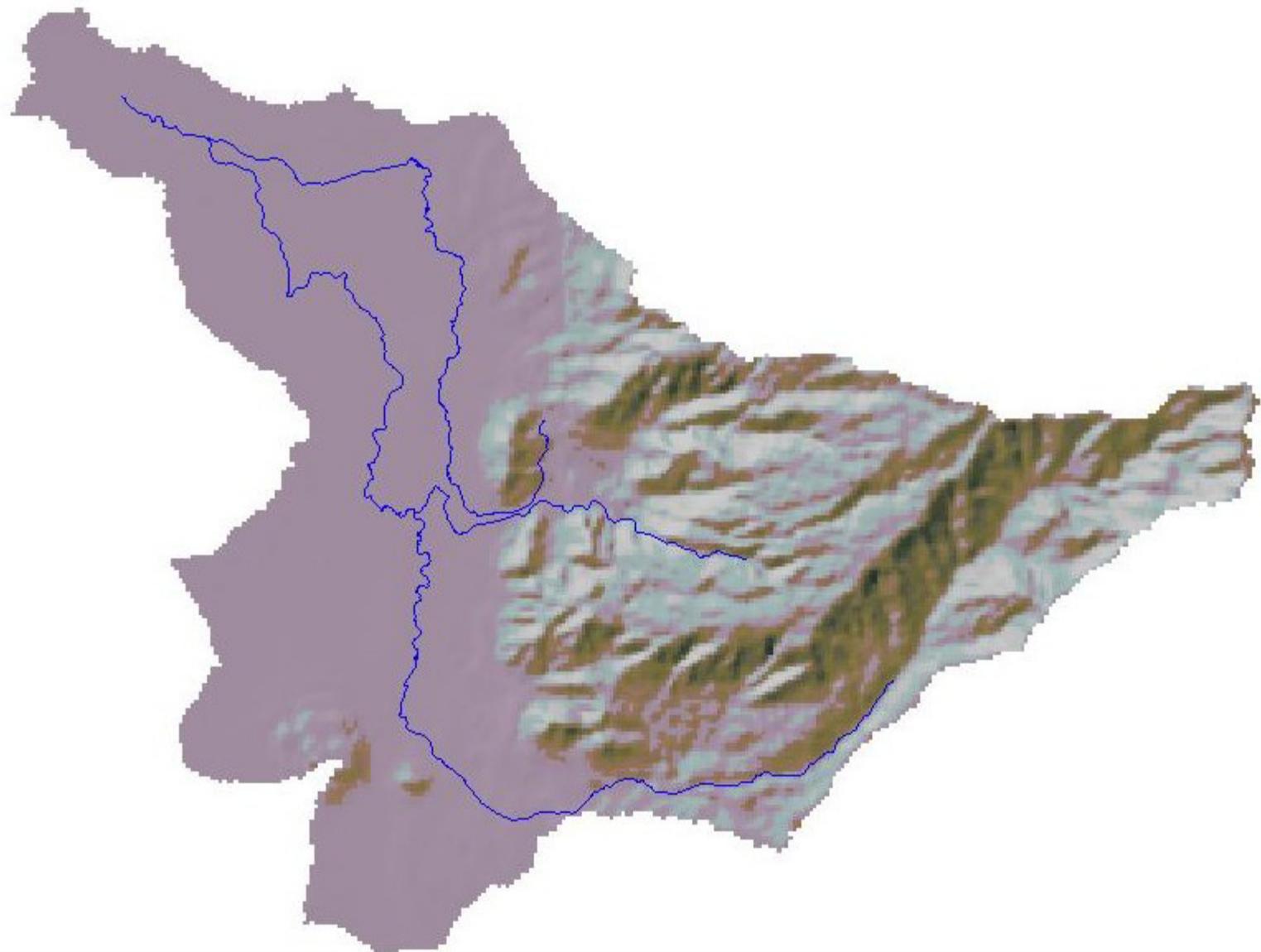
Cum Volume (1000 m3)	Volumen acumulado de agua, medido desde el extremo final aguas abajo hasta una sección transversal dada.
Cum SA (1000 m2)	Área acumulada de la superficie de agua, medida desde el extremo final aguas abajo hasta una sección transversal dada.
Froude # Chl	Número de Froude del canal.

La Figura V.1, muestra la ubicación y la distribución de los Ríos Chaguana y Zapote, así como la ubicación de las secciones transversales analizadas en el presente trabajo.

5.1. Resultados Gráficos del Modelo

5.1.1. Secciones Transversales

En esta sección se mostrarán las gráficas que contienen los perfiles hidráulicos calculados por el Modelo Hec-Ras, visualizados en cada una de las Secciones Transversales analizadas en el Sistema Hídrico, aplicados a cada uno de los dos escenarios (Escenario 1 y Escenario 2).



La tabla V.2, muestra la descripción de estas gráficas para cada escenario y para cada río (Zapote y Chaguana).

Tabla V.2 Gráficas de los Perfiles Hidráulicos en Secciones Transversales.

RIO	ESCENARIO	FECHA DE SIMULACION	FIGURA	SECCION TRANSVERSAL	GRAFICO
ZAPOTE	ESCENARIO 1	Noviembre de 2001	FIG. V.2	A1 A2 A3 A4 A5 A6 A7	Fig. V.2.a Fig. V.2.b Fig. V.2.c Fig. V.2.d Fig. V.2.e Fig. V.2.f Fig. V.2.g
	ESCENARIO 2	Julio de 2002	FIG. V.3	A1 A2 A3 A4 A5 A6 A7	Fig. V.3.a Fig. V.3.b Fig. V.3.c Fig. V.3.d Fig. V.3.e Fig. V.3.f Fig. V.3.g
CHAGUANA	ESCENARIO 1	Noviembre de 2001	FIG. V.4	A11 A12 A13 A14 A16 A17 A18	Fig. V.4.a Fig. V.4.b Fig. V.4.c Fig. V.4.d Fig. V.4.e Fig. V.4.f Fig. V.4.g
	ESCENARIO 2	Julio de 2002	FIG. V.5	A11 A12 A13 A14 A16 A17 A18	Fig. V.5.a Fig. V.5.b Fig. V.5.c Fig. V.5.d Fig. V.5.e Fig. V.5.f Fig. V.5.g

Fig. V.2.a - Sección Transversal A-1

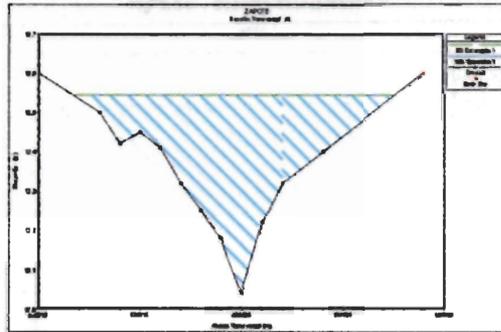


Fig. V.2.b - Sección Transversal A-2

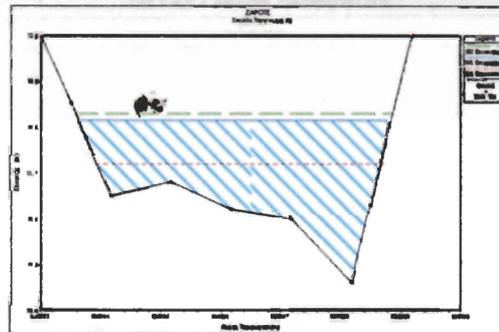


Fig. V.2.c - Sección Transversal A-3

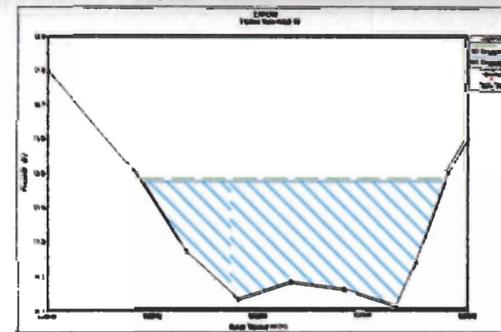


Fig. V.2.d - Sección Transversal A-4

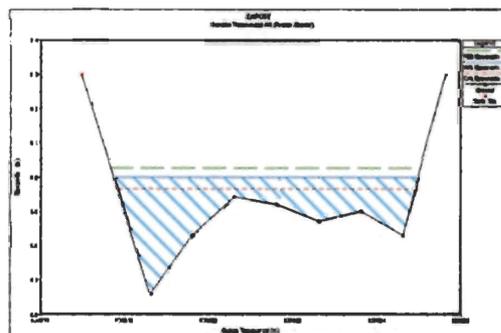


Fig. V.2.e - Sección Transversal A-5

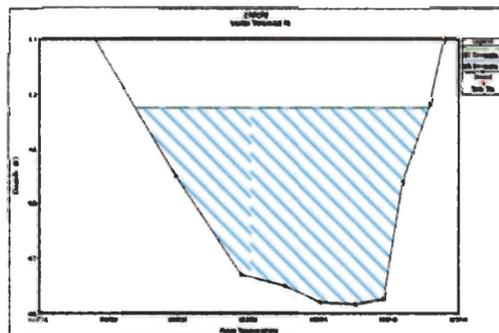


Fig. V.2.f - Sección Transversal A-6

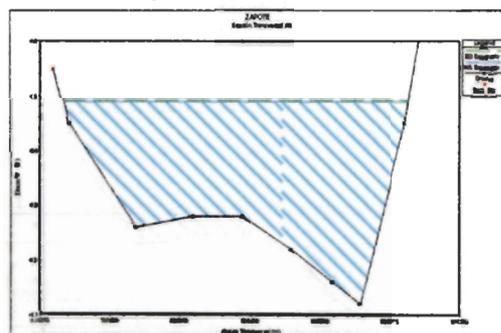
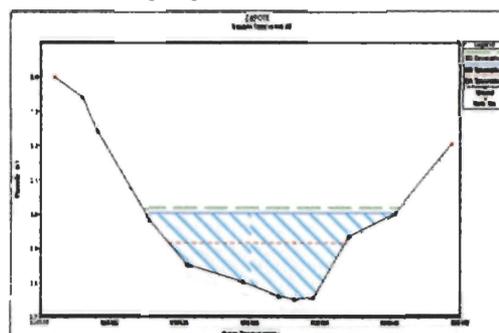


Fig. V.2.g - Sección Transversal A-7



ANÁLISIS HIDRÁULICO DEL SISTEMA HIDRÓICO DEL RÍO CHAGUANA, USANDO EL MODELO HEC - RAS

Fig. V.2 Secciones Transversales del Zapote - Escenario 1

Fuente:
HEC-RAS : -View Cross Sections
Proyecto ZAPOTE

Escala:
Esquemática

Fig. V.3.a - Sección Transversal A-1

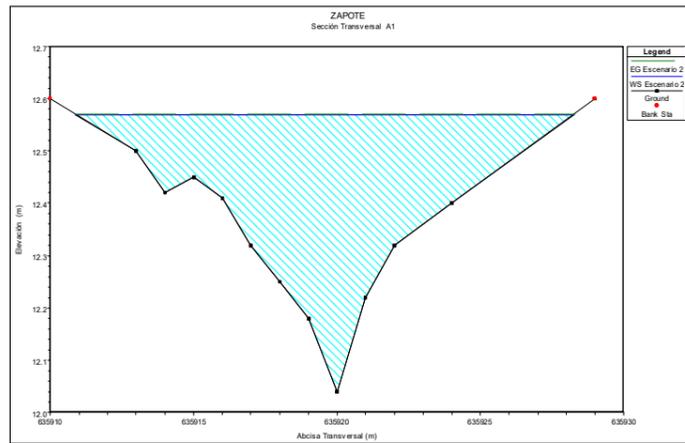


Fig. V.3.b - Sección Transversal A-2

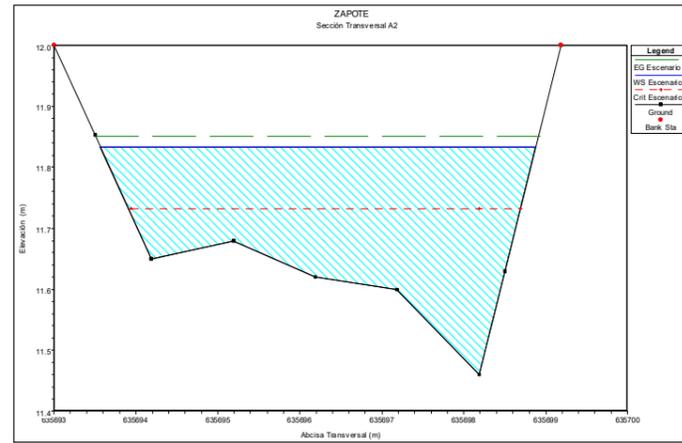


Fig. V.3.c - Sección Transversal A-3

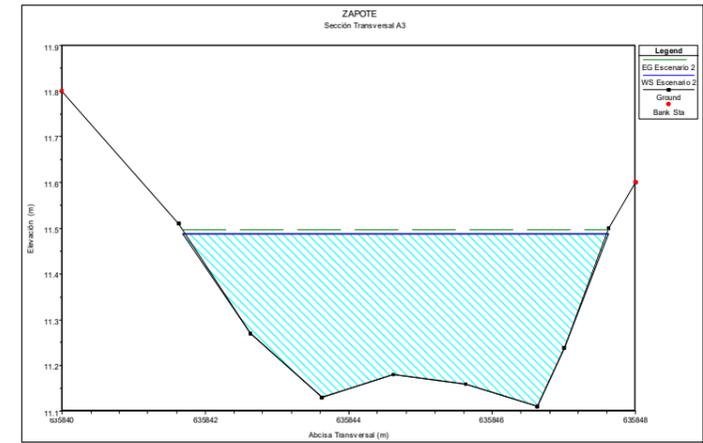


Fig. V.3.d - Sección Transversal A-4

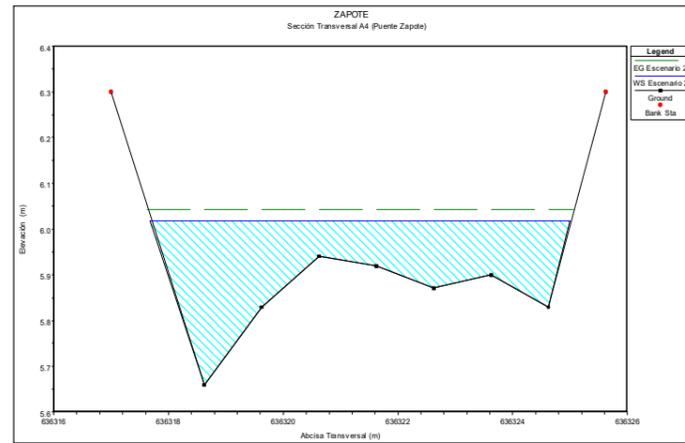


Fig. V.3.e - Sección Transversal A-5

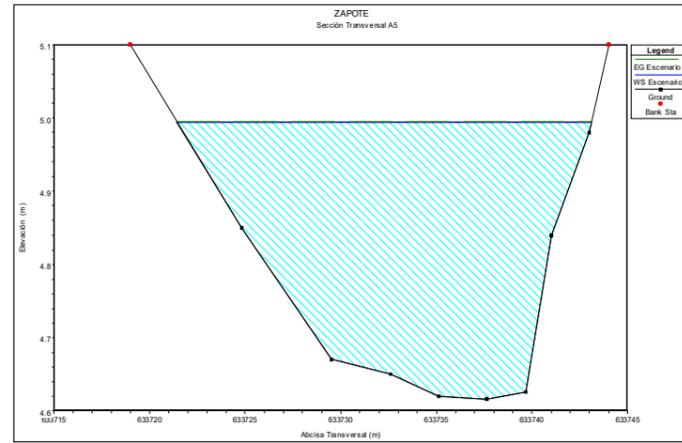


Fig. V.3.f - Sección Transversal A-6

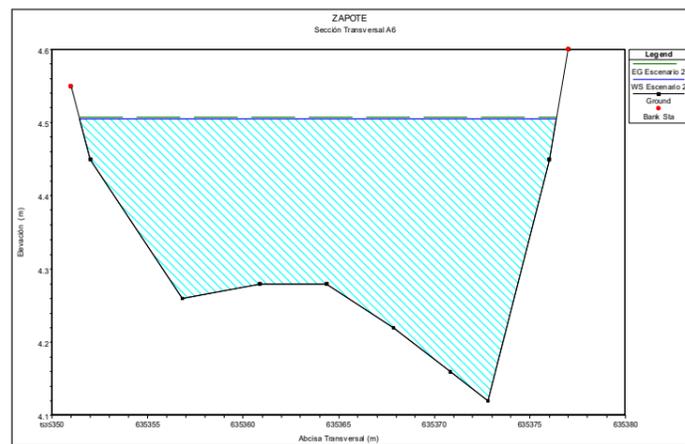
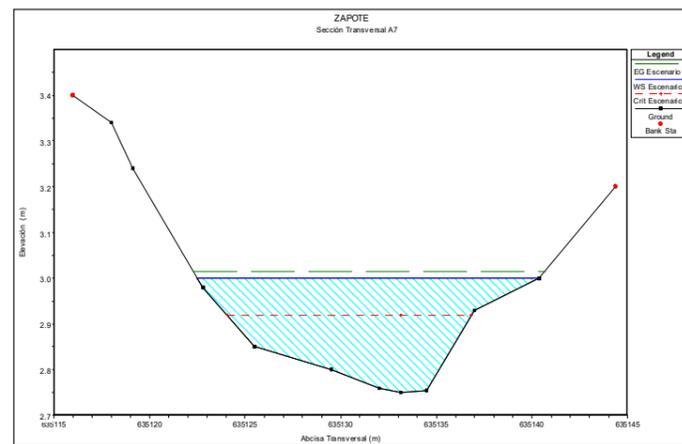


Fig. V.3.g - Sección Transversal A-7



ANALISIS HIDRAULICO DEL SISTEMA HIDRICO DEL RIO CHAGUANA, USANDO EL MODELO HEC - RAS

Fig. V.3 Secciones Transversales del Zapote - Escenario 2

Fuente:
HEC-RAS : -View Cross Sections
Proyecto ZAPOTE

Escala:
Esquemática

Fig. V.4.a - Sección Transversal A-11

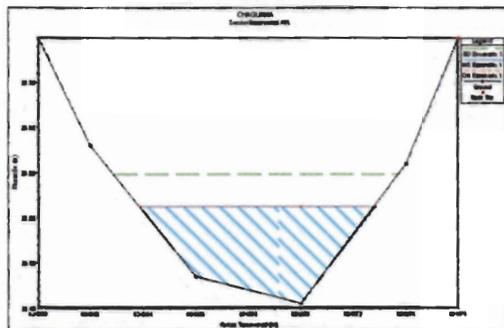


Fig. V.4.b - Sección Transversal A-12

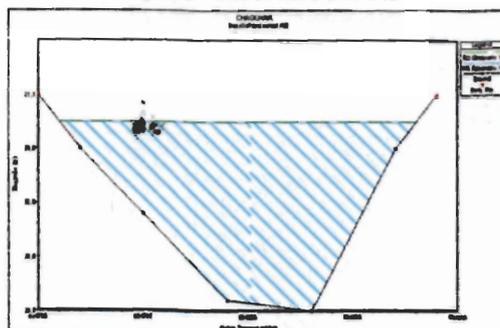


Fig. V.4.c - Sección Transversal A-13

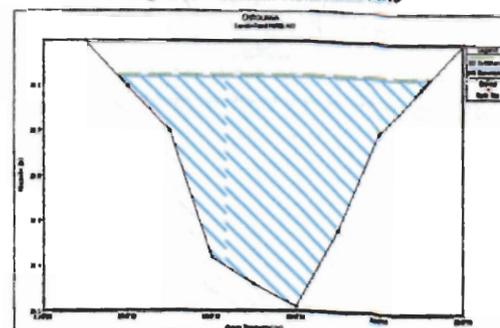


Fig. V.4.d - Sección Transversal A-14

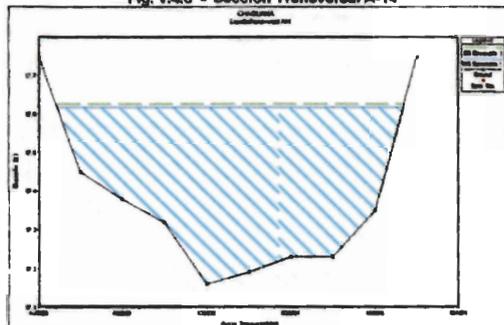


Fig. V.4.e - Sección Transversal A-16

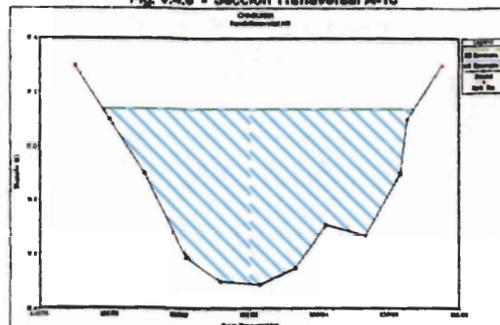


Fig. V.4.f - Sección Transversal A-17

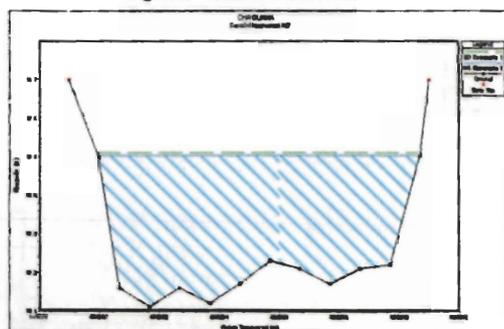
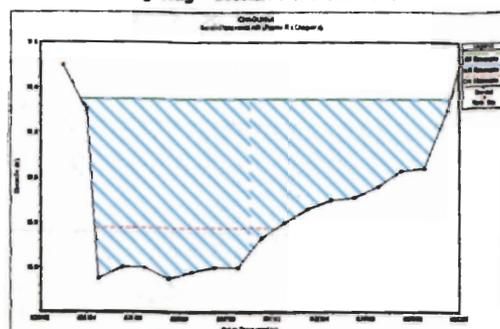


Fig. V.4.g - Sección Transversal A-18



ANALISIS HIDRAULICO DEL SISTEMA HIDRICO DEL RIO CHAGUANA, USANDO EL MODELO HEC - RAS

Fig. V.4 Secciones Transversales del Chaguana - Escenario 1

Fuente:

HEC-RAS - View Cross Sections
Proyecto ZAPOTE

Escala:

Esquemática

Fig. V.5.a - Sección Transversal A-11

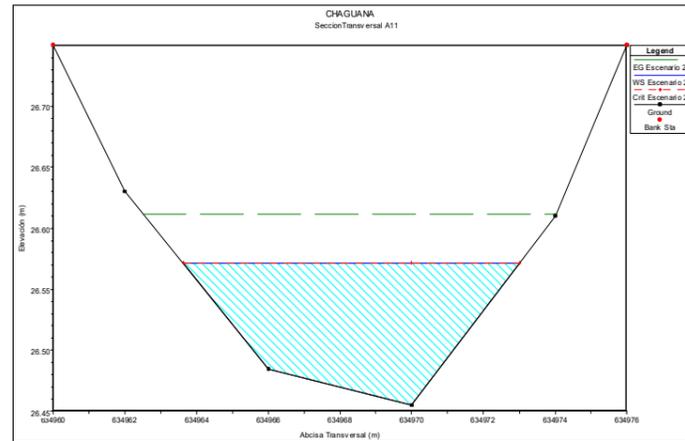


Fig. V.5.b - Sección Transversal A-12

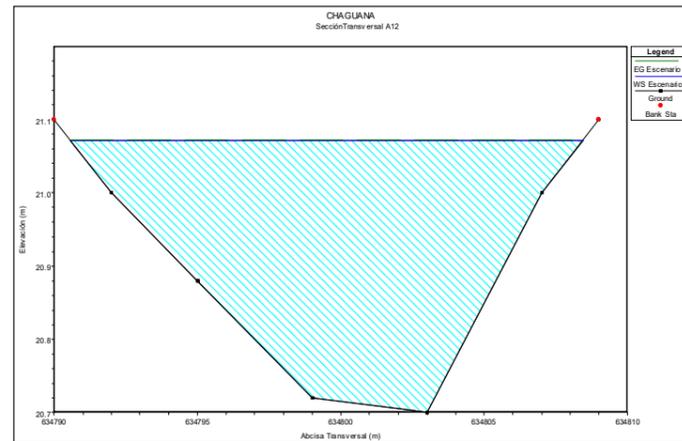


Fig. V.5.c - Sección Transversal A-13

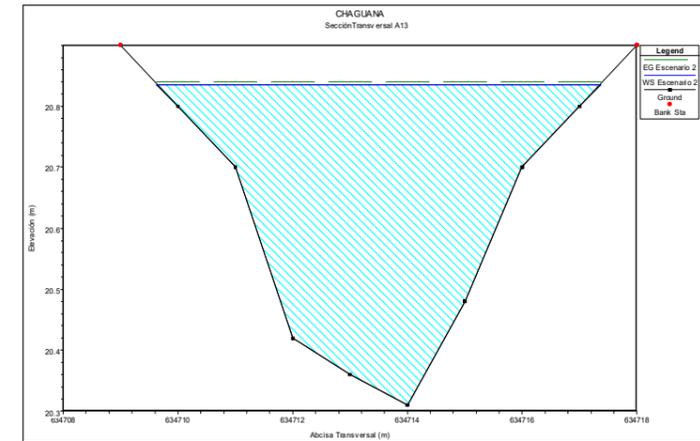


Fig. V.5.d - Sección Transversal A-14

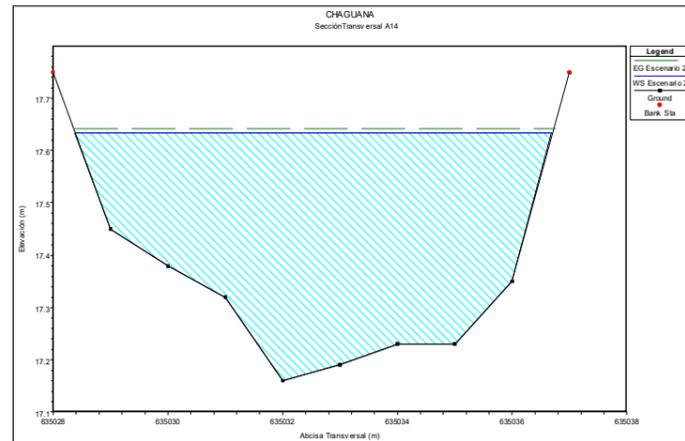


Fig. V.5.e - Sección Transversal A-16

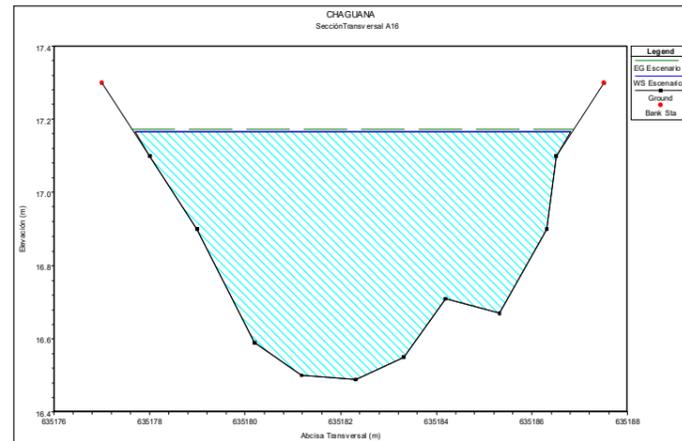


Fig. V.5.f - Sección Transversal A-17

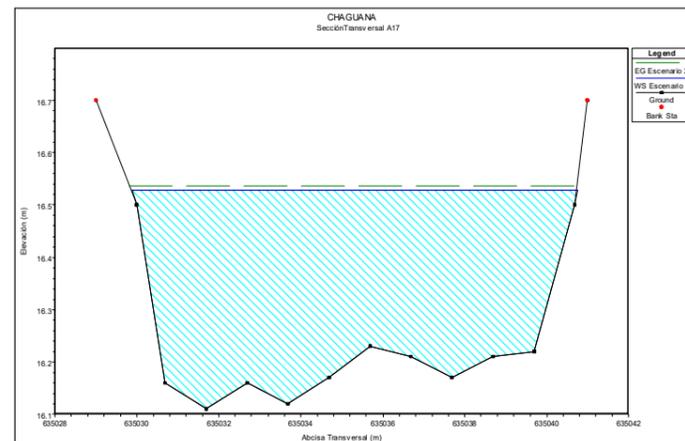
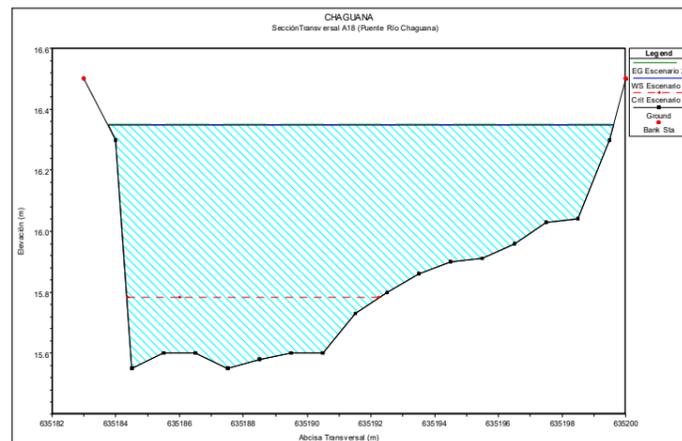


Fig. V.5.g - Sección Transversal A-18



ANALISIS HIDRAULICO DEL SISTEMA HIDRICO DEL RIO CHAGUANA, USANDO EL MODELO HEC - RAS

Fig. V.5 Secciones Transversales del Chaguana - Escenario 2

Fuente:
HEC-RAS : -View Cross Sections
Proyecto ZAPOTE

Escala:
Esquemática

5.1.2. Perfiles Hidráulicos

En esta sección se incluyen los perfiles hidráulicos calculados por el modelo, graficados a lo largo de las longitudes de cada tramo de los ríos.

La tabla V.3, muestra un resumen de las gráficas mostradas. Se incluye una columna de anexos (Anexo V-1, Anexo V-2), presentados en la sección de Planos y Anexos al final del documento. En estos anexos se subdividen los perfiles transversales, ampliando la escala de impresión, mejorando así la apreciación gráfica de estos perfiles hidráulicos.

Tabla V.3 – Gráficas de Perfiles Hidráulicos en el Sistema Hídrico

RIO	ESCENARIO	FECHA DE SIMULACION	GRAFICO	ANEXO
ZAPOTE	ESCENARIO 1	Noviembre de 2001	Fig. V.6	Anexo V-1
	ESCENARIO 2	Julio de 2002	Fig. V.7	
CHAGUANA	ESCENARIO 1	Noviembre de 2001	Fig. V.8	Anexo V-2
	ESCENARIO 2	Julio de 2002	Fig. V.9	

Fig. V.6 - Perfil Hidráulico Río Zapote - Escenario 1

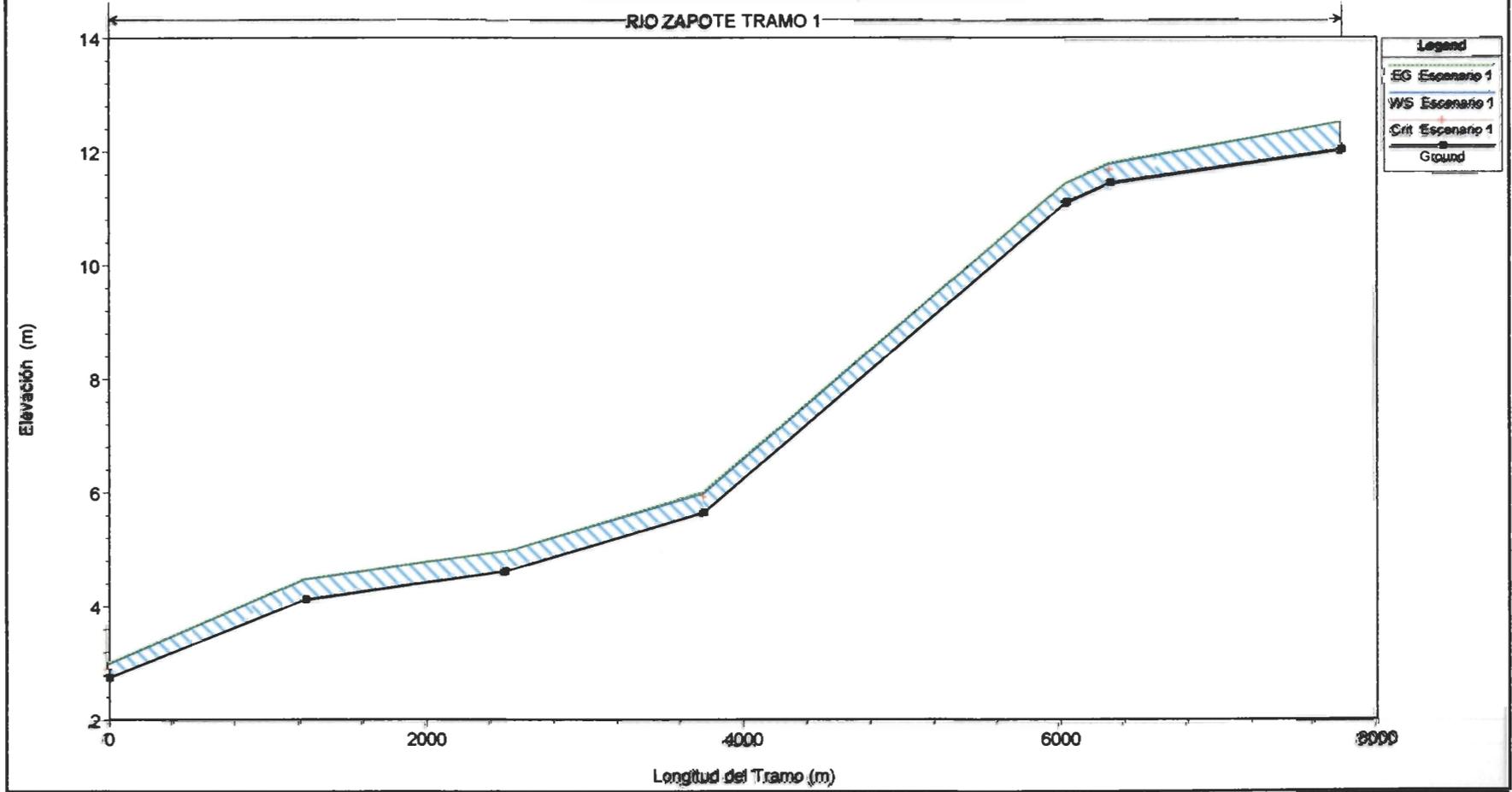


Fig. V.7 - Perfil Hidráulico Río Zapote - Escenario 2

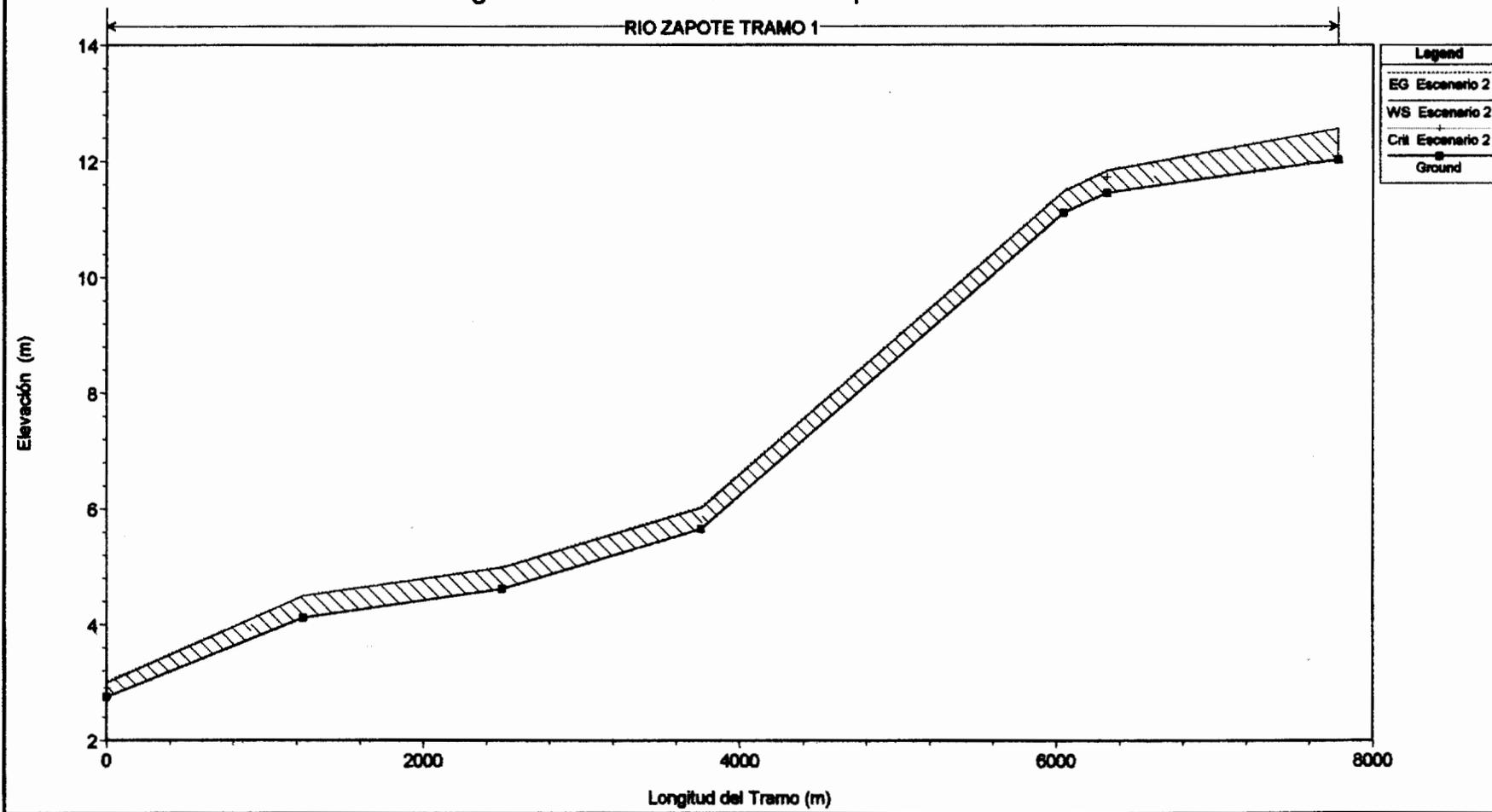


Fig. V.8 - Perfil Hidráulico Río Chaguana - Escenario 1

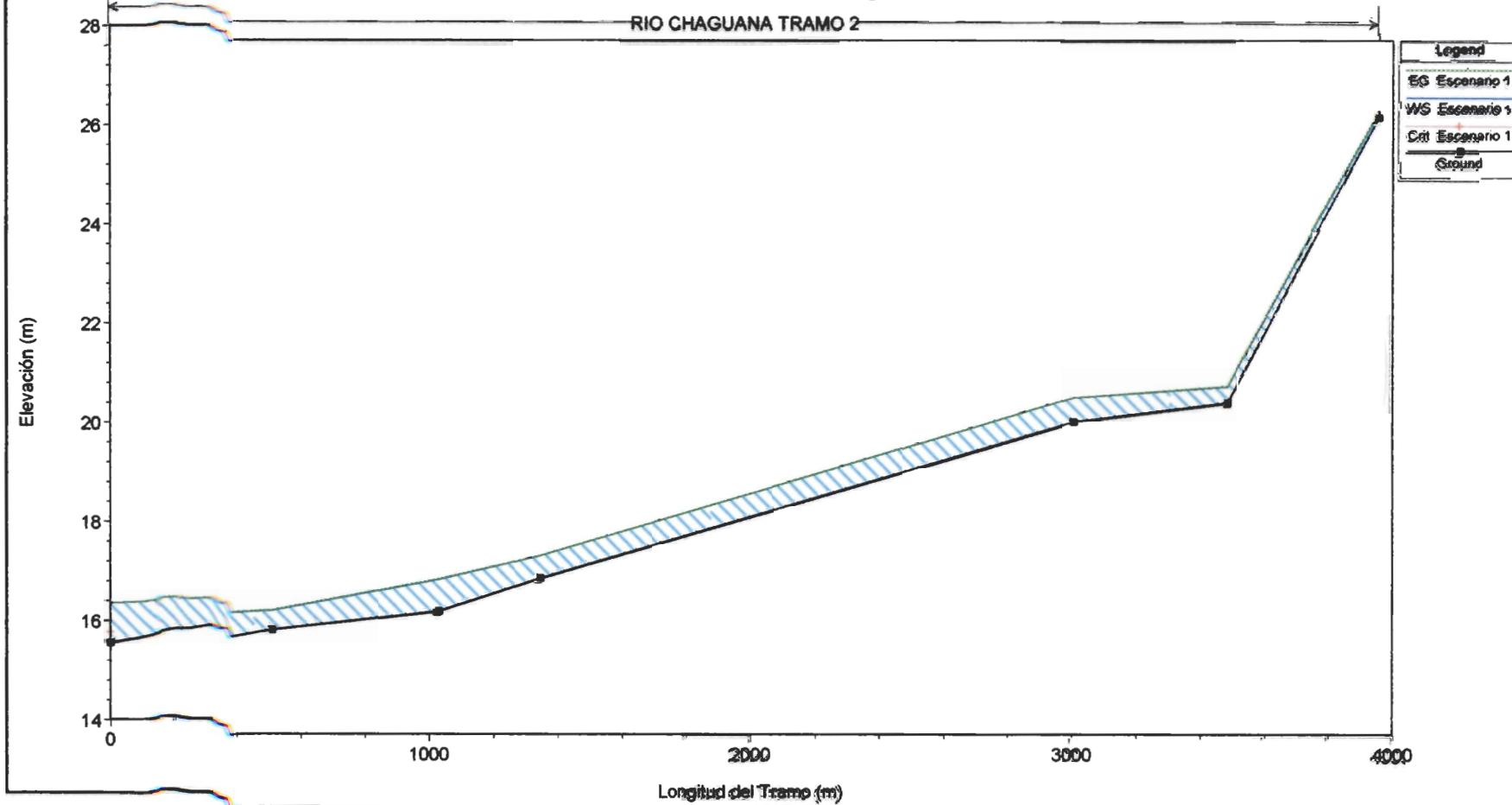
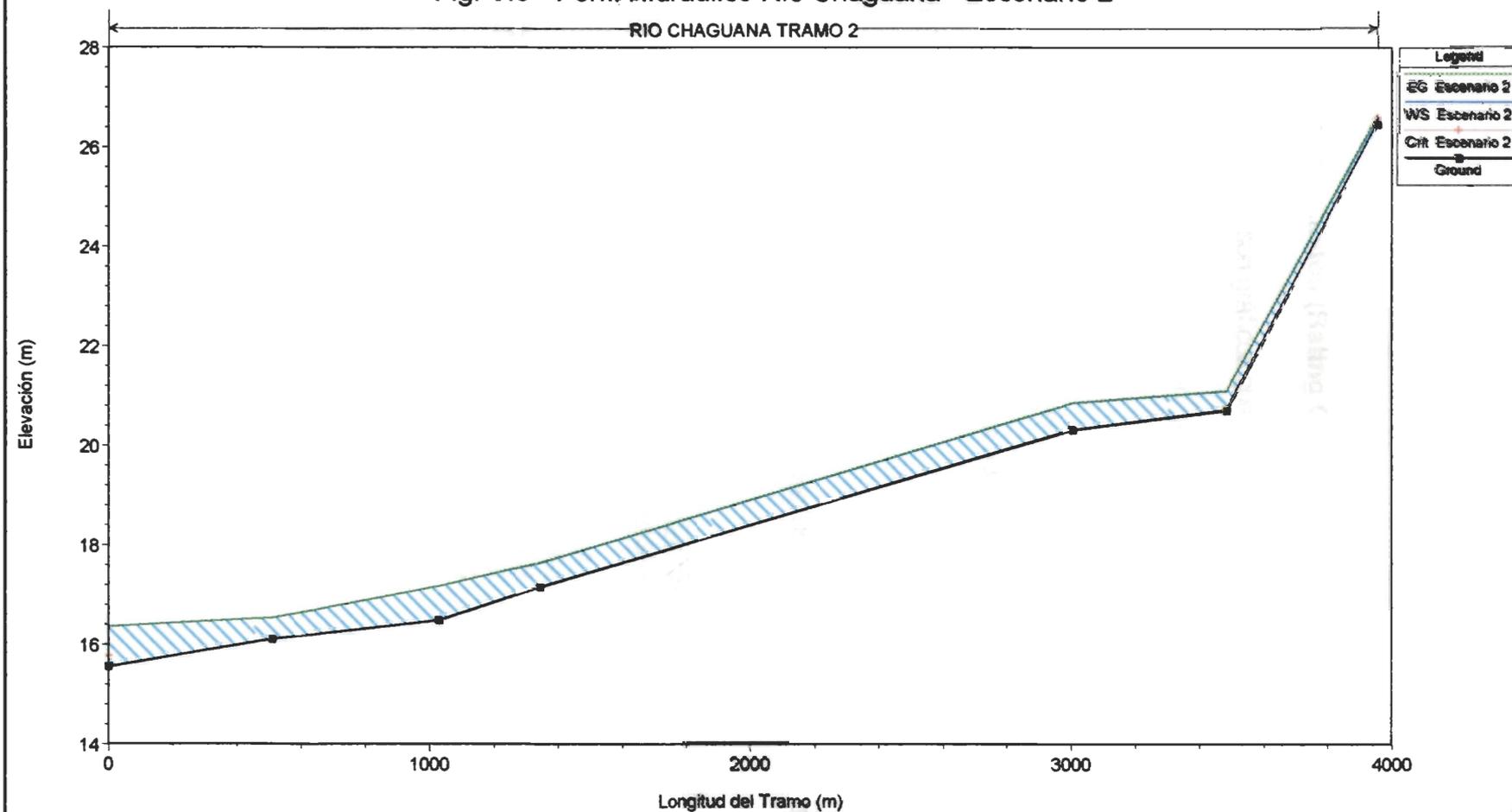


Fig. V.9 - Perfil Hidráulico Río Chaguana - Escenario 2



5.1.3. Curvas de Gastos (Rating Curves)

Las Curvas de Gastos, son gráficos que representan la descarga de un río o canal, en función de la elevación del agua en un punto dado.

El Modelo Hec-Ras, realiza los cálculos de la Curva de Gasto (Ver [Tabla V.4](#)), para cada una de las Secciones Transversales que intervienen en el Sistema Hídrico del Río Chaguana.

Tabla V.4 – Gráficas de Curvas de Gastos de las Secciones Transversales del Sistema Hídrico del Río Chaguana.

RIO	FIGURA	SECCION TRANSVERSAL	GRAFICO
ZAPOTE	Fig. V.10	A1 A2 A3 A4 A5 A6 A7	Fig. V.10.a Fig. V.10.b Fig. V.10.c Fig. V.10.d Fig. V.10.e Fig. V.10.f Fig. V.10.g
CHAGUANA	Fig. V.11	A11 A12 A13 A14 A16 A17 A18	Fig. V.11.a Fig. V.11.b Fig. V.11.c Fig. V.11.d Fig. V.11.e Fig. V.11.f Fig. V.11.g

El disponer de curvas de Gastos o de Descarga, resulta de gran utilidad en el análisis de un río, ya que permite inferir el caudal o gasto conociendo sólo la elevación de la superficie de agua.

Debe entenderse que las consideraciones hidráulicas asumidas por el modelo son de régimen permanente. Cuando el régimen no sea permanente, y se desee deducir el caudal o gasto a partir de las curvas de descarga, se le deben hacer correcciones dependiendo de las causas que provoquen que el régimen no sea permanente.

Los ajustes o correcciones principales son por:

- Variación de la Sección de Control (Sección Transversal)
- Por el paso de una crecida
- Por el efecto de remanso

A Continuación, se muestran las Curvas de Gastos calculadas por el Modelo. Los datos de las elevaciones de agua mostrados en estas curvas se derivan de cálculos realizados a partir de cotas sobre el nivel del mar (msnm).

Fig. V.10.a - Sección Transversal A-1

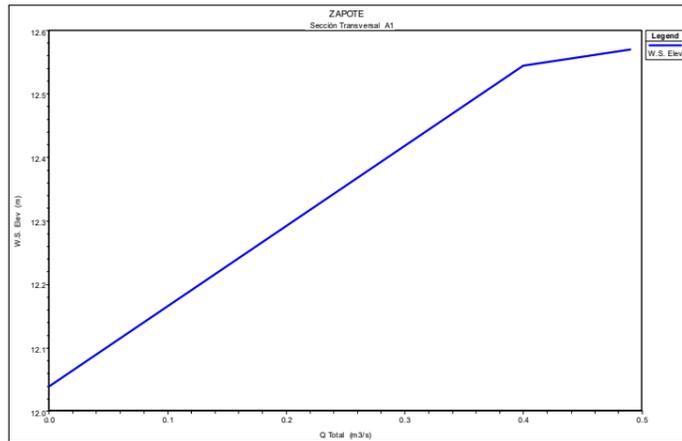


Fig. V.10.b - Sección Transversal A-2

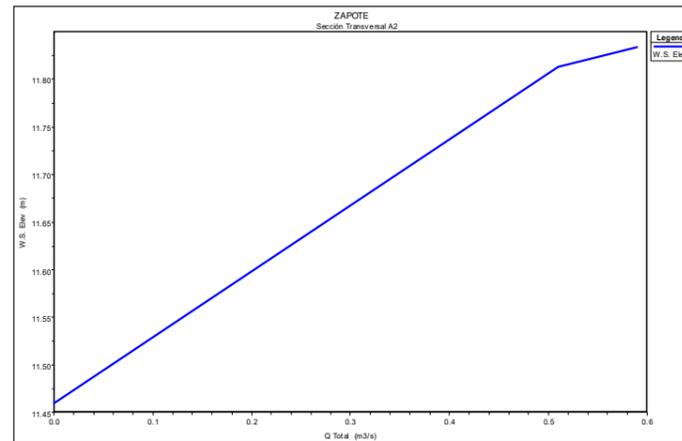


Fig. V.10.c - Sección Transversal A-3

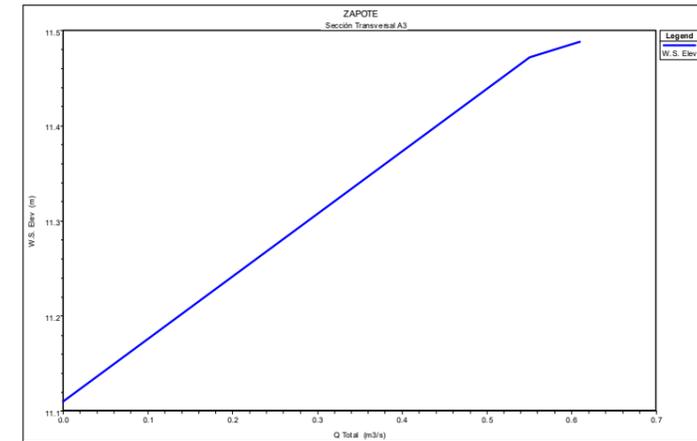


Fig. V.10.d - Sección Transversal A-4

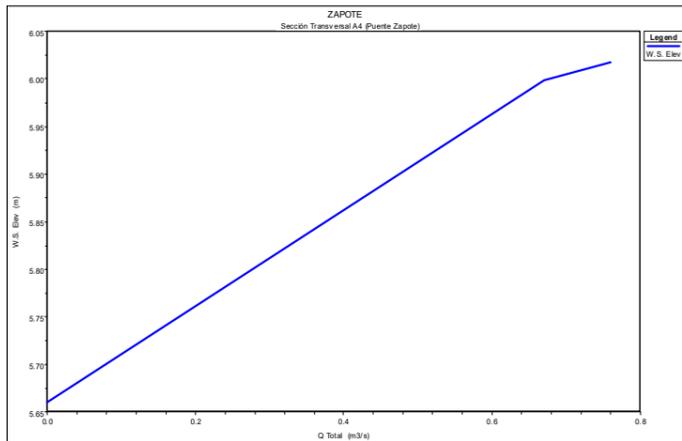


Fig. V.10.e - Sección Transversal A-5

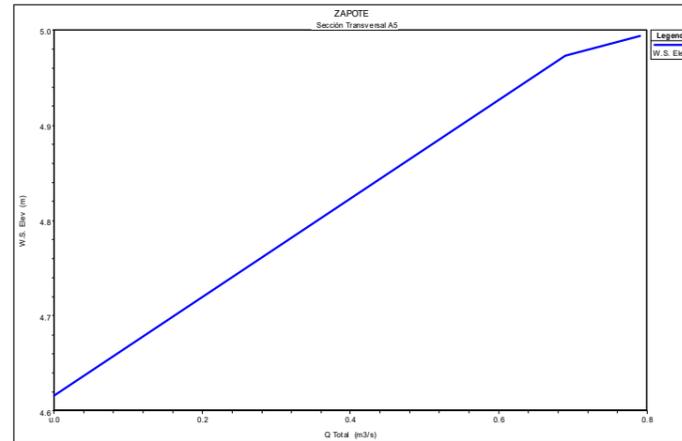


Fig. V.10.f - Sección Transversal A-6

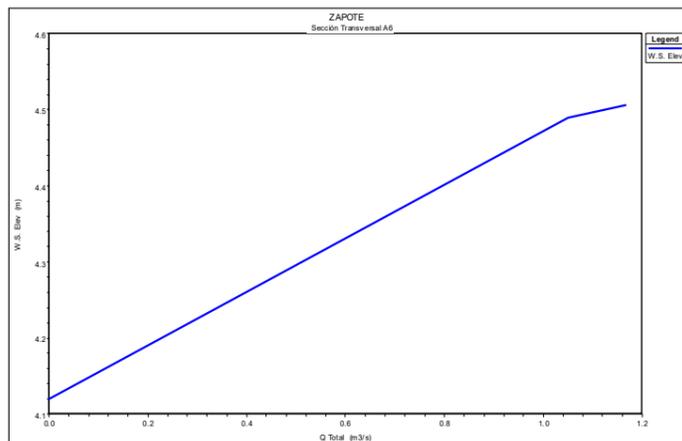
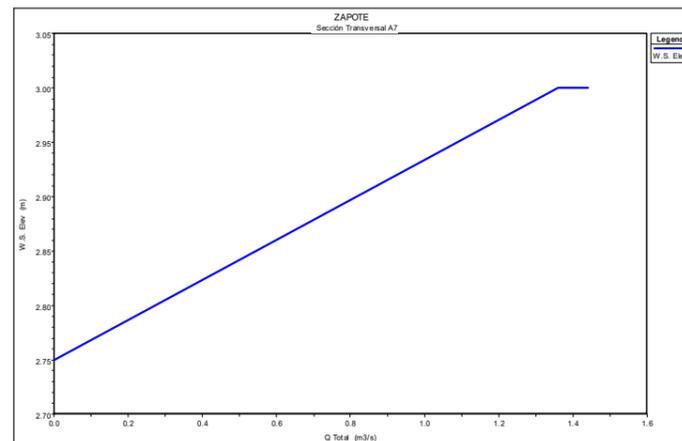


Fig. V.10.g - Sección Transversal A-7



ANALISIS HIDRAULICO DEL
SISTEMA HIDRICO DEL RIO
CHAGUANA, USANDO EL MODELO
HEC - RAS

Fig. V.10 Curvas de Gastos del Río Zapote

Fuente:

HEC-RAS : -View Computed
Rating Curves Proyecto ZAPOTE

Escala:

Esquemática

Fig. V.11.a - Curva de Gasto - Sección Transversal A-11

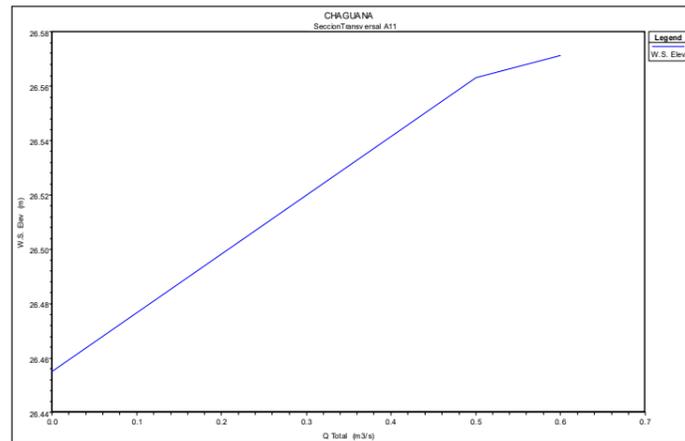


Fig. V.11.b - Curva de Gasto - Sección Transversal A-12

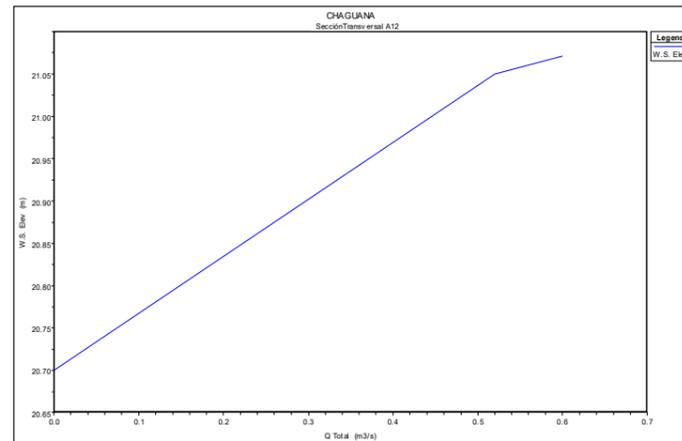


Fig. V.11.c - Curva de Gasto - Sección Transversal A-13

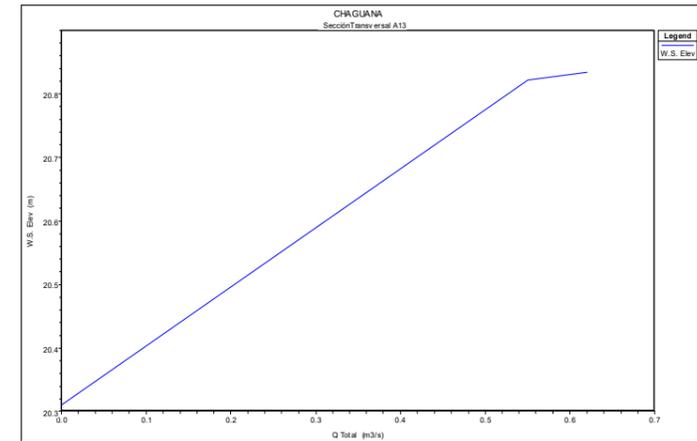


Fig. V.11.d - Curva de Gasto - Sección Transversal A-14

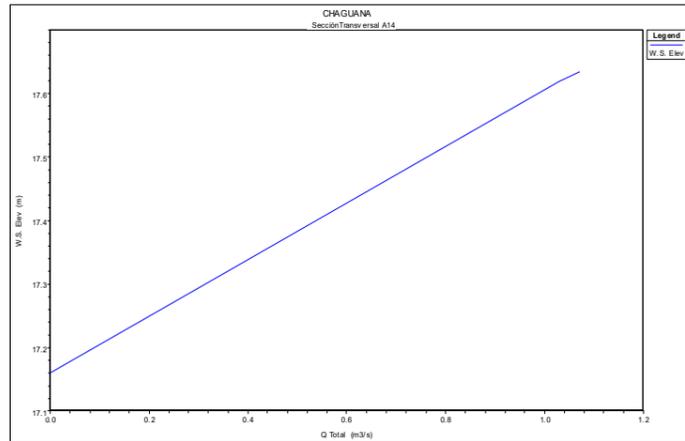


Fig. V.11.e - Curva de Gasto - Sección Transversal A-16

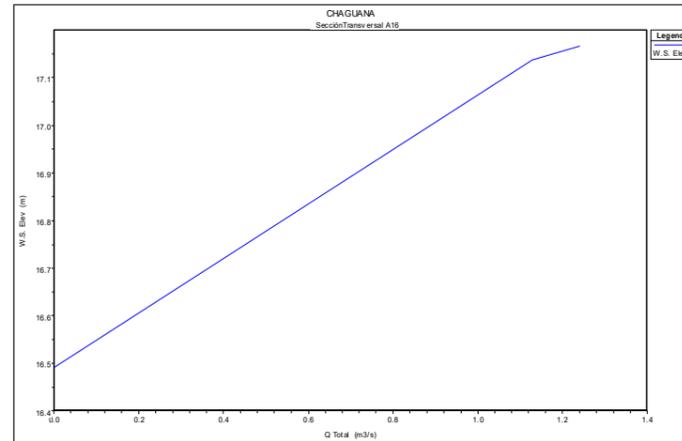


Fig. V.11.f - Curva de Gasto - Sección Transversal A-17

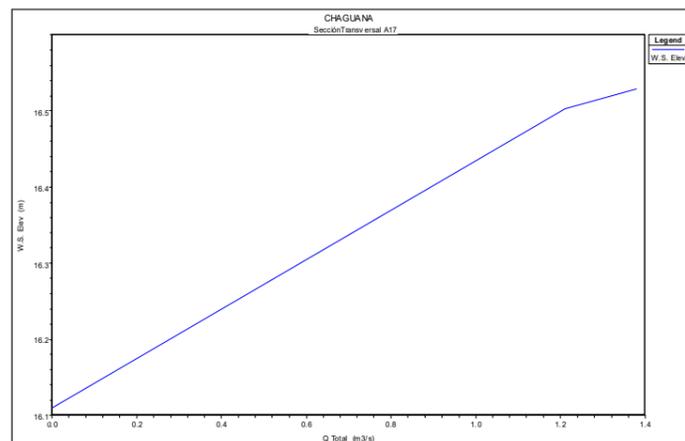
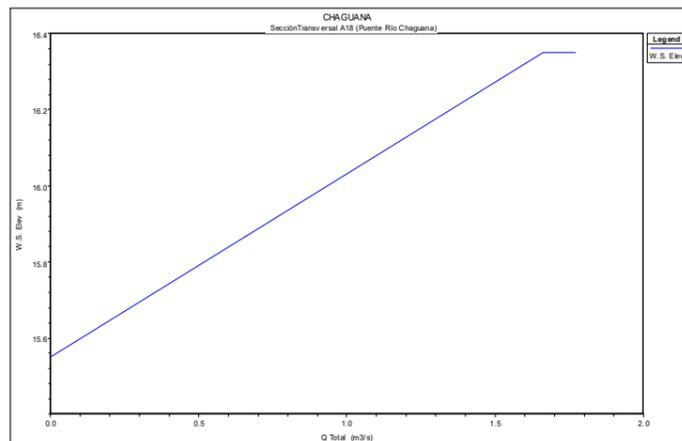


Fig. V.11.g - Curva de Gasto - Sección Transversal A-18



ANALISIS HIDRAULICO DEL SISTEMA HIDRICO DEL RIO CHAGUANA, USANDO EL MODELO HEC - RAS

Fig. V.11 Curvas de Gastos del Río Chaguana

Fuente:
HEC-RAS : -View Computed Rating Curves Proyecto CHAGUANA

Escala:
Esquemática

5.1.4. Curvas Generales del Sistema Hídrico

Por último, el Modelo interpreta gráficamente la variación de varios factores hidráulicos de los ríos, en función de sus longitudes totales.

En la [Tabla V.5](#) se hace un resumen de las graficas que se incluyen en esta sección.

Tabla V.5 – Graficas de las Curvas Generales del Sistema Hídrico

RIO	ESCENARIO	FIGURA	FACTOR HIDRÀULICO	GRAFICO
ZAPOTE	ESCENARIO 1 y ESCENARIO 2	Fig. V.12	Velocidades del río Caudales del río Área de Flujo Anchos del río Rugosidades del río Números de Froude Alturas Hidráulicas del río. Tensión Cortante del río Volúmenes acumulados de agua Poder Hidráulico del Río	Fig. V.12.a Fig. V.12.b Fig. V.12.c Fig. V.12.d Fig. V.12.e Fig. V.12.f Fig. V.12.g Fig. V.12.h Fig. V.12.i Fig. V.12.j
CHAGUANA	ESCENARIO 1 y ESCENARIO 2	Fig. V.13	Velocidades del río Caudales del río Área de Flujo Anchos del río Rugosidades del río Números de Froude Alturas Hidráulicas del río. Tensión Cortante del río Volúmenes acumulados de agua Poder Hidráulico del Río	Fig. V.13.a Fig. V.13.b Fig. V.13.c Fig. V.13.d Fig. V.13.e Fig. V.13.f Fig. V.13.g Fig. V.13.h Fig. V.13.i Fig. V.13.j

A continuación se presentan las graficas que representan las Curvas Generales del Sistema Hídrico del Chaguana.

Cabe mencionar que cada grafica muestra una curva “Factor Hidráulico Vs. Longitud del Tramo”. Esta longitud de tramo, representada en metros, toma como referencia el trayecto aguas abajo hacia aguas arriba, ya que el modelo se lo calibró para que realice cálculos bajo criterios de flujo Subcrítico.

Fig. V.12.a - Velocidades del Río

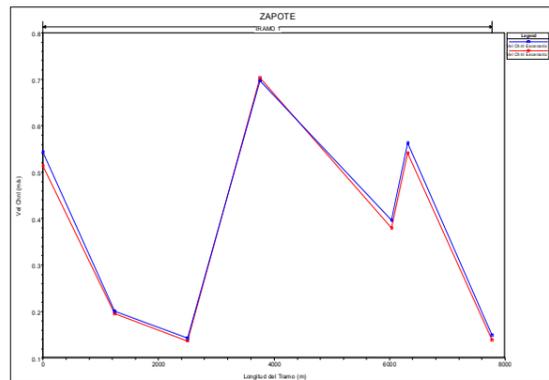


Fig. V.12.b - Caudales del Río

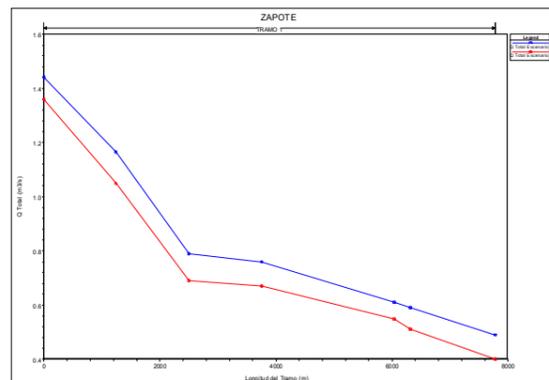


Fig. V.12.c - Area de Flujo

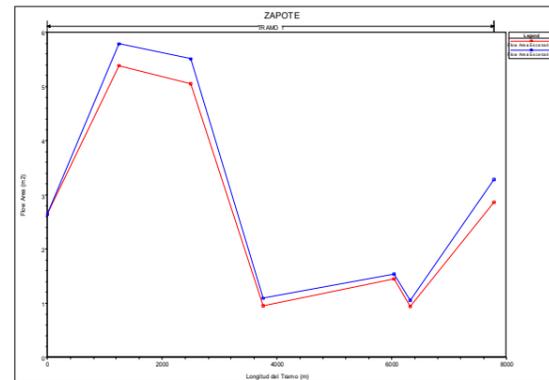


Fig. V.12.d - Anchos del Río

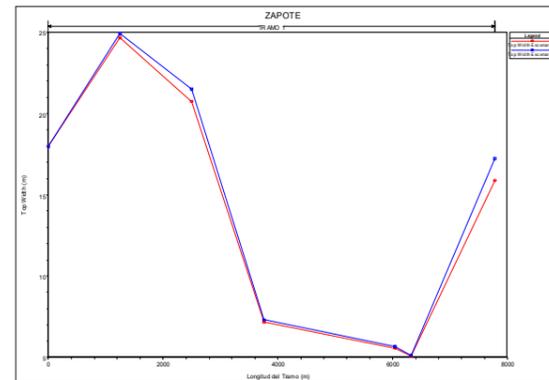


Fig. V.12.e - Rugosidades del Río

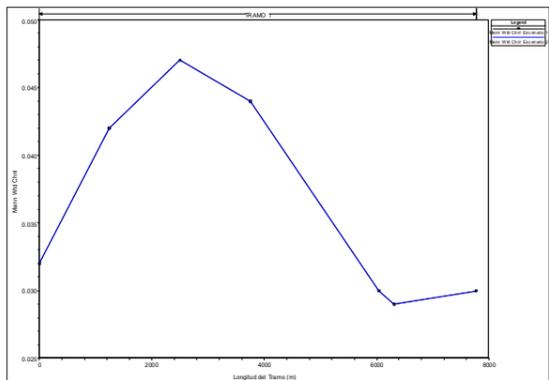


Fig. V.12.f - Números de Froude

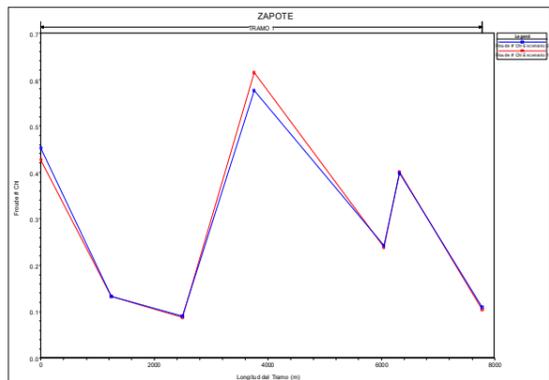


Fig. V.12.g - Alturas Hidráulicas del Río

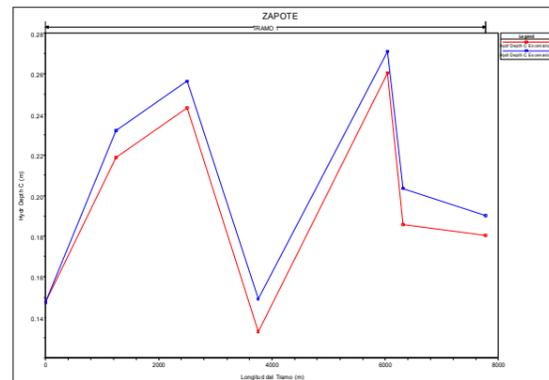


Fig. V.12.h - Tensión Cortante del Río

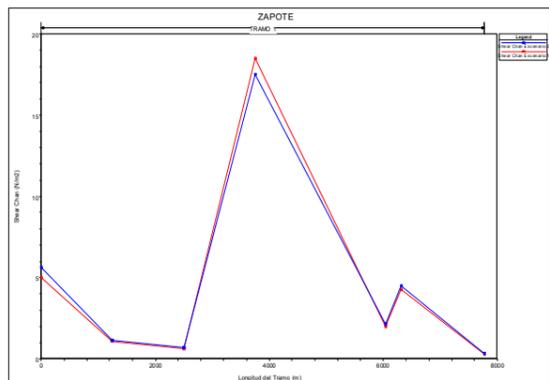


Fig. V.12.i - Volúmenes Acumulados de Agua

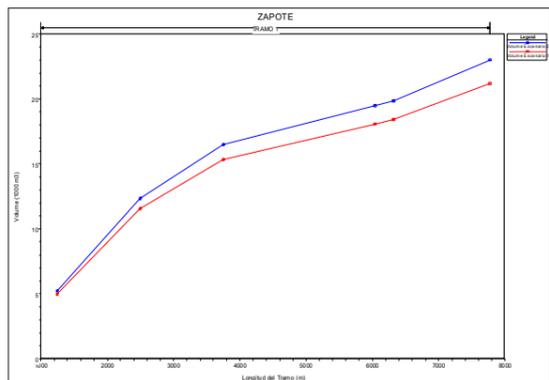
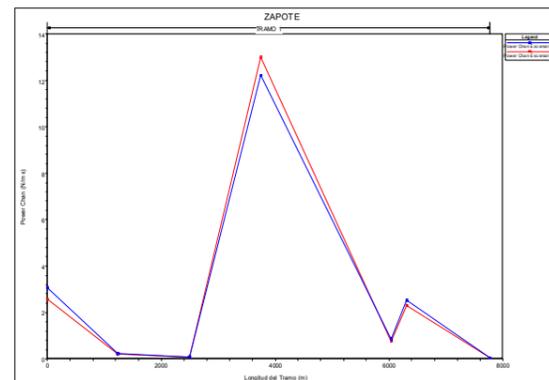


Fig. V.12.j - Poder Hidráulico del Río



ANÁLISIS HIDRÁULICO DEL SISTEMA HIDRÓICO DEL RÍO CHAGUANA, USANDO EL MODELO HEC - RAS

Fig. V.12 Curvas de Generales del Río Zapote

Fuente:
HEC-RAS : -General Profile Plot - Proyecto CHAGUANA

Escala:
Esquemática

Fig. V.13.a - Velocidades del Río

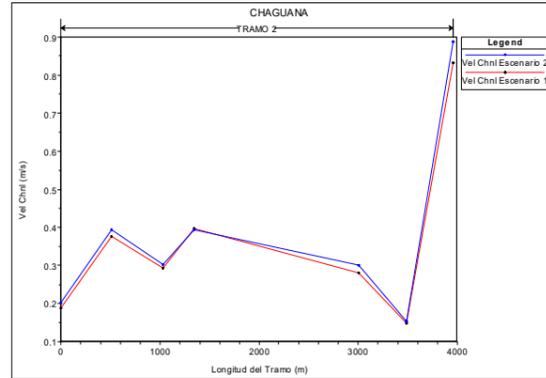


Fig. V.13.b - Caudales del Río

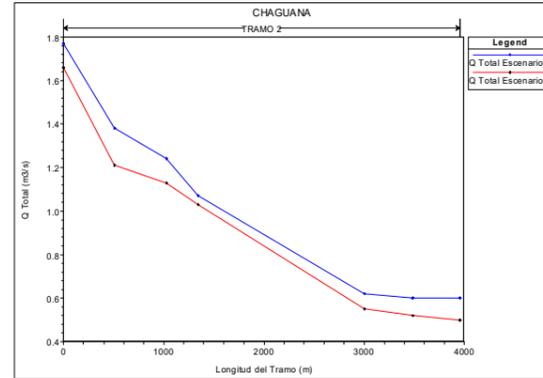


Fig. V.13.c - Area de Flujo

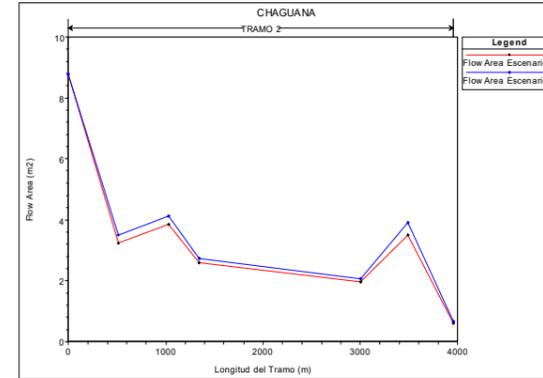


Fig. V.13.d - Anchos del Río

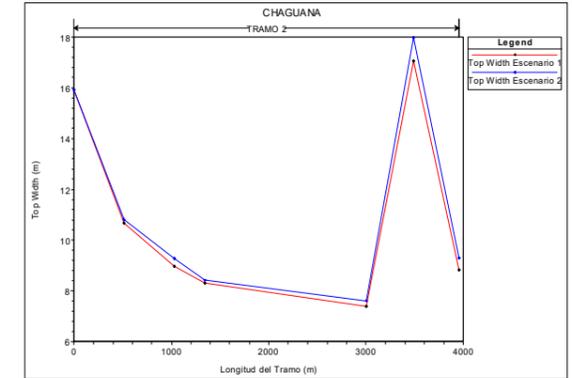


Fig. V.13.e - Rugosidades del Río

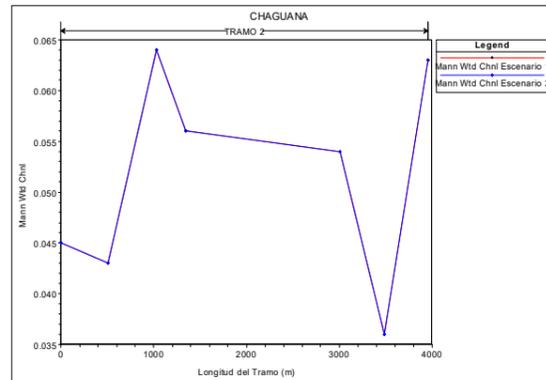


Fig. V.13.f - Números de Froude

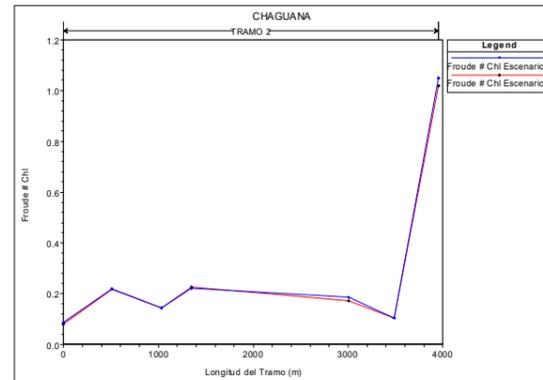


Fig. V.13.g - Alturas Hidráulicas del Río

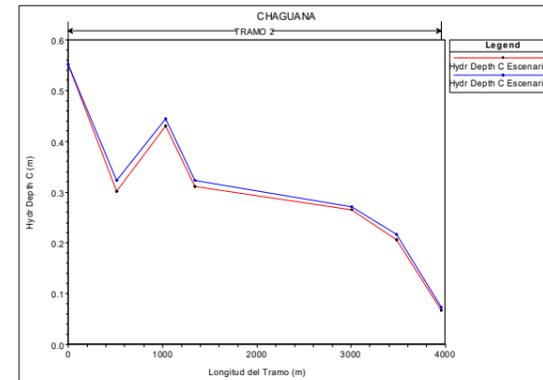


Fig. V.13.h - Tensión Cortante del Río

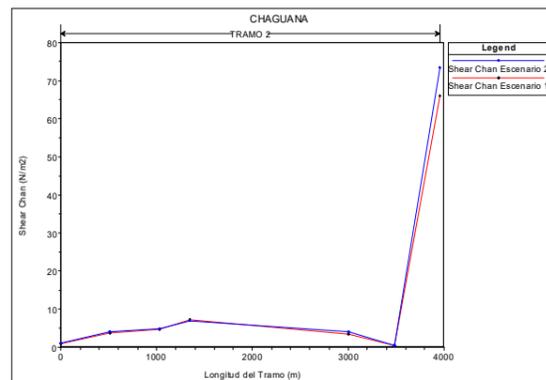


Fig. V.13.i - Volúmenes Acumulados de Agua

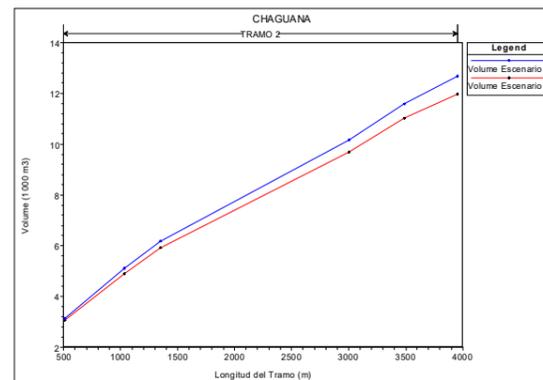
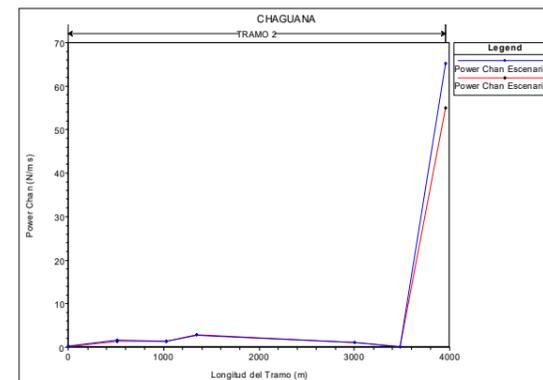


Fig. V.13.j - Poder Hidráulico del Río



ANÁLISIS HIDRÁULICO DEL SISTEMA HIDRÓICO DEL RÍO CHAGUANA, USANDO EL MODELO HEC - RAS

Fig. V.13 Curvas de Generales del Río Chaguana

Fuente: HEC-RAS : -General Profile Plot - Proyecto CHAGUANA	Escala: Esquemática
---	-------------------------------

Interpretación de las Curvas Generales del Sistema Hídrico

- **Velocidades del río:** Las curvas de distribución de las velocidades de los ríos (Fig. 12.a y Fig. 13.a), muestran las velocidades principales a lo largo de todo el tramo de los ríos Zapote y Chaguana respectivamente. Cada gráfica contiene dos curvas correspondientes a cada uno de los dos escenarios analizados por el modelo. Los puntos de quiebre de las curvas corresponden a las velocidades calculadas para cada sección transversal.

Analizando las curvas de velocidades del río Zapote, las velocidades máximas registradas en este tramo, tanto para el Escenario 1 como para el Escenario 2, se dan en la Sección A-4 (abcisa 3,753.50 m). Esto se debe a que la pendiente del tramo A-3 – A-4, cuyo valor se aproxima a 0.13%, es la mayor del río (Ver Fig. 6 y 7).

Luego, la velocidad decrece considerablemente en la sección A-5 (abcisa 2,499.00 m), debido principalmente a las obras de represamiento realizadas en el sector (enrocado luego del puente del río Zapote).

Finalmente, la velocidad se incrementa hasta llegar al extremo final aguas abajo, en la sección A-7.

Con respecto a las curvas de velocidades del río Chaguana, los valores calculados para la Sección A-11 (abcisa 3,955.00 m), no se consideraran válidos (Ver Matriz de Valoración de los Resultados del Modelo – Sección V.3). Bajo esta consideración, partiendo de la Sección A-12, la velocidad aumenta gradualmente hacia aguas abajo. La velocidad máxima entonces se registraría en la Sección A-14 (abcisa 1,345.00 m), debido a que el tramo A-13 – A-14 es el de mayor pendiente en el río (Ver Fig. 8 y 9). A la altura de la Sección A-16 (abcisa 1,030.00 m), la velocidad disminuye. Esto se debe a la presencia de obstáculos (dique de roca) colocados en el río.

Luego, se registra un aumento de velocidad hasta llegar a la Sección A-17, debido básicamente a consideraciones gravitatorias. Finalmente, se observa una considerable disminución de velocidad hasta llegar a la Sección A-18. Se atribuye esta disminución al aumento considerable de las dimensiones del canal en este punto.

- **Caudales del río:** Las figuras 12.b y 13.b, muestran las curvas de distribución de los caudales de los ríos Zapote y Chaguana respectivamente. Los puntos de quiebre de las curvas corresponden a los caudales ingresados para cada sección transversal (Ver Tabla III.3 – Sección III.2.2).

Analizando la curva de caudales para el río Zapote, se puede apreciar un incremento equitativo (derecha a izquierda) de los caudales correspondientes a las Secciones A-1, A-2, A-3, A-4 y A-5, debido a efectos gravitacionales. Luego, se registra un considerable aumento de caudal desde en la Sección A-5 (abcisa 2,499.00 m), para finalmente llegar a su máximo valor en la Sección A-7.

Con respecto al análisis de caudales del río Chaguana, se registra un incremento equitativo de caudales hasta llegar a la Sección A-13 (abcisa 3,005.00 m). En este punto, y debido principalmente al aumento de la pendiente, se registra una mayor variación en el aumento del caudal hasta llegar a la Sección A-16 (abcisa 1,030.00 m). Cabe recordar que en la Sección A-16 se colocaron diques transversales de roca para disminuir la velocidad del río. Este fenómeno ocasiona que se registre un menor aumento del caudal desde la Sección A-6 hasta la Sección A-17 (abcisa 510.00 m). Finalmente, se registra el caudal máximo en la Sección A-18, considerándose como factor preponderante para este aumento, el aumento de las dimensiones del canal a la altura de este punto.

Área de Flujo: Es el área de la sección transversal, correspondiente al flujo normal a la dirección del flujo.

Las figuras 12.c y 13.c, muestran las curvas de distribución de las áreas de flujo de los ríos Zapote y Chaguana. Cada gráfica contiene dos curvas correspondientes a cada uno de los escenarios analizados por el modelo.

El área de flujo en un punto determinado, es directamente proporcional al caudal medido en este punto, e inversamente proporcional con la velocidad registrada. Esto se comprueba comparando las curvas de distribución de velocidades y las curvas de caudales. De esta manera, analizando las curvas de áreas de flujo del río Zapote, los tramos que registran incrementos en el área de flujo (Ej. tramo A-4 – A-5), registran también disminución de velocidad.

Para el caso del río Chaguana, el área máxima de flujo se registra en la Sección A-18 (Puente del Chaguana). Los datos de área de flujo calculados, para la Sección A-11, al igual que las velocidades de flujo, no deberán tomarse como válidos (Ver Matriz de Valoración de los Resultados del Modelo – Sección V.3).

Anchos del río: son los anchos de las secciones transversales, tomando como referencia la superficie de agua calculada.

Las figuras 12.d y 13.d, muestran las curvas de distribución de los anchos calculados por el modelo en cada escenario, y para cada uno de los ríos Zapote y Chaguana. Los puntos de quiebre de las curvas corresponden a los anchos calculados para cada sección transversal.

La distribución de los anchos de un río guarda relación con la distribución de caudales y áreas de flujo. Observando la curva de anchos del río Zapote, tendremos que existe una reducción de los anchos del canal entre la Sección A-1 y A-2. Luego, se produce un aumento gradual hasta llegar a la Sección A-4 (Puente sobre el Zapote). En este punto (A-4), se registra un considerable aumento en el ancho del canal, llegando a la Sección A-6 con casi 4 veces el ancho registrado en el punto A-4.

Analizando la distribución de los anchos del río Chaguana, se observa una reducción del ancho entre la Sección A-12 hasta la Sección A-13. Luego, se registra un aumento gradual hasta llegar al punto A-17. Finalmente se produce un incremento del ancho del río, hasta llegar a la Sección A-18 (Puente sobre el Chaguana).

Rugosidad n: Las figuras 12.e y 13.e, muestran las curvas de distribución de las rugosidades de los ríos Zapote y Chaguana respectivamente.

Dado que para el cálculo de los perfiles hidráulicos no se considera variación de las secciones transversales, se mantienen los valores de las gráficas para cada uno de los dos escenarios analizados por el modelo. Los puntos de quiebre de las curvas corresponden a las rugosidades del lecho ingresados para cada sección transversal. (Ver Tabla III.7 – Sección III.2.3.4).

Analizando la curva de rugosidades del río Zapote, se aprecia un aumento de la rugosidad del río desde la Sección A-1 hasta llegar a su valor máximo en la Sección A-5. Finalmente el valor de la rugosidad disminuye hasta llegar a la Sección A-7.

En la curva de rugosidades del río Chaguana, se observa un elevado valor de rugosidad en la Sección A-11 (extremo aguas arriba del tramo). Este valor es elevado si consideramos la rugosidad calculada para el siguiente punto en la Sección A-12, lo cual se atribuye básicamente al bajo caudal existente, y a la alteración de las características originales del sector, dado que es utilizado para explotación de material grueso.

Luego, desde la Sección A-12 se aprecia un incremento irregular en los valores de la rugosidad, hasta llegar a su valor máximo en la Sección A-16. Cabe mencionar que durante el recorrido del tramo comprendido entre estas dos secciones (A-12 y A-16), se evidenció alteraciones de las características

normales del río, tanto en la Sección A-14 como en la Sección A-16, en donde se colocaron obstáculos a manera de diques para disminuir la velocidad del agua.

Finalmente, la rugosidad disminuye hasta llegar a la Sección A-18 (Puente Río Chaguana), al final del tramo del río.

Número de Froude: Es la relación existente entre las fuerzas de inercia y las fuerzas gravitacionales de un río o canal.

Las figuras 12.f y 13.f, muestran las curvas de distribución de los Números de Froude calculados para los ríos Zapote y Chaguana respectivamente. Cada curva corresponde a cada uno de los escenarios analizado.

Dado que el Número de Froude es directamente proporcional a las velocidades del río, se puede apreciar cierta similitud entre las curvas de distribución de ambos parámetros hidráulicos.

Los valores calculados para la Sección A-11, son aproximadamente iguales a 1.00. Esto se debe a que para poder calibrar la ecuación de la energía, el modelo asume la altura crítica (No. Froude = 1) como altura de superficie de

agua. (Ver Sección V.3 -Matriz de Valoración de los Resultados del Modelo), por lo que no deberá tomarse este valor como válido.

Altura Hidráulica: La Altura Hidráulica es la relación que existe entre el área de una sección transversal y el ancho de la sección.

Las figuras 12.g y 12.g, muestran las curvas de distribución de las Alturas Hidráulicas calculadas para los ríos Zapote y Chaguana. Cada gráfica contiene dos curvas correspondientes a cada uno de los escenarios analizados por el modelo.

Analizando la curva de distribución de alturas hidráulicas del río Zapote, el máximo valor se registra en la Sección A-3, y el mínimo valor se registra en la Sección A-4. Cabe recalcar el tramo comprendido entre estas dos secciones (A-3 y A-4), posee la mayor longitud y la mayor pendiente del tramo del río Zapote analizado. Luego, se produce una disminución considerable de la pendiente hasta llegar a la Sección A-5, lo que genera un fenómeno de remanso, produciendo así un aumento considerable de la altura hidráulica. Finalmente, se produce una reducción gradual de este parámetro hasta llegar al final del tramo en la Sección A-7.

Con respecto a la distribución de la Altura Hidráulica del río Chaguana, se aprecia un aumento gradual entre los valores registrados entre las Secciones A-12 y A-14. Luego, se produce un incremento considerable entre las secciones A-14 y A-16. Esto se debe a que como ya se mencionó, entre estas dos secciones existen enrocados destinados a disminuir la velocidad del río, lo que ha producido que se presente un fenómeno de represamiento entre estos dos puntos.

Finalmente, se alcanza los valores máximos de altura hidráulica en la Sección A-18 (Puente del río Chaguana).

Tensión Cortante: Es la tensión desarrollada por la fuerza cortante del agua, distribuida en el área mojada del canal, la cual actúa en dirección del flujo. La importancia del conocimiento de los valores de este parámetro hidráulico, radica en que si esta Tensión Cortante, supera el valor de la Tensión Crítica del material que compone la solera del río, se producirá un fenómeno de erosión. (Ver Sección II.22 – Capítulo 2).

Las figuras 12.h y 13.h, muestran las curvas de distribución de las Tensiones Cortantes calculadas para los ríos Zapote y Chaguana. Cada gráfica

contiene dos curvas correspondientes a cada uno de los escenarios analizados por el modelo.

La fuerza cortante máxima del tramo del río Zapote se registra en la Sección A-4, y la mínima se registra en la Sección A-5. En el caso de la figura 13.h, los valores de fuerzas cortantes calculados, son menores a los del Zapote. Cabe mencionar que el valor calculado para la Sección A-11, no guarda relación con el comportamiento del resto de la curva. Este dato no deberá ser tomado como válido, y se lo atribuye a las anomalías de cálculo registradas por el modelo en este punto (Ver Sección V.3 -Matriz de Valoración de los Resultados del Modelo).

Se puede observar que para ambos ríos, se guarda cierta similitud en el comportamiento de las curvas de fuerzas cortantes, y el comportamiento de los incrementos y disminuciones de las velocidades del Sistema Hídrico.

Volumen Acumulado: En las figuras 12.j y 13.j, se muestran las curvas de los volúmenes acumulados, calculados para cada uno de los tramos de los ríos Zapote y Chaguana respectivamente. Cada gráfica contiene dos curvas correspondientes a cada uno de los escenarios analizados por el modelo.

Poder Hidráulico: En las figuras 12.j y 13.j, se muestran las curvas que representa el poder hidráulico de los ríos Zapote y Chaguana respectivamente. Cada gráfica contiene dos curvas correspondientes a cada uno de los escenarios analizados por el modelo.

El comportamiento de las curvas del Poder Hidráulico, son iguales a los de las curvas de la Tensión Cortante del Sistema Hídrico, por lo que guardan las mismas consideraciones.

5.2. Resultados Tabulares del Modelo

Como se menciona en la Sección 1.5.4.2 (Resultados Tabulares) , además de las opciones gráficas para visualizar los resultados obtenidos por el Modelo, el Hec-Ras permite visualizar estos resultados en forma tabular.

El modelo genera dos tipos de tablas, una de ellas corresponden a los datos obtenidos para cada uno de las secciones transversales, la segunda tabla contiene los datos referentes a los perfiles hidráulicos calculados.

A continuación se incluyen las figuras V.14, V.15, y V.16. En estas figuras se presenta la visualización típica de las tablas de resultados que genera el modelo.

La Fig. V.68, representa las Tablas de las Secciones Transversales. En este caso muestra la sección transversal A-1, correspondiente al Escenario 1.

En las figuras V.15 y V.16, se pueden observar las visualizaciones de los resultados tabulares de los Perfiles Hidráulicos de los tramos analizados de los ríos Zapote y Chaguana respectivamente.

Fig. V.14 Tabla de Resultados - Sección Transversal

Plan: Plan 04 RIO ZAPOTE TRAMO 1 RS: 10.1 Profile: Escenario 1					
Element	Left OB	Channel	Right OB		
E.G. Elev (m)	12.55				
Vel Head (m)	0.00				
W.S. Elev (m)	12.55				
Crit W.S. (m)					
E.G. Slope (m/m)	0.000172				
Q Total (m3/s)	0.40				
Top Width (m)	15.89				
Vel Total (m/s)	0.14				
Max Chl Dpth (m)	0.51				
Conv. Total (m3/s)	30.5				
Length Wtd. (m)	1460.00				
Min Ch EI (m)	12.04				
Alpha	1.00				
Frctn Loss (m)	0.72				
C & E Loss (m)	0.00				
Element					
Wt. n-Val.		0.030			
Reach Len. (m)	1510.00	1460.00	1410.00		
Flow Area (m2)			2.87		
Area (m2)			2.87		
Flow (m3/s)			0.40		
Top Width (m)			15.89		
Avg. Vel. (m/s)			0.14		
Hydr. Depth (m)			0.18		
Conv. (m3/s)			30.5		
Wetted Per. (m)			15.94		
Shear (N/m2)			0.30		
Stream Power (N/m s)			0.04		
Cum Volume (1000 m3)			21.18		
Cum SA (1000 m2)			103.82		

Fig. V.15 Tabla de Resultados - Perfiles Hidráulicos del Río Zapote

Reach	River Sta	Profile	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev	Crit W.S.	E.G. Elev	E.G. Slope	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl
			(m ³ /s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m ²)	(m)	
TRAMO 1	10.1	Escenario 1	0.40	12.04	12.55		12.55	0.0002	0.14	2.87	15.89	0.10
TRAMO 1	10.1	Escenario 2	0.49	12.04	12.57		12.57	0.0002	0.15	3.28	17.26	0.11
TRAMO 1	9.2	Escenario 1	0.51	11.46	11.81	11.72	11.83	0.0024	0.54	0.94	5.07	0.40
TRAMO 1	9.2	Escenario 2	0.59	11.46	11.83	11.73	11.85	0.0023	0.56	1.05	5.14	0.40
TRAMO 1	8.3	Escenario 1	0.55	11.11	11.47		11.48	0.0008	0.38	1.45	5.56	0.24
TRAMO 1	8.3	Escenario 2	0.61	11.11	11.49		11.50	0.0008	0.40	1.54	5.68	0.24
TRAMO 1	7.4	Escenario 1	0.67	5.66	6.00	5.97	6.02	0.0144	0.70	0.95	7.16	0.62
TRAMO 1	7.4	Escenario 2	0.76	5.66	6.02		6.04	0.0122	0.70	1.09	7.32	0.58
TRAMO 1	6.5	Escenario 1	0.69	4.62	4.97		4.97	0.0003	0.14	5.05	20.76	0.09
TRAMO 1	6.5	Escenario 2	0.79	4.62	4.99		5.00	0.0003	0.14	5.51	21.49	0.09
TRAMO 1	5.6	Escenario 1	1.05	4.12	4.49		4.49	0.0005	0.19	5.39	24.65	0.13
TRAMO 1	5.6	Escenario 2	1.17	4.12	4.51		4.51	0.0005	0.20	5.78	24.92	0.13
TRAMO 1	4.7	Escenario 1	1.36	2.75	3.00	2.91	3.01	0.0035	0.51	2.65	17.95	0.43
TRAMO 1	4.7	Escenario 2	1.44	2.75	3.00	2.92	3.02	0.0039	0.54	2.65	17.95	0.45

Fig. V.16 Tabla de Resultados - Perfiles Hidráulicos del Río Chaguana

Reach	River Sta	Profile	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev	Crit W.S.	E.G. Elev	E.G. Slope	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl
			(m ³ /s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m ²)	(m)	
TRAMO 2	10.11	Escenario 1	0.50	26.46	26.56	26.56	26.60	0.0991	0.83	0.60	8.84	1.02
TRAMO 2	10.11	Escenario 2	0.60	26.46	26.57	26.57	26.61	0.1031	0.89	0.68	9.30	1.05
TRAMO 2	9.12	Escenario 1	0.52	20.70	21.05		21.05	0.0002	0.15	3.51	17.07	0.10
TRAMO 2	9.12	Escenario 2	0.60	20.70	21.07		21.07	0.0002	0.15	3.90	17.98	0.11
TRAMO 2	8.13	Escenario 1	0.55	20.31	20.82		20.83	0.0014	0.28	1.97	7.39	0.17
TRAMO 2	8.13	Escenario 2	0.62	20.31	20.83		20.84	0.0015	0.30	2.06	7.62	0.18
TRAMO 2	7.14	Escenario 1	1.03	17.16	17.62		17.63	0.0024	0.40	2.59	8.31	0.23
TRAMO 2	7.14	Escenario 2	1.07	17.16	17.63		17.64	0.0022	0.39	2.72	8.42	0.22
TRAMO 2	6.16	Escenario 1	1.13	16.49	17.14		17.14	0.0011	0.29	3.85	8.95	0.14
TRAMO 2	6.16	Escenario 2	1.24	16.49	17.17		17.17	0.0011	0.30	4.11	9.26	0.14
TRAMO 2	5.17	Escenario 1	1.21	16.11	16.50		16.51	0.0013	0.38	3.22	10.67	0.22
TRAMO 2	5.17	Escenario 2	1.38	16.11	16.53		16.54	0.0013	0.39	3.50	10.82	0.22
TRAMO 2	4.18	Escenario 1	1.66	15.55	16.35	15.78	16.35	0.0002	0.19	8.79	15.93	0.08
TRAMO 2	4.18	Escenario 2	1.77	15.55	16.35	15.78	16.35	0.0002	0.20	8.79	15.93	0.09

5.3. Matriz de Valoración de los Resultados del Modelo

Los resultados obtenidos por el Modelo, obedecen a una serie de operaciones iterativas, en las que partiendo de elevaciones de agua asumidas, se llegan a resultados finales ajustados a calibraciones y procedimientos de cálculos propios del modelo.

En la Sección IV.2 – Metodología de Cálculo del Hec-Ras (Capítulo 4), se observan los procedimientos computacionales que sigue el Modelo, incluyendo los criterios que se toman para asumir las alturas, así como las limitaciones existentes con respecto al número máximo de iteraciones permitidas. Dadas estas premisas, si el modelo encuentra anomalías durante el proceso de cálculo de los perfiles hidráulicos, y de los parámetros que estos conllevan, mostrará un aviso de “error” o de “prevención”, detallando las posibles causas de estas anomalías.

En la presente investigación, se realizó una matriz de valoración de los resultados del modelo, con la finalidad de ayudar a detectar anomalías presentadas durante la ejecución del modelo. Así mismo, esta matriz presenta recomendaciones que ayuden a la calibración del modelo.

MATRIZ DE VALORACION - RESULTADOS OBTENIDOS EN EL HEC-RAS – SISTEMA HÍDRICO DEL CHAGUANA

NO.	ASPECTO HIDRÁULICO		CRITERIO HIDRÁULICO	CRITERIO CITADO EN:	RESUMEN DEL CRITERIO	DESCRIPCIÓN DEL CRITERIO DE L MODELO	MEDIDA DE CALIBRACIÓN	COMENTARIOS
1.	Relación de Transporte (Conveyance ratio)	Capacidad de Transporte Aguas arriba dividido para la Capacidad de Transporte aguas abajo)	Preventivo	HEC-RAS Resumen de Errores, Avisos y Notas. Proyecto ZAPOTE.	Anomalías en la Relación de Transporte calculadas por el Modelo.	Durante el proceso de cálculo, el Modelo registró que las relaciones de transporte calculadas para las Secciones Transversales A-1, A-4, y A-6, fueron menores a 0.7, o mayores a 1.4. Estas anomalías se registran en los cálculos realizados para ambos escenarios (Q1 y Q2).	Se podrá obtener una relación de transporte acorde con los parámetros recomendados por el Modelo HEC-RAS, si se incrementan el número de secciones transversales entre cada tramo del río.	La medida de calibración del modelo recomendada, no pudo ser implementada debido a la dificultad de acceso al sitio, y encarecimiento del trabajo de tesis.
2.	Pérdidas de Energía	Pérdida de Energía entre dos Secciones Transversales	Preventivo	HEC-RAS Resumen de Errores, Avisos y Notas. Proyecto ZAPOTE.	Anomalías en las Pérdidas de Energía calculadas por el Modelo.	Las Pérdidas de Energía calculadas en la Sección A-2, A-3, A-4, A-5 y A-6, son mayores a 0.3 m. Estas anomalías se registran en los procesos de cálculos realizados para ambos escenarios (Q1 y Q2).	Un incremento en el número de estaciones de muestreo, que disminuya el espaciamiento entre cada una de las Secciones transversales utilizadas en el Río Zapote, juntaría las pérdidas de energía dentro de los parámetros sugeridos por el modelo.	La medida de calibración del modelo recomendada, no pudo ser implementada debido a la dificultad de acceso al sitio, y encarecimiento del trabajo de tesis.
3.	Ecuación de Energía	Ecuación que calcula los perfiles hidráulicos entre dos secciones transversales.	Preventivo	HEC-RAS Resumen de Errores, Avisos y Notas. Proyecto CHAGUANA	La Ecuación de la Energía no pudo ser balanceada dentro del número de iteraciones especificadas.	El Modelo está restringido a un número máximo de 20 iteraciones para balancear los perfiles hidráulicos. En los cálculos realizados para la Sección A-11, no se llegó a un balance dentro de las 20 iteraciones, por lo que el programa calculó una "altura crítica" como perfil hidráulico, continuando así con las operaciones.	El material grueso de la Sección A-11, ha generado que el sitio sea explotado a manera de cantera, modificando la forma natural del río, así como las características de flujo del mismo. Se recomienda no utilizar los datos de esta sección en el desarrollo del modelo.	La medida de calibración no fue implementada, con el objetivo de analizar los efectos de esta anomalía en el desarrollo de los cálculos del modelo.

MATRIZ DE VALORACION - RESULTADOS OBTENIDOS EN EL HEC-RAS – SISTEMA HÍDRICO DEL CHAGUANA

NO.	ASPECTO HIDRÁULICO		CRITERIO HIDRÁULICO	CRITERIO CITADO EN:	RESUMEN DEL CRITERIO	DESCRIPCIÓN DEL CRITERIO DE L MODELO	MEDIDA DE CALIBRACIÓN	COMENTARIOS
4.	Relación de Transporte (Conveyance ratio)	Capacidad de Transporte Aguas arriba dividido para la Capacidad de Transporte aguas abajo)	Preventivo	HEC-RAS Resumen de Errores, Avisos y Notas. Proyecto CHAGUANA.	Anomalías en la Relación de Transporte calculadas por el Modelo.	Durante el proceso de cálculo, el Modelo registró que las relaciones de transporte calculadas para las Secciones Transversales A-11, A-12, A-13, A-14, A-16, A-17, fueron menores a 0.7, o mayores a 1.4. Estas anomalías se registran en los cálculos realizados para ambos escenarios (Q1 y Q2).	Se podrá obtener una relación de transporte acorde con los parámetros recomendados por el Modelo HEC-RAS, si se incrementan el número de secciones transversales entre cada tramo del río.	La medida de calibración del modelo recomendada, no pudo ser implementada debido a la dificultad de acceso al sitio, y encarecimiento del trabajo de tesis.
5.	Pérdidas de Energía	Pérdida de Energía entre dos Secciones Transversales	Preventivo	HEC-RAS Resumen de Errores, Avisos y Notas. Proyecto CHAGUANA.	Anomalías en las Pérdidas de Energía calculadas por el Modelo.	Las Pérdidas de Energía calculadas en la Sección A-11, A-13, A-14 y A-15, son mayores a 0.3 m. Estas anomalías se registran en los procesos de cálculos realizados para ambos escenarios (Q1 y Q2).	Un incremento en el número de estaciones de muestreo, que disminuya el espaciamiento entre cada una de las Secciones transversales utilizadas en el Río Chaguana, ajuntaría las pérdidas de energía dentro de los parámetros sugeridos por el modelo.	La medida de calibración del modelo recomendada, no pudo ser implementada debido a la dificultad de acceso al sitio, y encarecimiento del trabajo de tesis.
6.	Varios Parámetros Hidráulicos		Resultado no válido	Interpretación de las curvas del Sistema Hídrico Secc.(V.1.4.1)	Anomalías en los valores calculados por el Modelo para varios de los Parámetros Hidráulicos analizados.	Como consecuencia de que el modelo haya determinado la "altura crítica" como rasante de agua, para lograr un balance en la Ecuación de la Energía en la Sección A-11, los parámetros hidráulicos calculados en este punto presentan inconsistencias.	Se recomienda no considerar los valores de estos parámetros hidráulicos, para cualquier cálculo que se requiera realizar esta sección transversal.	Ver Aspecto Hidráulico No. 3 – Ecuación de Energía, para consideraciones referentes a Sección A-11 (Chaguana).

6. Conclusiones y Recomendaciones

6.1. Conclusiones

El Modelo Hidráulico HEC-RAS, representa una herramienta de considerable valor, que mediante procesos iterativos aplicados a formulas tradicionales de la Hidráulica, permite calcular los perfiles hidráulicos de un río o canal. Esto permite al diseñador entender el comportamiento del río, consiguiendo así obtener las pautas para prediseños de obras hidráulicas, tanto preventivas como de mejoramiento o de aprovechamiento de las condiciones hidrológicas de un canal.

Los beneficios que representan la obtención de los parámetros básicos de un canal, constituyen siempre un aporte de considerable valor para el desarrollo de una región. El modelaje del comportamiento de un río permite aprovechar los beneficios hidráulicos de éste, y en muchas ocasiones, permite comprender los peligros que éste puede ocasionar a la comunidad en el caso de un fenómeno natural.

No obstante, los gastos que representan la obtención de los parámetros básicos para poder desarrollar el modelaje del comportamiento de un río, son elevados. Actividades como cubrir una cuenca hidrográfica con

estaciones hidrometeorológicas que permitan obtener datos históricos de parámetros como caudales, temperaturas, elevaciones de agua, lluvias, etc.; realizar campañas topográficas que determine las características orográficas de una cuenca; o cubrir toda la extensión de un sistema hídrico con campañas batimétricas para obtener los perfiles transversales del mismo, son tan costosas, que generalmente son realizadas por entidades gubernamentales.

Como ya fue mencionado en el Capítulo I, el Proyecto 4 del Programa ESPOL-VLIR, contempla el apoyo logístico a tesis de grado tendientes a analizar temas específicos dentro de la investigación principal del Proyecto (investigar los problemas ambientales generados por el sector agrícola). El apoyo logístico brindado por dicho Proyecto, así como el trabajo en conjunto que se realizó con el grupo inicial de tesis, permitió la obtención de ciertos parámetros que hicieron posible el análisis hidráulico del Sistema Hídrico del Río Chaguana.

Los conceptos y criterios hidráulicos aprendidos durante el proceso académico de la Carrera de Ingeniería Civil, en la Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra (FICT - ESPOL), sirvieron para aprovechar de la mejor manera cada campaña de muestro realizada. No obstante, aprender a

manejar herramientas computacionales nuevas, como es el caso del Modelo HEC-RAS, demandó tiempo y dedicación.

Comprender los principios hidráulicos que sigue el modelo, así como las limitaciones y requerimientos básicos del mismo, provocó un desfase entre el tiempo que tomó realizar las campañas de muestreo, y el tiempo en el que se comenzaron a realizar las primeras pruebas del modelo.

Este desfase mostró ciertas inconsistencias en los datos de campo obtenidos. Si a esto, se suma la no participación de un grupo de estudiantes que conformaban el grupo inicial de tesis, da como resultado ciertos “vacíos” en los datos de laboratorio, que tuvieron que ser interpolados para poder completar los requerimientos de datos que exige el modelo.

El modelaje realizado, representa el comportamiento de dos tramos del Sistema Hídrico, analizados bajo criterios de caudales instantáneos. Esto quiere decir, que los resultados obtenidos servirán únicamente para determinar el comportamiento que tuvieron los ríos en las fechas en que se realizaron las mediciones.

Dado que el modelo demanda datos de caudal para cada una de las secciones transversales (puntos de muestro), y dado que los datos históricos

suministrados por la Agencia de Aguas de Machala, únicamente cubría caudales para dos puntos (puentes del Zapote y del Chaguana), fue imposible realizar modelajes que representen diversos períodos de retorno.

6.2. Recomendaciones

Al analizar la matriz de valoración de los resultados del modelo, se puede observar que el problema básico por el cual el modelo genera anomalías con respecto a los cálculos en la capacidad de transporte y pérdidas de energía, y en el caso de la Sección A-11 del Río Chaguana, el no balanceo de la ecuación de la energía. Estas anomalías se deben a que el espaciamiento entre una sección transversal y otra es muy grande.

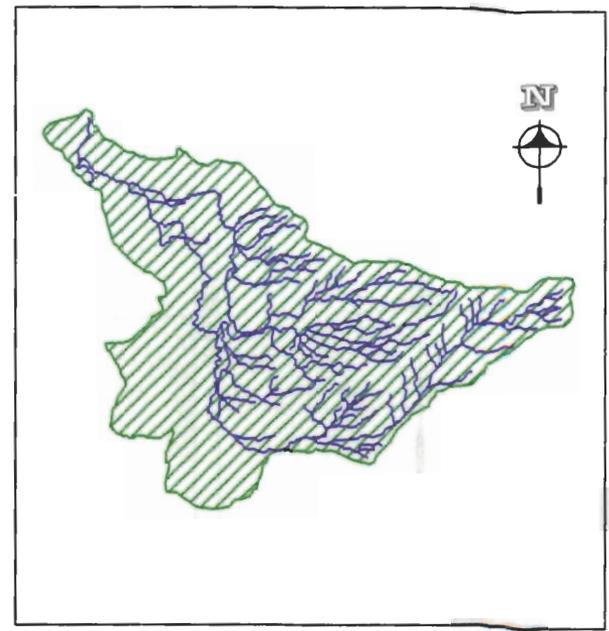
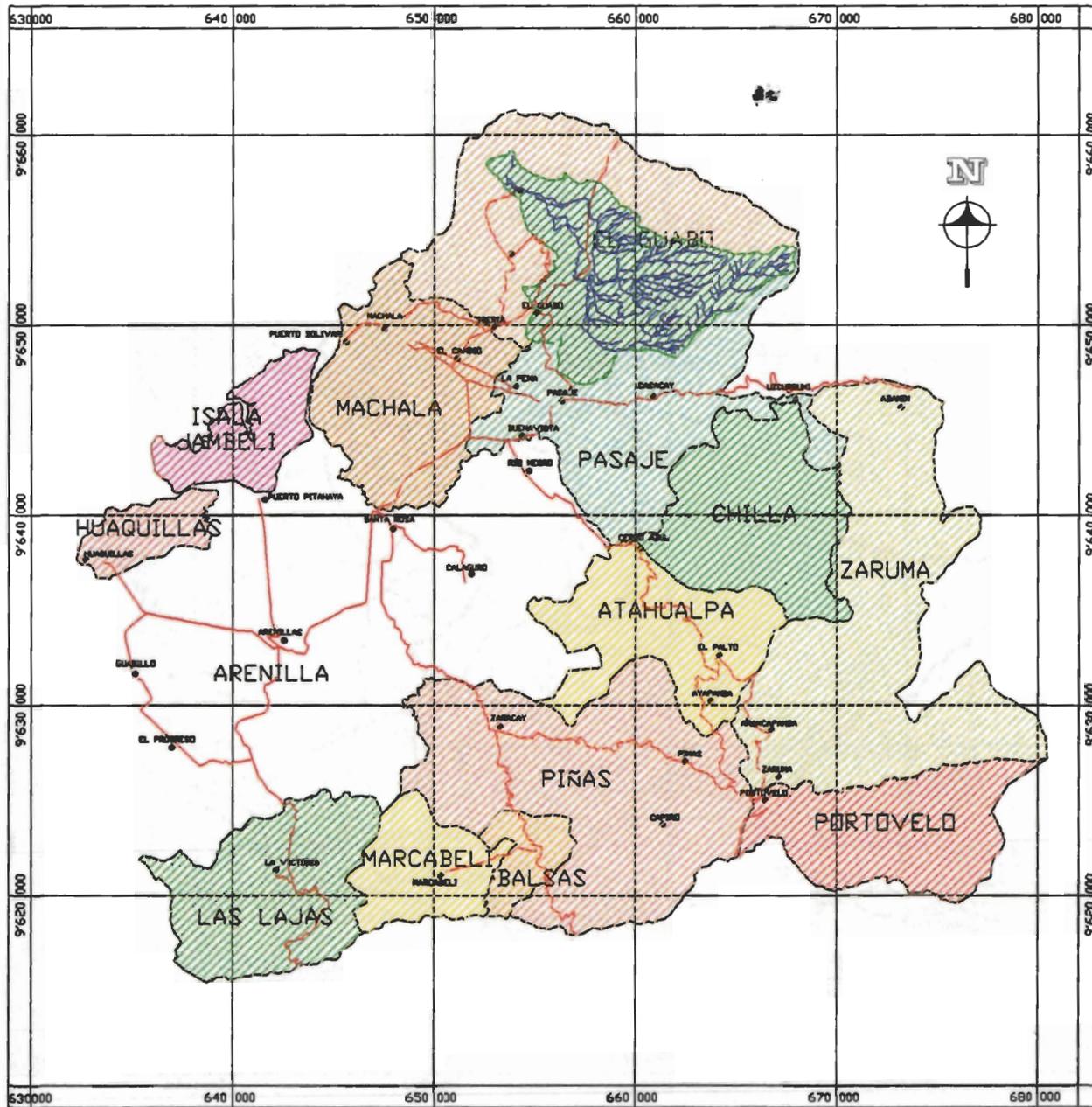
Si analizamos la forma original de los ríos (Chaguana y Zapote), nos daremos cuenta de que se trata de un sistema hídrico considerablemente meándrico. Al realizar los cálculos, el modelo HEC-RAS asume un tramo recto entre cada una de las secciones transversales, interpolando la forma física, y los parámetros hidráulicos de un tramo de río, según la forma física y los parámetros hidráulicos de cada una de las dos secciones transversales que conforman dicho tramo. Esto provoca que el gran espaciamiento entre ambas secciones transversales genere anomalías con respecto a los procesos de cálculo del modelo.

La medida de calibración recomendada en dicha matriz, hace hincapié en la necesidad de incrementar el número de secciones transversales, pero realizar una nueva campaña de muestreo única y exclusivamente para obtener más perfiles transversales (junto con los datos hidráulicos de cada perfil), demandaría tiempo y dinero que lamentablemente se escapaba del presupuesto de la tesis, sin contar las dificultades relacionadas al acceso a los sitios de muestreo, que en su mayoría correspondían a sitios localizados en bananeras privadas.

No obstante, aunque los datos obtenidos en este trabajo hubiesen podido ser mejorados mediante una última campaña de muestreo, quedan los conocimientos adquiridos en el desarrollo del modelaje hidráulico, así como la experiencia ganada con respecto a procesos de muestro.

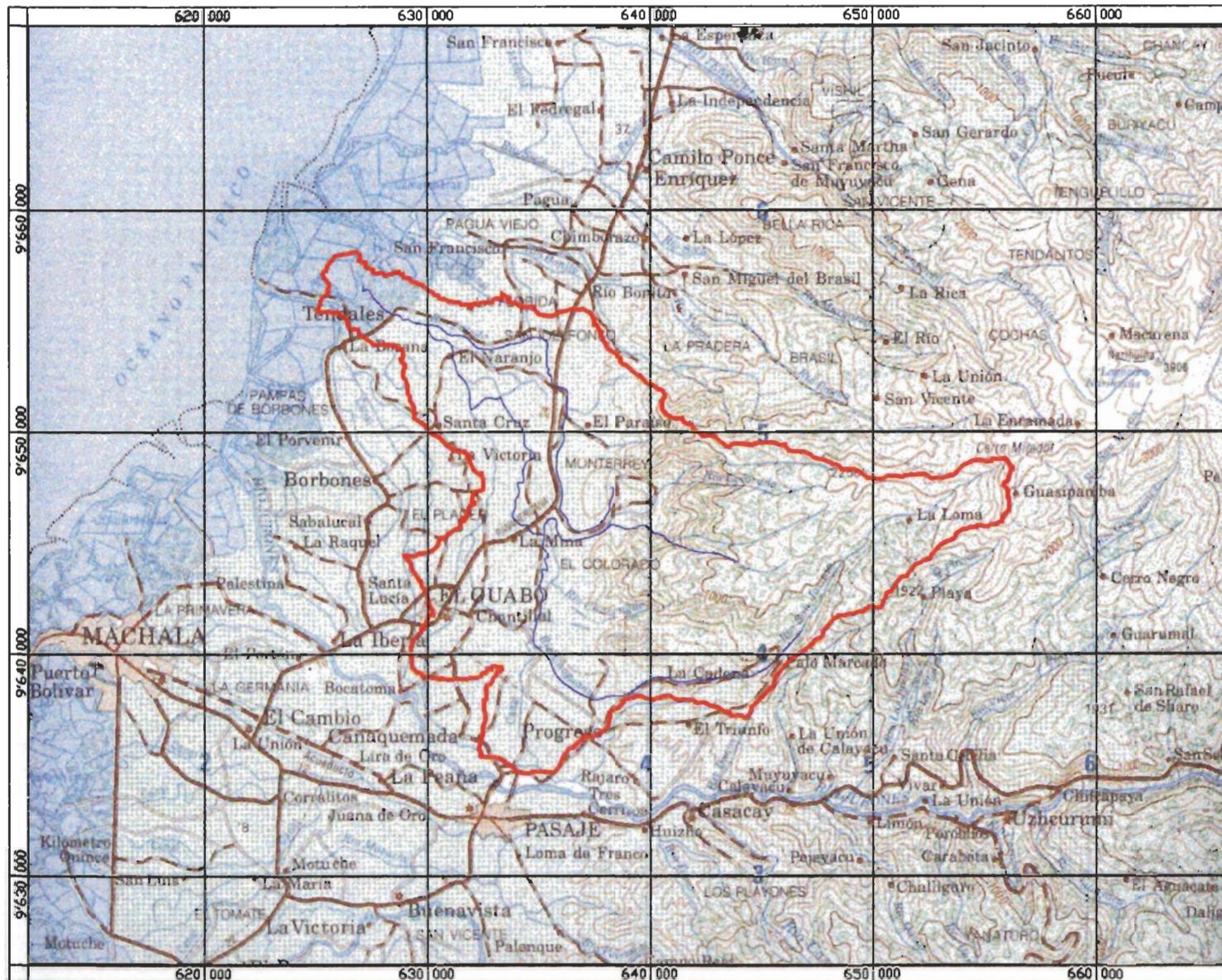
Personalmente, los beneficios de utilizar herramientas computacionales para la resolución de problemas de ingeniería son muchos, pero el mayor de los beneficios, es el hecho de aprender nuevas técnicas y aplicarlas al desarrollo de la comunidad.

PLANOS Y ANEXOS



ANÁLISIS DEL MODELAJE HIDRAULICO DEL SISTEMA HIDRICO DEL RIO CHAGUANA, MEDIANTE EL USO DEL MODELO HEC-RAS

CONTIENE:	
MAPA III.1	
LOCALIZACIÓN DEL AREA DE ESTUDIO	
FUENTE:	ESCALA:
CEMA - ESPOL IGN	ESQUEMATICA
BASE CARTOGRAFICA:	FECHA:
UTM PS AD 88 - ZONA 17 SUR	DICIEMBRE - 2003



**ANALISIS DEL
MODELAJE
HIDRAULICO DEL
SISTEMA HIDRICO
DEL RIO
CHAGUANA,
MEDIANTE EL USO
DEL MODELO
HEC-RAS**

CONTIENE	
MAPA N.º 2	
TOPOGRAFIA DE LA CUENCA	
ORIGEN:	ESCALA:
IGN (Instituto Geográfico Militar)	GRADUADA
BASE TOPOGRAFICA:	FECHA:
UTM PB AD 88 - ZONA 17 SUR	DICIEMBRE - 2008

ANEXO III.1

TEMPERATURA DE LA CUENCA

ANEXO III-1 TEMPERATURA

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA E HIDROLOGIA

DIRECCION DE INFORMATICA

SERIES DE DATOS METEOROLOGICOS

ESTACION: MACHALA - UTM

CODIGO: M185

PERIODO: 1973-2000

LATITUD: 3° 16' 0" S

LONGITUD: 79° 57' 31" W

ELEVACION: 25

YEAR	TEMPERATURA PROMEDIO MENSUAL												VALORES ANUALES	
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	SUM	PROM
1982	25.40	26.40	26.50	26.00	24.80	23.60	23.06	22.80	23.60	24.40	26.20	26.70	299.46	24.96
1983	25.78	27.30	26.45	26.17	27.40	26.90	26.70	25.70	24.60	23.50	24.10	24.70	309.30	25.78
1984	25.80	25.60	25.90	25.60	25.40	24.23	23.06	22.65	23.11	22.50	23.87	25.40	293.11	24.43
1985	25.20	25.80	26.45	26.17	24.70	23.80	21.70	22.65	23.11	22.40	23.10	24.40	289.47	24.12
1986	25.30	26.00	26.40	25.90	24.60	22.70	22.20	22.10	23.00	22.50	23.40	24.50	288.60	24.05
1987	25.90	26.30	26.60	26.17	26.00	24.23	23.60	23.80	23.30	23.60	24.80	25.80	300.09	25.01
1988	26.00	26.21	26.45	26.40	26.30	24.00	22.90	22.20	22.60	22.20	22.50	24.40	292.17	24.35
1989	25.40	25.50	26.00	25.90	24.70	22.60	21.80	21.30	23.11	22.96	23.87	24.70	287.84	23.99
1990	26.20	26.30	26.40	26.00	25.40	24.23	23.06	22.65	23.11	22.96	23.87	25.08	295.25	24.60
1991	26.30	26.80	27.10	26.90	25.63	24.70	23.10	22.40	21.60	22.70	23.90	25.30	296.43	24.70
1992	26.30	26.60	26.60	27.10	26.60	24.90	23.70	22.80	22.10	22.50	23.00	24.50	296.70	24.73
1993	25.70	25.80	26.30	26.50	26.00	25.10	23.80	22.90	22.60	23.00	23.10	25.00	295.80	24.65
1994	25.70	25.90	26.10	26.00	25.70	23.60	21.90	21.30	21.80	22.90	23.40	25.10	289.40	24.12
1995	26.10	26.20	26.40	26.17	25.63	24.23	23.06	22.65	23.00	22.50	22.90	24.20	293.03	24.42
1996	25.30	25.90	26.30	25.80	25.00	24.23	21.50	21.80	23.11	22.95	23.87	25.08	290.83	24.24
1997	25.10	26.30	26.70	26.17	25.63	24.23	23.06	22.65	25.80	22.95	26.30	26.80	301.68	25.14
1998	27.00	27.40	27.30	26.17	27.20	26.00	24.70	23.70	23.90	22.95	23.60	24.70	304.61	25.38
1999	25.60	25.50	26.20	25.90	24.70	22.80	22.20	21.60	22.50	23.10	23.87	25.08	289.05	24.09
SUM	464.08	471.81	476.16	471.00	461.40	436.05	415.11	407.63	415.94	412.57	429.65	451.44	4148.8	345.7
PROMEDIO	25.78	26.21	26.45	26.17	25.63	24.23	23.06	22.65	23.11	22.92	23.87	25.08	295.1	24.6
MINIMO	25.10	25.50	25.90	25.60	24.60	22.60	21.50	21.30	21.60	22.20	22.50	24.20		21.3
MAXIMO	27.00	27.40	27.30	27.10	27.40	26.90	26.70	25.70	25.80	24.40	26.30	26.80		27.4
AMPLITUD	1.90	1.90	1.40	1.50	2.80	4.30	5.20	4.40	4.20	2.20	3.80	2.60		6.1

ANEXOS III.2 – III.3 - III.4 – III.5 – III.6

VALORES MENSUALES DE PRECIPITACION

ANEXO III-2 VALORES MENSUALES DE PRECIPITACIÓN - MACHALA UTM

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA E HIDROLOGIA

DIRECCION DE INFORMATICA

SERIES DE DATOS METEOROLOGICOS 90

ESTACION: MACHALA - UTM

CODIGO: M185

PERIODO: 1973-2000

LATITUD: 3.26667 S

LONGITUD: 79.9586 W

ELEVACION: 25

AÑO	VALORES MENSUALES DE PRECIPITACION (mm)												VALORES ANUALES		MAX. 24 H
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	SUM	PROM	
1973	197.21	100.00	280.00	0.00	20.00	72.73	30.00	20.00	81.70	135.00	115.90	130.70	1183.24	98.60	
1974	91.40	143.60	235.00	20.90	40.40	11.80	9.70	9.10	27.70	16.50	6.60	16.60	629.30	52.44	
1975	56.80	225.30	196.00	159.15	93.77	23.50	19.40	16.20	14.10	27.30	18.60	14.20	864.31	72.03	
1976	100.00	222.20	150.00	53.50	12.00	12.70	3.90	16.10	4.40	4.30	9.90	19.00	608.00	50.67	
1977	83.70	210.20	110.00	31.30	0.00	72.73	8.10	12.70	3.50	70.53	75.08	8.00	685.85	57.15	
1978	70.60	112.80	68.50	78.20	31.10	72.73	53.84	38.90	20.00	48.80	31.60	79.00	706.07	58.84	
1979	97.00	49.60	44.90	247.90	22.00	37.20	37.80	148.10	46.07	99.30	25.50	31.10	886.47	73.87	
1980	92.40	101.30	147.50	281.80	97.10	108.20	30.00	39.70	45.20	79.30	44.60	56.10	1123.20	93.60	
1981	15.30	199.00	144.70	135.90	28.50	49.10	70.00	44.00	39.20	71.90	80.70	58.80	937.10	78.09	
1982	95.40	38.40	12.10	30.30	66.60	45.90	150.00	25.20	34.50	80.30	255.80	587.10	1421.60	118.47	
1983	835.60	274.30	584.50	159.15	479.70	452.60	261.50	93.90	58.30	99.20	62.90	218.50	3580.15	298.35	
1984	29.10	423.60	311.00	466.30	15.70	108.70	42.00	45.70	66.30	67.40	30.00	29.40	1635.20	136.27	
1985	46.60	33.50	268.70	2.40	8.30	66.60	29.80	36.50	28.60	51.00	25.70	76.20	673.90	56.16	
1986	238.20	229.00	64.90	119.20	31.30	41.50	39.90	25.00	23.50	71.80	57.40	36.20	977.90	81.49	
1987	304.40	598.80	249.40	381.60	217.00	37.90	42.70	58.20	69.50	63.40	21.90	14.60	2059.40	171.62	157.40
1988	313.00	233.50	18.20	212.60	24.20	32.00	55.90	27.40	43.30	91.50	77.00	52.00	1180.60	98.38	93.10
1989	377.60	280.90	441.10	50.70	31.50	64.00	44.10	44.00	56.90	59.20	30.70	24.40	1505.10	125.43	118.60
1990	28.30	114.10	55.70	110.30	24.40	45.60	33.70	39.50	35.50	75.50	57.00	13.60	633.20	52.77	27.70
1991	35.30	610.20	113.60	38.40	38.10	38.20	36.60	49.50	52.20	73.30	32.00	44.00	1161.40	96.78	187.90
1992	116.20	370.60	505.00	466.80	238.40	53.20	41.20	68.80	70.00	58.30	82.80	11.20	2082.50	173.54	
1993	177.90	221.60	174.20	200.40	245.60	36.10	55.50	32.60	33.70	46.70	78.60	81.60	1384.50	115.38	87.30
1994	402.50	161.50	85.70	104.40	31.10	36.60	24.30	30.50	24.30	60.60	38.70	162.00	1162.20	96.85	
1995	192.60	170.20	306.70	45.60	36.50	20.30	68.70	24.70	42.40	76.50	123.30	66.20	1173.70	97.81	
1996	189.40	439.10	162.20	29.50	24.30	45.80	34.80	35.10	29.00	49.40	41.70	29.90	1110.20	92.52	
1997	100.90	217.00	584.20	254.10	137.40	75.80	95.10	100.00	150.80	182.10	497.40	613.90	3008.70	250.73	
1998	906.50	739.30	463.10	384.40	351.00	255.50	143.40	63.00	66.70	60.80	30.70	16.20	3480.60	290.05	
1999	33.50	311.70	338.20	73.00	112.00	46.80	64.00	32.50	50.40	84.50	75.08	95.79	1317.47	109.79	
SUM	5227.41	6831.30	6115.10	4137.79	2457.97	1963.80	1525.94	1176.90	1217.77	1904.43	2027.16	2586.29	37171.86	2892.7	
PROMEDIO	193.61	253.01	226.49	153.25	91.04	72.73	56.52	43.59	45.10	70.53	75.08	95.79	1376.74	116.6	
MEDIANA	100.00	221.60	174.20	110.30	31.50	45.90	41.20	36.50	42.40	70.53	44.60	44.00			
MINIMO	15.30	33.50	12.10	0.00	0.00	11.80	3.90	9.10	3.50	4.30	6.60	8.00	608.00	0	
MAXIMO	906.50	739.30	584.50	466.80	479.70	452.60	261.50	148.10	150.80	182.10	497.40	613.90	3580.15	906.5	
AMPLITUD	891.20	705.80	572.40	466.80	479.70	440.80	257.60	139.00	147.30	177.80	490.80	605.90		906.5	

ANEXO III-3 VALORES MENSUALES DE PRECIPITACIÓN - TENDALES

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA E HIDROLOGIA

DIRECCION DE INFORMATICA

SERIES DE DATOS METEOROLOGICOS

90

ESTACION: TENDALES

CODIGO: M425

PERIODO: 1973-1983

LATITUD: 3.35 S

LONGITUD: 79.6 N

ELEVACION:

AÑO	VALORES MENSUALES DE PRECIPITACION (mm)												VALORES ANUALES		MAX. 24 H
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	SUM	PROM	
1973		211.30	194.9		92.6	60.7	4.6	19.2	33.1	4.7	10.4	27.2			
1974		144	66.4	79.1	24.8	187.1		3.3	32.5	28.6	22.4	85.4			
1975	65.60	143.80	144.90	83.70	62.00	31.60	10.40	12.60	7.20	17.00	7.50	33.60			
1976	98.60	168.00	130.80	35.10	25.20	27.60	24.80	13.00	4.00	3.10	21.30	17.50	569.00	47.42	41.00
1977	83.40	55.80	19.50	58.40	0.60	12.80	0.20	8.70	0.70	1.30	3.40	14.80	259.60	21.63	16.60
1978	22.70	23.20	41.50	24.40		35.50	29.40	3.00	8.80	25.00					
1979	66.20	54.80	261.00	261.90	21.20	50.00	25.00	10.00	13.90	8.00	6.00	24.30	802.30	66.86	79.00
1980	164.80	145.40	351.40	57.00	249.50	90.00		15.00	20.50	191.80	397.00	104.30			
1981	102.20	138.50	197.90	79.50	63.10	35.00	213.00	5.00	7.00	36.80	63.00	0.50	941.50	78.46	70.00
1982	74.90	64.80	177.30	200.80	204.70	44.00	11.00	10.00	288.00	275.80	426.80	1172.40	2950.50	245.88	
1983	110.70	83.90	52.90	94.00	83.90	99.00	86.00	56.30		64.00	100.70				
SUM	789.10	878.20	1377.20	894.80	710.20	425.50	399.80	133.60	350.10	622.80	1025.70	1367.40	5522.90		
PROMEDIO	87.68	112.14	148.95	97.39	82.76	61.21	44.93	19.20	41.57	59.65	105.85	164.44	1025.77	85.48	
MINIMO	22.70	23.20	19.50	24.40	0.60	12.80	0.20	3.00	0.70	1.30	3.40	0.50		0.20	
MAXIMO	164.80	168.00	351.40	261.90	249.50	99.00	213.00	56.30	288.00	275.80	426.80	1172.40		1172.40	
AMPLITUD	142.10	144.80	331.90	237.50	248.90	86.20	212.80	53.30	287.30	274.50	423.40	1171.90		1172.20	

ANEXO III-4 VALORES MENSUALES DE PRECIPITACIÓN - TENGUEL

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA E HIDROLOGIA

DIRECCION DE INFORMATICA

SERIES DE DATOS METEOROLOGICOS 90

ESTACION: TENGUEL

CODE: M478

PERIODO: 1965-1980

LATITUD: 2.99111 S LONGITUD: 79.7869 N

ELEVACION: 10

AÑO	VALORES MENSUALES DE PRECIPITACION (mm)												VALORES ANUALES		MAX. 24 H
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	SUM	PROM	
1965	72.20	79.90	187.40	163.10	74.40	52.50	18.60	30.30	63.70	109.60	78.00	31.50	961.20	80.10	25.40
1966	330.60	106.20	123.60	72.60	49.70	23.00	17.20	36.60	26.80	40.50	11.40	9.10	847.30	70.61	101.40
1967	220.30	14.00	0.00	0.00	25.00	12.00	7.80	13.90	36.00	48.00	23.00	17.50	417.50	34.79	
1968	50.20	28.50	11.80	2.70	3.90	9.70	5.00	15.00	42.38	57.46	30.00	34.06	290.69	24.22	
1969	127.85	144.42	139.53	102.87	58.70	18.00	23.84	21.00	38.00	41.80	17.60	69.10	802.70	66.89	
1970	151.60	166.40	22.90	28.20	118.60	25.50	25.70	24.00	27.20	33.10	22.70	13.90	659.80	54.98	86.70
1971	87.20	113.40	10.00	0.00	58.70	30.00	20.00	25.00	16.00	55.00	34.83	12.00	462.13	38.51	
1973	65.00	130.00	20.00	10.00	50.00	32.18	25.00	22.40	27.00	53.90	43.70	26.80	505.98	42.16	
1974	77.40	229.30	51.00	36.30	75.90	37.90	35.50	24.90	50.30	54.50	30.90	90.00	793.90	66.16	71.00
1975	110.80	352.70	319.60	345.90	45.90	61.40	50.70	36.40	41.10	56.80	49.40	35.30	1506.00	125.50	199.00
1976	129.70	379.40	400.60	102.10	147.50	31.00	55.00	35.00	44.00	65.00	45.00	20.00	1454.30	121.19	
1979	148.50	54.50	174.50	165.50	10.40	16.40	26.70	22.30	58.90	88.70	24.90	13.30	804.60	67.05	67.00
1980	27.80	64.30	103.90	112.30	2.00	32.18	8.50	5.20	44.00	38.20	36.00	22.00	496.38	41.36	
SUMA	1599.15	1863.02	1564.83	1141.57	720.70	381.75	319.54	312.00	515.38	742.56	447.43	394.56	8052.50	671.00	
PROMEDIO	127.85	144.42	139.53	102.87	58.70	32.18	23.84	24.00	42.38	57.46	34.83	34.06	822.09	68.50	
MINIMO	27.80	14.00	0.00	0.00	2.00	9.70	5.00	5.20	16.00	33.10	11.40	9.10	133.30	0.00	
MAXIMO	330.60	379.40	400.60	345.90	147.50	61.40	55.00	36.60	63.70	109.60	78.00	90.00	2098.30	400.60	
AMPLITUD	302.80	365.40	400.60	345.90	145.50	51.70	50.00	31.40	47.70	76.50	66.60	80.90		400.60	

ANEXO III-5 VALORES MENSUALES DE PRECIPITACIÓN - UZCURRUMI

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA E HIDROLOGIA

DIRECCION DE INFORMATICA

SERIES DE DATOS METEOROLOGICOS

90

ESTACION: UZCURRUMI

CODE: M481

PERIODO: 1976-1993

LATITUD: 3.35 S

LONGITUD 79.533 N

ELEVACION:

AÑO	VALORES MENSUALES DE PRECIPITACION (mm)												VALORES ANUALES		
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	SUM	PROM	MAX. 24 H
1976	143.00	248.00	144.10	64.10	80.00	42.00	21.00	52.50	13.80	14.30	32.80	37.90	893.50	74.46	49.50
1977	179.80	107.60	154.30	89.90	4.20	14.40	8.90	14.60	26.50	16.20	7.50		623.90	56.72	
1978	39.00	96.70	159.40	89.60	33.90	14.10	12.60	14.40	15.00	7.30	10.70	39.40	532.10	44.34	38.30
1979	105.80	38.10	96.90	55.10	33.30	17.80	6.70	3.60	14.20	14.60	4.00	10.20	400.30	33.36	22.00
1980	55.40	101.00	180.60	299.90	19.80	24.10	6.80	4.00	5.50	32.60	19.20	50.10	799.00	66.58	99.80
1981	68.80	107.40	126.70	40.00	19.20	16.40	16.50	6.70	11.20	19.40	23.10	53.80	509.20	42.43	40.00
1982	68.10	40.90	30.50	35.90	52.70	11.50	15.40	6.70	15.30	44.80	175.70	292.50	790.00	65.83	70.00
1983	222.10	90.20	237.90	122.00	99.50	43.60	19.70	23.10	28.70	46.40	41.00	164.00	1138.20	94.85	80.80
1984	27.40	300.10	186.10	113.10	27.20	55.90	15.00	13.10	17.50	34.50	22.30	32.60	844.80	70.40	70.30
1985	55.70	18.70	143.40	7.70	19.50	14.10		8.80	11.70	12.50	10.90	103.10			
1986	143.90	63.80	45.70	97.90	28.90	8.70	16.40	12.90	9.60	19.40	19.50	72.40	539.10	44.93	44.00
1987	138.00	68.10	183.10	107.00	94.20	24.70	53.40	23.40	22.70	29.20	8.30	20.20	772.30	64.36	55.20
1988	158.40		12.90	149.00	15.10	33.20	13.90	7.60	9.70	24.80	31.50	70.60			
1989	208.20	432.90	611.00	174.00	97.80	167.60	22.20	7.00	11.80	25.20		5.60			
1990	17.20	74.60	83.30	44.60	104.60	32.10	8.20	6.70	1.30	33.10	23.60	39.70	469.00	39.08	16.50
1991	21.40	149.90	77.10	27.20	30.70	12.50	11.70	14.30	10.40	21.70	11.20	57.60	445.70	37.14	45.00
1992	85.10	119.90	213.70	152.10	90.90	24.50	37.00	17.00	22.90	18.80	21.40	36.10	839.40	69.95	45.20
1993	110.00	295.50	219.90	143.60	107.70	26.40	16.30	10.80	13.40	18.80	35.70	68.80	1066.90	88.91	90.50
SUMA	1847.30	2353.40	2906.60	1812.70	959.20	583.60	301.70	247.20	261.20	433.60	498.40	1154.60	10663.40		
PROMEDIO	102.63	106.88	161.48	100.71	53.29	32.42	17.29	13.73	14.51	24.09	15.41	46.13	688.56	57.38	
MINIMO	17.20	18.70	12.90	7.70	4.20	8.70	6.70	3.60	1.30	7.30	4.00	5.60			1.30
MAXIMO	222.10	432.90	611.00	299.90	107.70	167.60	53.40	52.50	28.70	46.40	175.70	292.50		611.00	
AMPLITUD	204.90	414.20	598.10	292.20	103.50	158.90	46.70	48.90	27.40	39.10	171.70	286.90		609.70	

ANEXO III-6 VALORES MENSUALES DE PRECIPITACIÓN - HUERTAS

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA E HIDROLOGIA

DIRECCION DE INFORMATICA

SERIES DE DATOS METEOROLOGICOS

90

ESTACION: HUERTAS

CODE: M740

PERIODO: 1971-1991

LATITUD: 3.6017 S

LONGITUD 79.63 N

ELEVACION 1350

AÑO	VALORES MENSUALES DE PRECIPITACION (mm)												VALORES ANUALES		MAX. 24 H
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	SUM	PROM	
1971	350.00	412.72	512.50	294.20	70.60	85.40	11.50	17.90	118.40	37.70	70.00	138.30	2119.22	176.60	—
1972	337.50	368.70	498.20	270.50	363.00	124.60	30.00	35.10	48.70	40.90	44.80	241.70	2403.70	200.31	78.00
1973	319.10	449.90	626.00	405.70	380.80	82.30	1.60	17.50	149.40	1.70	40.70	162.60	2637.30	219.78	93.90
1974	215.40	334.70	675.00	550.00	17.10	150.10	50.00	19.30	72.80	54.40	56.90	144.80	2340.50	195.04	—
1975	213.50	428.00	606.60	613.70	246.20	76.10	58.40	12.48	26.80	73.60	22.40	54.50	2432.28	202.69	—
1976	413.00	412.72	453.50	252.90	274.90	89.60	11.20	7.50	26.80	0.90	27.60	90.80	2061.42	171.79	—
1977	400.00	353.00	167.80	177.60	255.59	100.00	0.00	4.00	34.00	10.00	50.00	135.00	1686.99	140.58	—
1980	34.00	107.00	95.40	339.60	172.90	96.20	18.10	0.50	61.82	137.01	190.00	350.00	1602.52	133.54	—
1982	500.00	412.72	318.50	234.20	458.00	16.90	59.80	0.00	97.60	1055.80	741.40	747.00	4641.92	386.83	—
1983	817.70	701.20	1031.00	1004.60	805.60	159.10	196.90	29.40	106.60	101.60	147.00	368.50	5469.20	455.77	121.00
1984	226.70	919.30	454.00	444.00	143.90	220.00	62.20	0.00	27.10	178.20	112.00	379.60	3167.00	263.92	—
1985	421.30	437.20	287.10	175.40	154.00	23.50	1.00	0.00	29.80	14.20	18.00	277.20	1838.70	153.23	—
1986	368.30	69.30	5.20	565.60	180.30	0.00	0.00	21.50	1.00	10.00	30.00	178.60	1429.80	119.15	—
1988	552.30	677.80	172.80	330.90	205.10	30.20	18.60	1.50	98.60	34.80	104.70	223.20	2450.50	204.21	—
1990	207.70	190.20	317.90	287.20	193.90	86.30	35.00	0.10	61.82	137.01	124.09	251.50	1892.72	157.73	—
1991	195.20	329.10	416.50	306.50	167.60	60.40	11.10	0.00	0.00	50.30	103.60	262.70	1903.00	158.58	43.30
SUMA	4321.70	6603.57	6638.00	6252.60	4089.49	1400.70	565.40	166.78	961.23	1938.12	1883.19	4006.00	40076.78		
PROMEDIO	332.44	412.72	397.53	380.17	255.59	86.71	37.89	12.48	61.82	137.01	124.09	251.50	2489.95	207.50	
MINIMO	34.00	69.30	5.20	175.40	17.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.90	18.00	54.50		0.00	
MAXIMO	817.70	919.30	1031.00	1004.60	805.60	220.00	196.90	35.10	149.40	1055.80	741.40	747.00		1055.80	
AMPLITUD	783.70	850.00	1025.80	829.20	788.50	220.00	196.90	35.10	149.40	1054.90	723.40	692.50		1055.80	

ANEXOS III.7

CONTROL DE AFOROS EN LAS CUENCAS

HIDROGRAFICAS DE EL ORO

ANEXO III-7 VALORES MENSUALES DE PRECIPITACIÓN - HUERTAS

CONTROL DE AFOROS EN LAS CUENCAS HIDROGRAFICAS DE EL ORO

VALORES MENSUALES REALIZADOS CON MOLINETE 1-47424 AÑO -1978

INERHI AGENCIA DEAGUAS DE MACHALA CAUDAL m³/seg

1	CUENCA	RIO	COORDENADAS					SITIO DE AFORO	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	T.A.	P.A.	
			Latitud		Longitud																		
1	Chaguana	Zapote	3°	6'	25"	79°	47'	20"	Vía Guayas	0.814	0.491	0.539	0.294		0.463	0.264	0.194	0.340	0.297			3.696	0.41
2		Colorado	3°	6'	30"	79°	45'	55"	Hda V. M. Serrano	0.421	0.319	0.731	0.88	0.556	0.398	0.24	0.252	0.284				4.081	0.453
3		Amarillo	3°	7'	0"	79°	46'	10"	Hda V. M. Serrano	0.820	0.420	0.731			0.524	0.179	0.235	0.253				3.162	0.452
4		Chaguana	3°	7'	48"	79°	48'	15"	Vía Guayas	2.074	1.788	3.018	2.467		0.41	0.567	0.346	0.481				11.151	1.394
5		Chaguana	3°	11'	5"	79°	42'	30"	Palo Marcado								0.346	0.156					
6		Chaguana	3°	13'	10"	79°	43'	0"	Santa Elena						0.472	0.139	0.464						
7		Aguila	3°	12'	47"	79°	43'	55"	Hda. Zoila Marquez					0.096			0.215						
8		Chaguana	3°	13'	35"	79°	44'	15"	La Cadena (La Unión)							0.450							

CONTROL DE AFOROS EN LAS CUENCAS HIDROGRAFICAS DE EL ORO

VALORES MENSUALES REALIZADOS CON MOLINETE 1-47424 AÑO -1979

INERHI AGENCIA DEAGUAS DE MACHALA CAUDAL m³/seg

1	CUENCA	RIO	COORDENADAS					SITIO DE AFORO	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	T.A.	P.A.		
			Latitud		Longitud																			
1	Chaguana	Zapote	3°	6'	25"	79°	47'	20"	Vía Guayas	0.814	0.491	0.539	0.294		0.463	0.264	0.194	0.340	0.297			3.696	0.411	
2		Colorado	3°	6'	30"	79°	45'	55"	Hda V. M. Serrano	0.421	0.319	0.731	0.88	0.556	0.398	0.24	0.252	0.284				4.081	0.453	
3		Amarillo	3°	7'	0"	79°	46'	10"	Hda V. M. Serrano	0.820	0.420	0.731			0.524	0.179	0.235	0.253				3.162	0.452	
4		Chaguana	3°	7'	48"	79°	48'	15"	Vía Guayas	2.074	1.788	3.018	2.467		0.41	0.567	0.346	0.481				11.151	1.394	
5		Chaguana	3°	11'	5"	79°	42'	30"	Palo Marcado								0.346	0.156				0.502	0.251	
6		Chaguana	3°	13'	10"	79°	43'	0"	Santa Elena						0.472	0.139	0.464					1.075	0.358	
7		Aguila	3°	12'	47"	79°	43'	55"	Hda. Zoila Marquez					0.096			0.215						0.311	0.156
8		Chaguana	3°	13'	35"	79°	44'	15"	La Cadena (La Unión)							0.450						0.45	0.45	

CONTROL DE AFOROS EN LAS CUENCAS HIDROGRAFICAS DE EL ORO

VALORES MENSUALES REALIZADOS CON MOLINETE 1-47424 AÑO -1980

INERHI AGENCIA DEAGUAS DE MACHALA CAUDAL m³/seg

1	CUENCA	RIO	COORDENADAS					SITIO DE AFORO	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	T.A.	P.A.	
			Latitud		Longitud																		
1	Chaguana	Zapote	3°	6'	25"	79°	47'	20"	Vía Guayas	0.073			1.161	0.756	0.503	0.876	0.661	0.385	0.286	0.527	0.868	6.096	0.610
2		Colorado	3°	6'	30"	79°	45'	55"	Hda V. M. Serrano	0.114	0.798	0.213	1.813	1.161	0.478	0.703	0.421					5.701	0.713
3		Amarillo	3°	7'	0"	79°	46'	10"	Hda V. M. Serrano	0.124	0.347	0.209	1.518	1.278	0.746	0.392	0.392					5.006	0.626
4		Chaguana	3°	7'	48"	79°	48'	15"	Vía Guayas	0.024	1.092	0.273	6.439	2.721	1.570	1.671	0.800	0.748	0.842	3.822	1.173	21.175	1.765
5		Chaguana	3°	11'	5"	79°	42'	30"	Palo Marcado		0.820	1.200			1.141	2.295				1.201	0.977	7.634	1.272
6		Chaguana	3°	13'	10"	79°	43'	0"	Santa Elena	0.585	0.603	0.520	3.694	1.377	1.906	1.228	1.023		0.537	0.499	0.474	12.446	1.131
7		Aguila	3°	12'	47"	79°	43'	55"	Hda. Zoila Marquez				0.421	0.155	0.254	0.143	0.287		0.169	0.222	0.188	1.839	0.230
8		Chaguana	3°	13'	35"	79°	44'	15"	La Cadena (La Unión)				2.904	2.440	1.256	1.609	0.282		0.898	0.627	0.727	10.743	1.343

ANEXO III-7 VALORES MENSUALES DE PRECIPITACIÓN - HUERTAS

CONTROL DE AFOROS EN LAS CUENCAS HIDROGRAFICAS DE EL ORO

VALORES MENSUALES REALIZADOS CON MOLINETE 1-47424 AÑO -1.982

INERHI

AGENCIA DEAGUAS DE MACHALA

CAUDAL M3/SEG

	CUENCA	RIO	COORDENADAS				SITIO DE AFORO	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	T.A.	P.A.
	Chaguana																				
1		Zapote	3	6	25	79	47	20	Vía Guayas	0.594	0.376			0.224	0.27	0.316	0.24	0.145		1.183	
2		Colorado	3	6	30	79	45	55	Hda V. M. Serrano	0.278				0.162	0.159	0.159	0.116	0.04	0.171	0.143	
3		Chaguana	3	7	48	79	48	15	Vía Guayas	0.762				0.521	0.672	0.619	0.571	0.3	0.267	2.28	
4		Chaguana	3	11	5	79	42	30	Palo Marcado	0.597				0.752		0.4	0.49	0.945	0.378	1.497	
5		Chaguana	3	13	10	79	43	0	Santa Elena	0.372				0.602		0.524	0.461	0.153	0.161	1.204	
6		Chaguana							La Cadena (La Unión)	0.05				0.112		0.043	0.064	0.038	0.11	1.563	

CONTROL DE AFOROS EN LAS CUENCAS HIDROGRAFICAS DE EL ORO

VALORES MENSUALES REALIZADOS CON MOLINETE 1-47424 AÑO -1.983

INERHI

AGENCIA DEAGUAS DE MACHALA

CAUDAL M3/SEG

	CUENCA	RIO	COORDENADAS				SITIO DE AFORO	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	T.A.	P.A.
	Chaguana																				
1		Zapote	3	6	25	79	47	20	Vía Guayas	1.329	0.801	1.711	4.481	1.97	1.175	1.479	0.904	0.89	1.036	0.69	0.47
2		Colorado	3	6	30	79	45	55	Hda V. M. Serrano	0.786	0.551	1.123	2.728	5.963	0.666	0.627	0.371	0.407	0.453	0.275	0.268
6		Chaguana							La Cadena (La Unión)	1.87	0.819	3.558	4.61	4.698	1.318	1.222	1.135	0.586	0.62	0.373	0.256

ANEXOS III.8

ANALISIS GRANULOMETRICOS



ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL
Facultad de Ingeniería en ciencias de la Tierra
Laboratorio de suelos y Resistencia de Materiales

ANALISIS GRANULOMETRICO

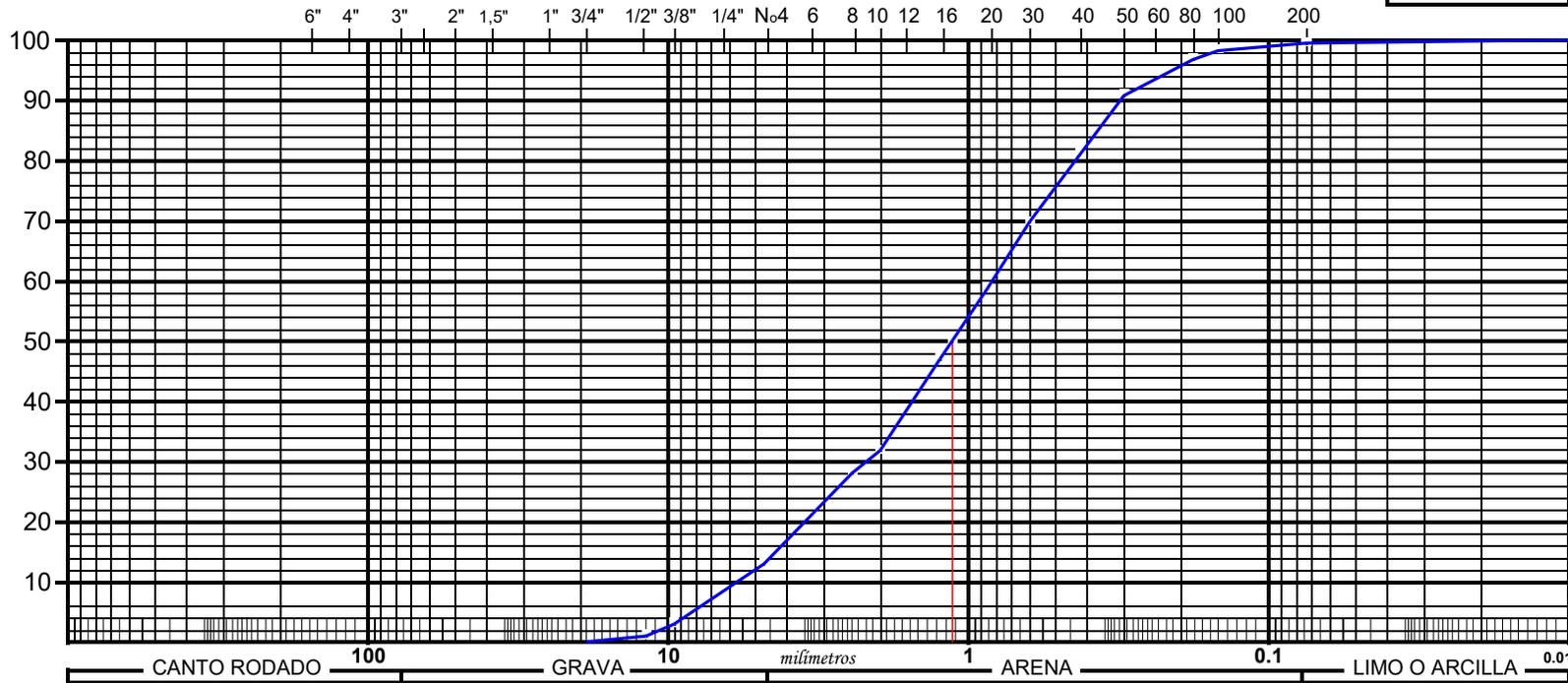
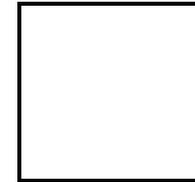
PROYECTO	Sistema Hídrico del Río Chaguana	FECHA	2	Sept	2002
Obra: Análisis Hidráulico	Localización: Prov. El Oro	Sondeo:			
Muestra: A-1 FONDO	Para : Tesis de Grado - Christian Vivas				
Fuente del Material : Margen Sección Transversal A1 - Río Zapote					
Descripción del Material : Arena muy fina					

Tamiz	Peso Parcial	% Retenido	%Retenido Aculado	%Pasante Acumulado	Especificaciones
3"					
2 (1/2)"					
2"					
1 (1/2)"					
1"					
3/4"					
1/2"	13.50	1.38	1.38	98.62	
3/8"	13.40	1.37	2.74	97.26	
1/4"					
No. 4	101.60	10.35	13.10	86.90	
No. 6					
No. 8	145.90	14.87	27.97	72.03	
No. 10	38.20	3.89	31.86	68.14	
No. 12					
No. 16	148.20	15.10	46.96	53.04	
No. 20	116.50	11.87	58.84	41.16	
No. 30	107.00	10.91	69.74	30.26	
No. 40	110.80	11.29	81.03	18.97	
No. 50	96.40	9.82	90.86	9.14	
No. 60					
No. 80	63.30	6.45	97.31	2.69	
No. 100	10.10	1.03	98.34	1.66	
No. 200	15.10	1.54	99.88	0.12	
No.					
Fondo	1.20	0.12	100.00	0.00	
Total	981.20	100.00			

Prueba por : Julio García

Calculado por : Christian Javier Vivas

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL
Facultad de Ingeniería en ciencias de la Tierra
Laboratorio de suelos y Resistencia de Materiale
CURVA GRANULOMETRICA



MUESTRA No.	PROFUNDIDAD	W _n	WL	WP	IP	Cu	Cc	SUCS	PROYECTO :	Sistema Hídrico del Río Chaguana
A-1	Fondo del Rlc								UBICACIÓN :	Provincia de El Oro
									PERFORACIÓN No :	
									FECHA	2 Sep 2002

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en ciencias de la Tierra
Laboratorio de suelos y Resistencia de Materiales

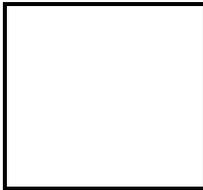
ANALISIS GRANULOMETRICO

PROYECTO	Sistema Hídrico del Río Chaguana	FECHA	2	Sept	2002
Obra: Análisis Hidráulico	Localización: Prov. El Oro	Sondeo:			
Muestra: A-3 FONDO	Para : Tesis de Grado - Christian Javier Vivas				
Fuente del Material : Margen Sección Transversal A3 - Río Zapote					
Descripción del Material : Arena Gruesa					

Tamiz	Peso Parcial	% Retenido	%Retenido Acumulado	%Pasante Acumulado	Especificaciones
3"					
2 (1/2)"					
2"					
1 (1/2)"					
1"					
3/4"					
1/2"					
3/8"					
1/4"					
No. 4	9.6	0.96	0.96	99.04	
No. 6					
No. 8	36.3	3.61	4.57	95.43	
No. 10	20.8	2.07	6.64	93.36	
No. 12					
No. 16	143	14.23	20.87	79.13	
No. 20	204.3	20.34	41.21	58.79	
No. 30	269.5	26.83	68.04	31.96	
No. 40	217.1	21.61	89.65	10.35	
No. 50	80.6	8.02	97.67	2.33	
No. 60					
No. 80	18	1.79	99.46	0.54	
No. 100	2.3	0.23	99.69	0.31	
No. 200	3	0.30	99.99	0.01	
No.					
Fondo	0.1	0.01	100.00	0.00	
Total	1004.6	100.00			

Prueba por : Julio García

Calculado por : Christian Javier Vivas



ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en ciencias de la Tierra
Laboratorio de suelos y Resistencia de Materiales

ANALISIS GRANULOMETRICO

PROYECTO	Sistema Hídrico del Río Chaguana	FECHA	2	Sept	2002
Obra: Análisis Hidráulico	Localización: Prov. El Oro	Sondeo:			
Muestra: A-3 MARGEN	Para : Tesis de Grado - Christian Javier Vivas				
Fuente del Material : Margen Sección Transversal A3 - Río Zapote					
Descripción del Material :					

Tamiz	Peso Parcial	% Retenido	%Retenido Acumulado	%Pasante Acumulado	Especificaciones
3"					
2 (1/2)"					
2"					
1 (1/2)"					
1"					
3/4"					
1/2"					
3/8"					
1/4"					
No. 4	3.1	1.48	1.48	98.52	
No. 6					
No. 8	4.5	2.16	3.64	96.36	
No. 10	1.7	0.81	4.45	95.55	
No. 12					
No. 16	8.5	4.07	8.52	91.48	
No. 20	10.3	4.93	13.46	86.54	
No. 30	17.6	8.43	21.89	78.11	
No. 40	29.1	13.94	35.82	64.18	
No. 50	32.7	15.66	51.48	48.52	
No. 60					
No. 80	37.6	18.01	69.49	30.51	
No. 100	15.8	7.57	77.06	22.94	
No. 200	47.7	22.84	99.90	0.10	
No.					
Fondo	0.2	0.10	100.00	0.00	
Total	208.8	100.00			

Prueba por : Julio García

Calculado por : Christian Javier Vivas



ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en ciencias de la Tierra
Laboratorio de suelos y Resistencia de Materiales

ANALISIS GRANULOMETRICO

PROYECTO	Sistema Hídrico del Río Chaguana	FECHA	2	Sept	2002
Obra: Análisis Hidráulico	Localización: Prov. El Oro	Sondeo:			
Muestra: A-4 FONDO	Para : Tesis de Grado - Christian Javier Vivas				
Fuente del Material : Margen Sección Transversal A4 - Río Zapote					
Descripción del Material :					

Tamiz	Peso Parcial	% Retenido	%Retenido Acumulado	%Pasante Acumulado	Especificaciones
3"					
2 (1/2)"					
2"					
1 (1/2)"					
1"					
3/4"					
1/2"					
3/8"	20.65	2.07	2.07	97.93	
1/4"					
No. 4	64.8	6.49	8.56	91.44	
No. 6					
No. 8	90.2	9.03	17.59	82.41	
No. 10	23.05	2.31	19.90	80.10	
No. 12					
No. 16	117.7	11.79	31.69	68.31	
No. 20	138.2	13.84	45.54	54.46	
No. 30	179.6	17.99	63.53	36.47	
No. 40	209.1	20.94	84.47	15.53	
No. 50	88	8.81	93.28	6.72	
No. 60					
No. 80	47	4.71	97.99	2.01	
No. 100	10.8	1.08	99.07	0.93	
No. 200	8.9	0.89	99.97	0.03	
No.					
Fondo	0.34	0.03	100.00	0.00	
Total	998.34	100.00			

Prueba por : Julio García

Calculado por : Christian Javier Vivas



ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en ciencias de la Tierra
Laboratorio de suelos y Resistencia de Materiales

ANALISIS GRANULOMETRICO

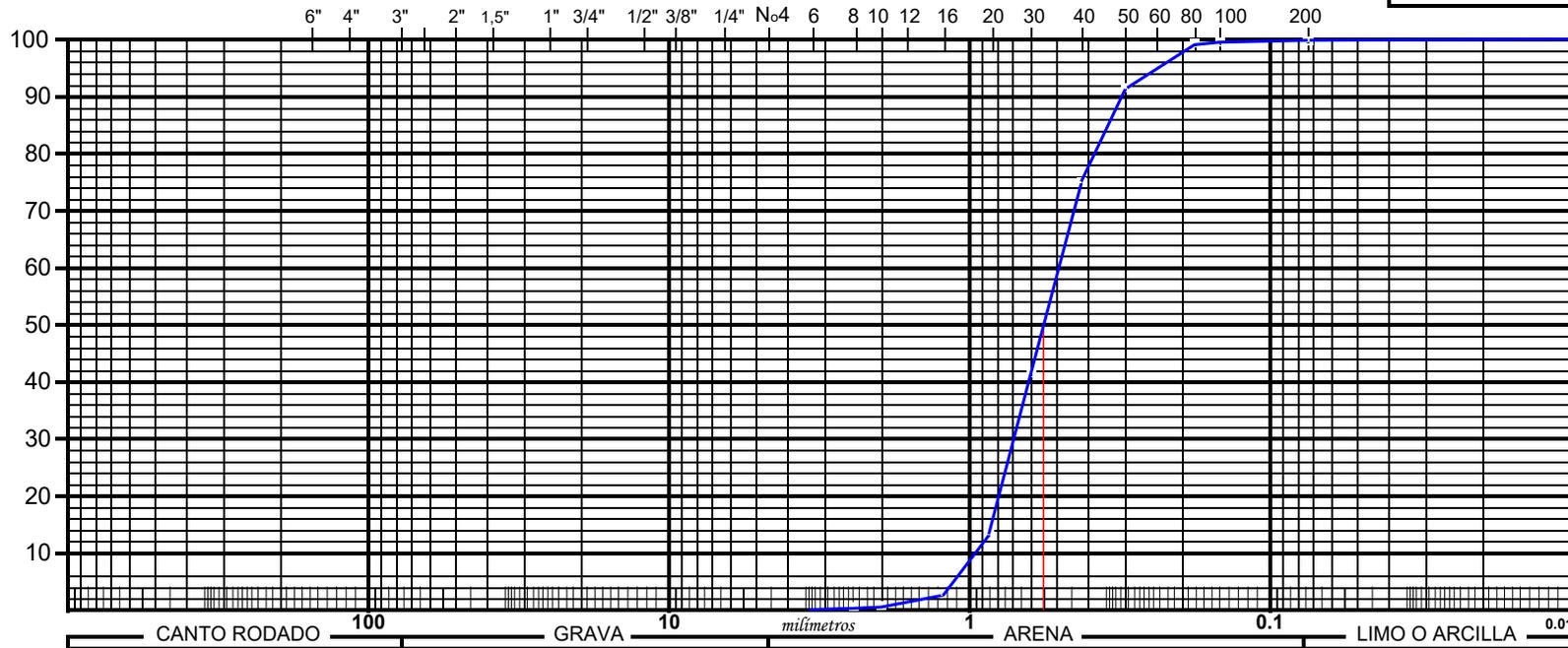
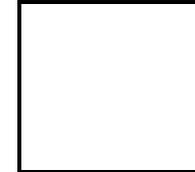
PROYECTO	Sistema Hídrico del Río Chaguana	FECHA	2	Sept	2002
Obra: Análisis Hidráulico	Localización: Prov. El Oro	Sondeo:			
Muestra: A-6 FONDO	Para : Tesis de Grado - Christian Vivas				
Fuente del Material : Fondo de la Sección Transversal A6 - Río Zapote					
Descripción del Material :					

Tamiz	Peso Parcial	% Retenido	%Retenido Acumulado	%Pasante Acumulado	Especificaciones
3"					
2 (1/2)"					
2"					
1 (1/2)"					
1"					
3/4"					
1/2"					
3/8"					
1/4"					
No. 4					
No. 6					
No. 8	0.50	0.10	0.10	99.90	
No. 10	0.60	0.12	0.22	99.78	
No. 12					
No. 16	11.20	2.26	2.48	97.52	
No. 20	53.90	10.86	13.34	86.66	
No. 30	137.90	27.78	41.12	58.88	
No. 40	167.50	33.74	74.86	25.14	
No. 50	83.90	16.90	91.76	8.24	
No. 60					
No. 80	37.00	7.45	99.21	0.79	
No. 100	2.20	0.44	99.66	0.34	
No. 200	1.60	0.32	99.98	0.02	
No.					
Fondo	0.10	0.02	100.00	0.00	
Total	496.40	100.00			

Prueba por : Julio García

Calculado por : Christian Javier Vivas

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL
Facultad de Ingeniería en ciencias de la Tierra
Laboratorio de suelos y Resistencia de Materiales
CURVA GRANULOMETRICA



MUESTRA No.	PROFUNDIDAD	W _n	WL	WP	IP	Cu	Cc	SUCS	PROYECTO :	Sistema Hídrico del Río Chaguana
A-6	Fondo del Ríc								UBICACIÓN :	Provincia de El Oro
									PERFORACIÓN No :	
									FECHA	2 Sep 2002

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en ciencias de la Tierra
Laboratorio de suelos y Resistencia de Materiales

ANALISIS GRANULOMETRICO

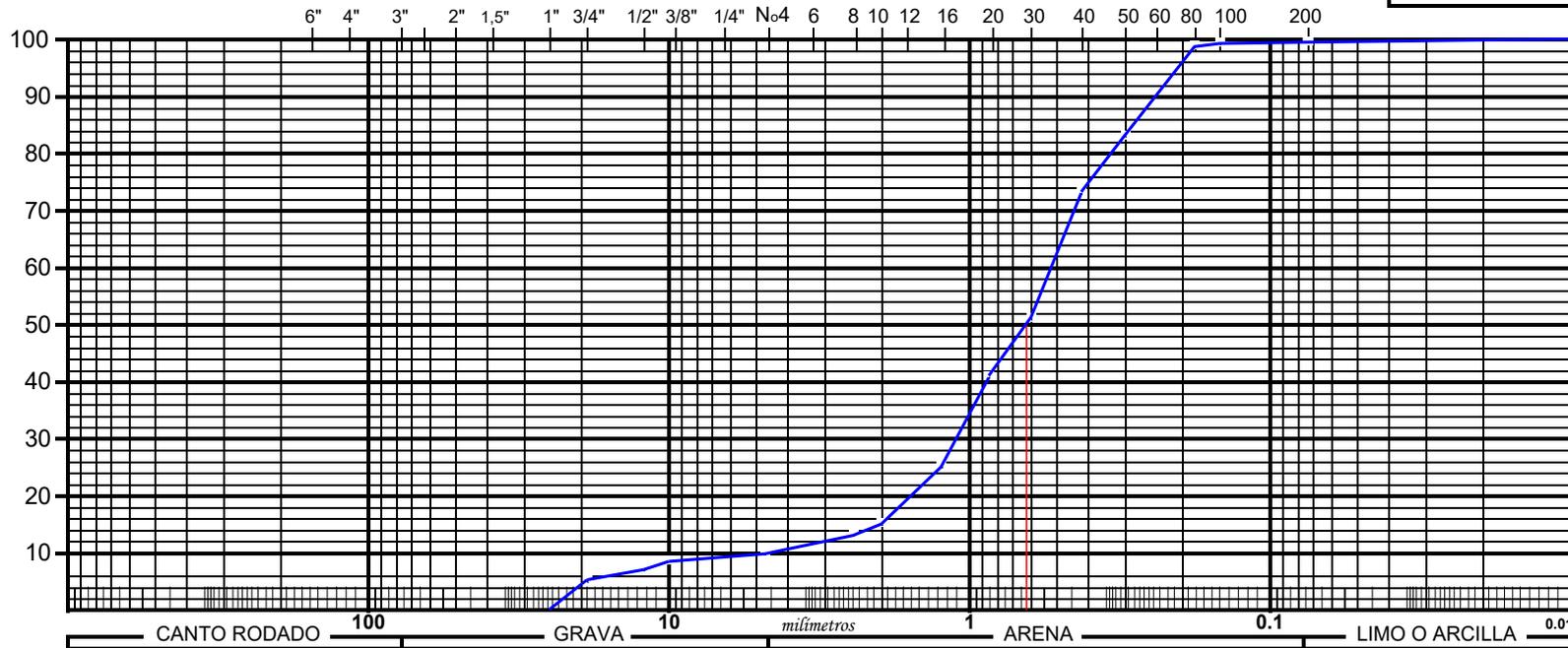
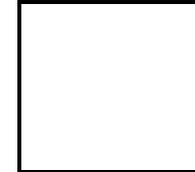
PROYECTO	Sistema Hídrico del Río Chaguana	FECHA	2	Sept	2002
Obra: Análisis Hidráulico	Localización: Prov. El Oro	Sondeo:			
Muestra: A-7 FONDO	Para : Tesis de Grado - Christian Javier Vivas				
Fuente del Material : Fondo de la Sección Transversal A7 - Río Zapote					
Descripción del Material :					

Tamiz	Peso Parcial	% Retenido	%Retenido Acumulado	%Pasante Acumulado	Especificaciones
3"					
2 (1/2)"					
2"					
1 (1/2)"					
1"					
3/4"	53	5.33	5.33	94.67	
1/2"	15.3	1.54	6.87	93.13	
3/8"	12.3	1.24	8.10	91.90	
1/4"					
No. 4	17.7	1.78	9.88	90.12	
No. 6					
No. 8	34.00	3.42	13.30	86.70	
No. 10	15.70	1.58	14.88	85.12	
No. 12					
No. 16	101.20	10.17	25.05	74.95	
No. 20	154.90	15.57	40.63	59.37	
No. 30	199.50	20.06	60.68	39.32	
No. 40	225.40	22.66	83.34	16.66	
No. 50	104.20	10.48	93.82	6.18	
No. 60					
No. 80	50.10	5.04	98.85	1.15	
No. 100	6.10	0.61	99.47	0.53	
No. 200	5.00	0.50	99.97	0.03	
No.					
Fondo	0.30	0.03	100.00	0.00	
Total	994.70	100.00			

Prueba por : Julio García

Calculado por : Christian Javier Vivas

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL
Facultad de Ingeniería en ciencias de la Tierra
Laboratorio de suelos y Resistencia de Materiales
CURVA GRANULOMETRICA



MUESTRA No.	PROFUNDIDAD	W _n	WL	WP	IP	Cu	Cc	SUCS	PROYECTO :	Sistema Hídrico del Río Chaguana
A-7	Fondo del Ríc								UBICACIÓN :	Provincia de El Oro
									PERFORACIÓN No :	
									FECHA	2 Sep 2002



ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en ciencias de la Tierra
Laboratorio de suelos y Resistencia de Materiales

ANALISIS GRANULOMETRICO

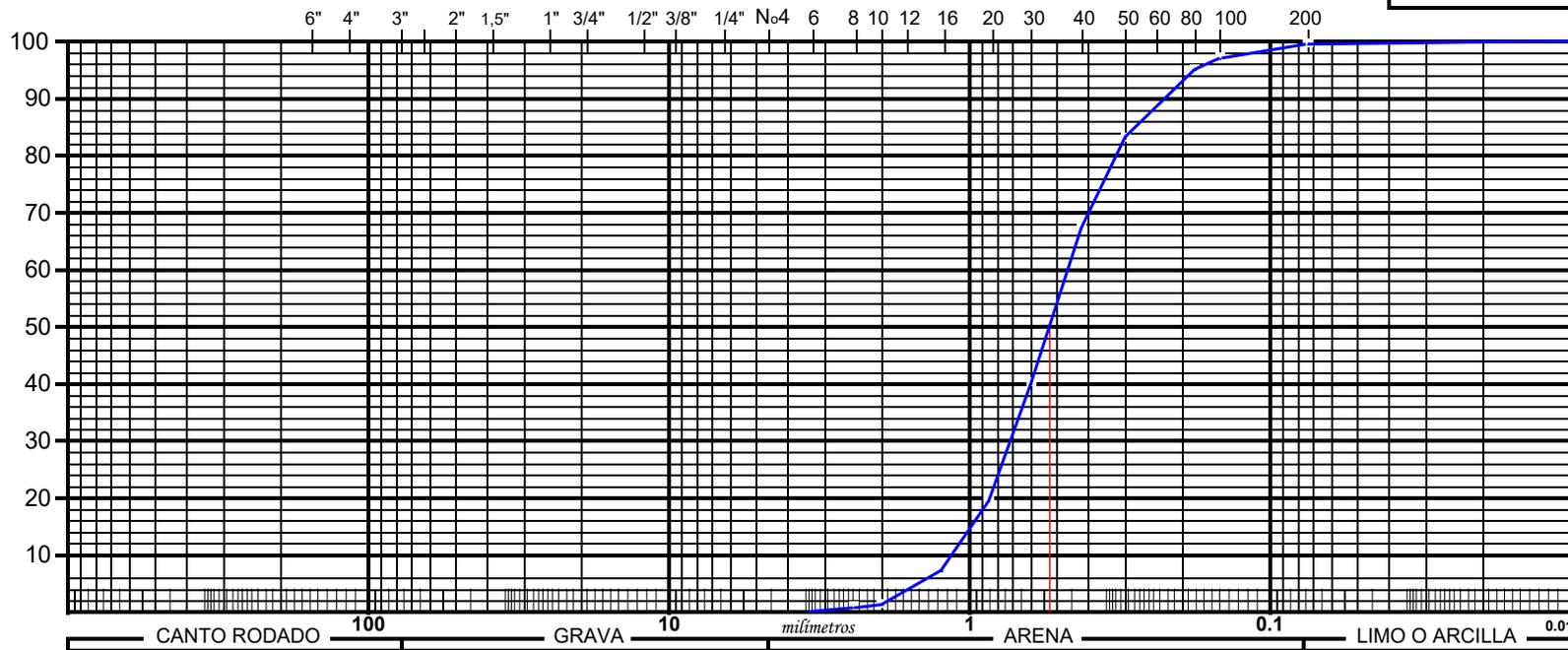
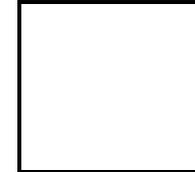
PROYECTO	Sistema Hídrico del Río Chaguana	FECHA	2	Sept	2002
Obra: Análisis Hidráulico	Localización: Prov. El Oro	Sondeo:			
Muestra: A-7 MARGEN	Para : Tesis de Grado - Christian Vivas				
Fuente del Material : Margen Sección Transversal A 7 - Río Zapote					
Descripción del Material :					

Tamiz	Peso Parcial	% Retenido	%Retenido Aculado	%Pasante Acumulado	Especificaciones
3"					
2 (1/2)"					
2"					
1 (1/2)"					
1"					
3/4"					
1/2"					
3/8"					
1/4"					
No. 4					
No. 6					
No. 8	7.70	0.85	0.85	99.15	
No. 10	5.30	0.59	1.44	98.56	
No. 12					
No. 16	57.70	6.39	7.83	92.17	
No. 20	107.50	11.91	19.74	80.26	
No. 30	183.40	20.32	40.06	59.94	
No. 40	248.20	27.50	67.55	32.45	
No. 50	144.80	16.04	83.59	16.41	
No. 60	102.20	11.32	94.92	5.08	
No. 80	18.90	2.09	97.01	2.99	
No. 100	24.40	2.70	99.71	0.29	
No. 200					
No.					
Fondo	2.60	0.29	100.00	0.00	
Total	902.70	100.00			

Prueba por : Juio García

Calculado por : Christian Javier Vivas

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL
Facultad de Ingeniería en ciencias de la Tierra
Laboratorio de suelos y Resistencia de Materiales
CURVA GRANULOMETRICA



MUESTRA No.	PROFUNDIDAD	W _n	WL	WP	IP	Cu	Cc	SUCS	PROYECTO :	Sistema Hídrico del Río Chaguana
A-7	Márgenes del Ríc								UBICACIÓN :	Provincia de El Oro
									PERFORACIÓN No :	
									FECHA	2 Sep 2002

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en ciencias de la Tierra
Laboratorio de suelos y Resistencia de Materiales

ANALISIS GRANULOMETRICO

PROYECTO	Sistema Hídrico del Río Chaguana	FECHA	2	Sept	2002
Obra: Análisis Hidráulico	Localización: Prov. El Oro	Sondeo:			
Muestra: A-11 MARGEN	Para : Tesis de Grado - Christian Vivas				
Fuente del Material : Margen Sección Transversal A11 - Río Zapote					
Descripción del Material :					

Tamiz	Peso Parcial	% Retenido	%Retenido Acumulado	%Pasante Acumulado	Especificaciones
3"					
2 (1/2)"					
2"					
1 (1/2)"					
1"					
3/4"					
1/2"					
3/8"					
1/4"					
No. 4	5.60	1.41	1.41	98.59	
No. 6					
No. 8	2.00	0.50	1.92	98.08	
No. 10	1.00	0.25	2.17	97.83	
No. 12					
No. 16	5.30	1.34	3.51	96.49	
No. 20	9.60	2.42	5.93	94.07	
No. 30	19.80	5.00	10.93	89.07	
No. 40	48.10	12.14	23.06	76.94	
No. 50	78.10	19.71	42.77	57.23	
No. 60	118.30	29.85	72.62	27.38	
No. 80	45.00	11.36	83.98	16.02	
No. 100	62.00	15.64	99.62	0.38	
No. 200	0.20	0.05	99.67	0.33	
No.					
Fondo	1.30	0.33	100.00	0.00	
Total	396.30	100.00			

Prueba por : Julio García

Calculado por : Christian Javier Vivas

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en ciencias de la Tierra
Laboratorio de suelos y Resistencia de Materiales

ANALISIS GRANULOMETRICO

PROYECTO	Sistema Hídrico del Río Chaguana	FECHA	2	Sept	2002
Obra: Análisis Hidráulico	Localización: Prov. El Oro	Sondeo:			
Muestra: A-12 MARGEN	Para : Tesis de Grado - Christian Vivas				
Fuente del Material : Margen Sección Transversal A12 - Río Zapote					
Descripción del Material :					

Tamiz	Peso Parcial	% Retenido	%Retenido Acumulado	%Pasante Acumulado	Especificaciones
3"					
2 (1/2)"					
2"					
1 (1/2)"					
1"					
3/4"					
1/2"					
3/8"					
1/4"					
No. 4					
No. 6					
No. 8	0.10	0.03	0.03	99.97	
No. 10	0.10	0.03	0.07	99.93	
No. 12					
No. 16	0.20	0.07	0.14	99.86	
No. 20	0.30	0.10	0.24	99.76	
No. 30	0.40	0.14	0.38	99.62	
No. 40	1.70	0.58	0.96	99.04	
No. 50	17.40	5.95	6.91	93.09	
No. 60					
No. 80	141.10	48.27	55.18	44.82	
No. 100	52.30	17.89	73.08	26.92	
No. 200	75.70	25.90	98.97	1.03	
No.					
Fondo	3.00	1.03	100.00	0.00	
Total	292.30	100.00			

Prueba por : Julio García

Calculado por : Christian Javier Vivas

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en ciencias de la Tierra
Laboratorio de suelos y Resistencia de Materiales

ANALISIS GRANULOMETRICO

PROYECTO	Sistema Hídrico del Río Chaguana	FECHA	2	Sept	2002
Obra: Análisis Hidráulico	Localización: Prov. El Oro	Sondeo:			
Muestra: A-13 FONDO	Para : Tesis de Grado - Christian Vivas				
Fuente del Material : Margen Sección Transversal A13 - Río Chaguana					
Descripción del Material :					

Tamiz	Peso Parcial	% Retenido	%Retenido Aculado	%Pasante Acumulado	Especificaciones
3"	106.6	8.49	8.49	91.51	
2 (1/2)"					
2"					
1 (1/2)"	230	18.32	26.81	73.19	
1"	475	37.84	64.65	35.35	
3/4"	151	12.03	76.68	23.32	
1/2"	147.8	11.77	88.46	11.54	
3/8"	63.8	5.08	93.54	6.46	
1/4"					
No. 4	38.70	3.08	96.62	3.38	
No. 6					
No. 8	17.30	1.38	98.00	2.00	
No. 10	2.20	0.18	98.18	1.82	
No. 12					
No. 16	5.80	0.46	98.64	1.36	
No. 20	4.00	0.32	98.96	1.04	
No. 30	4.60	0.37	99.32	0.68	
No. 40	4.10	0.33	99.65	0.35	
No. 50	2.70	0.22	99.86	0.14	
No. 60					
No. 80	1.10	0.09	99.95	0.05	
No. 100	0.20	0.02	99.97	0.03	
No. 200	0.20	0.02	99.98	0.02	
No.					
Fondo	0.20	0.02	100.00	0.00	
Total	1255.30	100.00			

Prueba por : Julio García

Calculado por : Christian Javier Vivas



ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en ciencias de la Tierra
Laboratorio de suelos y Resistencia de Materiales

ANALISIS GRANULOMETRICO

PROYECTO	Sistema Hídrico del Río Chaguana	FECHA	2	Sept	2002
Obra: Análisis Hidráulico	Localización: Prov. El Oro	Sondeo:			
Muestra: A-16 FONDO	Para : Tesis de Grado - Christian Vivas				
Fuente del Material : Margen Sección Transversal A16 - Río Chaguana					
Descripción del Material :					

Tamiz	Peso Parcial	% Retenido	%Retenido Acumulado	%Pasante Acumulado	Especificaciones
3"					
2 (1/2)"					
2"					
1 (1/2)"					
1"					
3/4"	35.3	3.13	3.13	96.87	
1/2"	110.4	9.79	12.91	87.09	
3/8"	154.4	13.69	26.60	73.40	
1/4"					
No. 4	182.20	16.15	42.75	57.25	
No. 6					
No. 8	83.00	7.36	50.11	49.89	
No. 10	19.20	1.70	51.81	48.19	
No. 12					
No. 16	14.20	1.26	53.07	46.93	
No. 20	74.70	6.62	59.69	40.31	
No. 30	95.10	8.43	68.12	31.88	
No. 40	122.40	10.85	78.97	21.03	
No. 50	106.40	9.43	88.40	11.60	
No. 60	92.50	8.20	96.60	3.40	
No. 80	21.60	1.91	98.51	1.49	
No. 100	16.40	1.45	99.96	0.04	
No. 200					
No.					
Fondo	0.40	0.04	100.00	0.00	
Total	1128.20	100.00			

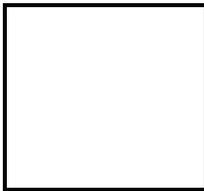
Prueba por : Julio García

Calculado por : Christian Javier Vivas

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en ciencias de la Tierra
Laboratorio de suelos y Resistencia de Materiales

ANALISIS GRANULOMETRICO



PROYECTO	Sistema Hídrico del Río Chaguana	FECHA	2	Sept	2002
Obra: Análisis Hidráulico	Localización: Prov. El Oro	Sondeo:			
Muestra: A-17 FONDO	Para : Tesis de Grado - Christian Vivas				
Fuente del Material : Margen Sección Transversal A17 - Río Chaguana					
Descripción del Material :					

Tamiz	Peso Parcial	% Retenido	%Retenido Aculado	%Pasante Acumulado	Especificaciones
3"					
2 (1/2)"					
2"					
1 (1/2)"					
1"					
3/4"					
1/2"					
3/8"					
1/4"					
No. 4	5.40	0.54	0.54	99.46	
No. 6					
No. 8	53.60	5.36	5.90	94.10	
No. 10	38.50	3.85	9.76	90.24	
No. 12					
No. 16	222.10	22.23	31.98	68.02	
No. 20	200.40	20.05	52.04	47.96	
No. 30	165.30	16.54	68.58	31.42	
No. 40	144.10	14.42	83.00	17.00	
No. 50	94.20	9.43	92.42	7.58	
No. 60					
No. 80	65.20	6.52	98.95	1.05	
No. 100	6.30	0.63	99.58	0.42	
No. 200	3.90	0.39	99.97	0.03	
No.					
Fondo	0.30	0.03	100.00	0.00	
Total	999.30	100.00			

Prueba por : Julio García

Calculado por : Christian Javier Vivas



ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en ciencias de la Tierra
Laboratorio de suelos y Resistencia de Materiales

ANALISIS GRANULOMETRICO

PROYECTO	Sistema Hídrico del Río Chaguana	FECHA	2	Sept	2002
Obra: Análisis Hidráulico	Localización: Prov. El Oro	Sondeo:			
Muestra: A-18 FONDO	Para : Tesis de Grado - Christian Vivas				
Fuente del Material : Margen Sección Transversal A 18 - Río Chaguana					
Descripción del Material :					

Tamiz	Peso Parcial	% Retenido	%Retenido Acumulado	%Pasante Acumulado	Especificaciones
3"					
2 (1/2)"					
2"					
1 (1/2)"					
1"					
3/4"					
1/2"					
3/8"					
1/4"					
No. 4	1.00	0.10	0.10	99.90	
No. 6					
No. 8	7.10	0.72	0.83	99.17	
No. 10	3.50	0.36	1.18	98.82	
No. 12					
No. 16	35.40	3.61	4.79	95.21	
No. 20	93.20	9.50	14.29	85.71	
No. 30	186.60	19.02	33.31	66.69	
No. 40	242.50	24.71	58.02	41.98	
No. 50	129.60	13.21	71.23	28.77	
No. 60					
No. 80	134.60	13.72	84.95	15.05	
No. 100	59.30	6.04	90.99	9.01	
No. 200	84.50	8.61	99.60	0.40	
No.					
Fondo	3.90	0.40	100.00	0.00	
Total	981.20	100.00			

Prueba por : Julio García

Calculado por : Christian Vivas

BIBLIOGRAFÍA

1. BONINI J. y GUZMAN E., “Estimación de Caudales y Sedimentos en la Cuenca Hidrográfica del Río Chaguana, empleando el Modelo Matemático AVSWAT”, 2003
2. CHOW, V, T, “Hidrología aplicada”, Edición Mc Grill Hill, 2000
3. CUERPO DE INGENIEROS DE LOS ESTADOS UNIDOS DE AMERICA (USACE), “Evaluación de los Recursos de Agua del Ecuador”, 1998
4. CUERPO DE INGENIEROS DE LOS ESTADOS UNIDOS DE AMERICA (USACE), Hydrologic Engineering Center – River Analysis System, “Theoretical Basis of One-Dimensional Flow Calculation”, Capítulo 2, 2002
5. DEPARTAMENTO DE EXPLORACION GEOLOGICA DE LOS ESTADOS UNIDOS (USGS), “Guía para la Selección de los Coeficientes de Rugosidad de Manning para Canales Naturales y Llanuras de Inundación”, Publicación 2339, 1996

6. HEC 20, "Stream Stability at Highway Structures", 2nd Edición – Versión Métrica, 1995

7. INAMHI, Anuarios hidrológicos, meteorológicos

8. SILVA GUSTAVO, "Notas de Ingeniería Hidráulica", 2002

9. SIMONS DARYL B. PH.D.,P.E, SENTURK FUAT, PH.D., "Sediment Transport Technology – Water and Sediment Dynamics", 1992