

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE NICARAGUA
UNAN – MANAGUA
RECINTO UNIVERSITARIO RUBÉN DARÍO
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍAS
DEPARTAMENTO DE CONSTRUCCIÓN
INGENIERÍA CIVIL.



MONOGRAFÍA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL



TÍTULO:

“Evaluación hidráulica del tramo en estudio puente peatonal Miguel Bonilla - UNICIT del cauce revestido Jocote Dulce del Distrito I de la ciudad de Managua, 2016”.

Tutor:

Dr. Víctor Tirado Picado.

Autores:

-  Br. Heydy Junieth Carballo Galan.
-  Br. Jeffer Josué García Garmendia.

Managua, Nicaragua

Febrero 2017.

 **INDICE GENERAL**

| | |
|---|-----------|
| <i>Dedicatoria</i> | VI |
| <i>Agradecimientos</i> | VIII |
| I. ASPECTOS GENERALES | 1 |
| 1.1. Introducción..... | 1 |
| 1.2. Antecedentes..... | 3 |
| 1.3. Justificación..... | 4 |
| 1.4. Planteamiento del problema..... | 5 |
| 1.5. Objetivos..... | 6 |
| 1.5.1. Objetivo General..... | 6 |
| 1.5.2. Objetivos Específicos..... | 6 |
| 1.6. Marco teórico..... | 7 |
| 1.6.1. Propiedades Geotécnicas del suelo..... | 7 |
| 1.6.1.1. Peso Volumétrico..... | 7 |
| 1.6.1.2. Densidad..... | 7 |
| 1.6.1.3. Absorción..... | 8 |
| 1.6.1.4. Granulometría..... | 9 |
| 1.6.1.5. Plasticidad de los suelos..... | 12 |
| 1.6.2. Estudio topográfico..... | 14 |
| 1.6.2.1. Curvas de Nivel..... | 14 |
| 1.6.2.2. Calculo de pendientes..... | 15 |
| 1.6.3. Parámetros de estudios hidrológicos e hidráulicos..... | 16 |
| 1.6.3.1. Componente hidrológico..... | 16 |
| 1.6.3.2. Componente hidráulico..... | 19 |
| 1.6.4. Modelo de aplicación HEC – HMS y HEC- RAS..... | 22 |
| 1.6.4.1. Componentes del modelo HEC- HMS..... | 22 |
| 1.6.5. Metodología..... | 26 |
| 1.6.5.1. Área de estudio..... | 26 |
| 1.6.5.2. Tipo de investigación..... | 26 |
| 1.6.5.3. Tiempo de ejecución..... | 26 |
| 1.6.5.4. Universo..... | 26 |
| 1.6.5.5. Muestra..... | 26 |
| 1.6.5.6. Técnicas de recopilación de datos..... | 27 |
| 1.6.5.7. Metodología..... | 27 |
| II. DESARROLLO | 28 |

| | |
|---|-----------|
| 2.1. Pruebas de Granulometría y levantamiento topográfico..... | 28 |
| 2.1.1. Estudio de Suelo..... | 28 |
| 2.1.1.1. Recolección y muestreo de suelo en la zona de estudio..... | 28 |
| 2.1.1.2. Procedimientos sondeo Manual..... | 28 |
| 2.1.1.3. Determinación del contenido de humedad..... | 29 |
| 2.1.1.4. Determinación del análisis granulométrico (Método mecánico)..... | 31 |
| 2.1.1.5. Determinación de los límites de Atterberg..... | 32 |
| 2.1.1.6. Resultados obtenidos en el laboratorio de suelo..... | 35 |
| 2.1.1.7. Análisis de resultado de las pruebas de laboratorio..... | 37 |
| 2.1.2. Estudió Topográfico..... | 38 |
| 2.1.2.1. Análisis y resultado del levantamiento Topográfico..... | 38 |
| 2.2. Parámetros hidrológicos e hidráulicos..... | 40 |
| 2.2.1. Parámetros Hidrológicos..... | 40 |
| 2.2.1.1. Estadística hidrológica..... | 40 |
| 2.2.1.2. Diseño de curvas IDF..... | 45 |
| 2.2.1.3. Características de la Cuenca..... | 46 |
| 2.2.1.4. Características de las Subcuencas..... | 49 |
| 2.2.2. Parámetros Hidráulicos..... | 51 |
| 2.2.2.1. Topografía..... | 51 |
| 2.2.2.2. Rugosidad del Cauce..... | 51 |
| 2.2.2.3. Determinación de la pendiente del fondo del cauce principal..... | 52 |
| 2.3. Modelación Hidrológica – Modelo HEC-HMS..... | 53 |
| 2.3.1. Modelo de cuenca..... | 53 |
| 2.3.2. Modelo Meteorológico..... | 54 |
| 2.3.3. Creación del modelo meteorológico..... | 56 |
| 2.3.4. Especificaciones de Control..... | 57 |
| 2.3.5. Simulación Hidrológica..... | 58 |
| 2.3.6. Resultados de la Modelación Hidrológica..... | 59 |
| 2.4. Modelación Hidráulica – Modelo HEC-RAS..... | 64 |
| 2.4.1. Resultados de la Modelación Hidráulica..... | 65 |
| III. ANALISIS Y RESULTADOS. | 69 |
| IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES..... | 70 |
| 4.1. Conclusiones..... | 70 |
| 4.2. Recomendaciones..... | 71 |
| BIBLIOGRAFÍA..... | 72 |
| ANEXOS..... | 73 |

INDICE DE TABLAS.

| | |
|--|----|
| 1. Tabla 1. Planteamiento del problema_____ | 5 |
| 2. Tabla 2. Clasificación del relieve del terreno_____ | 18 |
| 3. Tabla 3. Pendientes en canales_____ | 20 |
| 4. Tabla 4. Coeficientes de Manning_____ | 22 |
| 5. Tabla 5. Elementos Hidrológicos_____ | 24 |
| 6. Tabla 6. Características Físicas, mecánicas de las Muestras de Suelo_____ | 36 |
| 7. Tabla 7. Referencias levantamiento topográfico_____ | 38 |
| 8. Tabla 8. Intensidades Máximas de Precipitación_____ | 42 |
| 9. Tabla 9. Intensidades de Diseño_____ | 45 |
| 10. Tabla 10. Características físicas de las subcuencas_____ | 49 |
| 11. Tabla 11. Valor de CN para usos de suelo_____ | 50 |
| 12. Tabla 12. Parámetros hidrológicos_____ | 50 |
| 13. Tabla 13. Coeficientes de Manning para canales revestidos_____ | 52 |
| 14. Tabla 15. Parámetros tránsito Muskingum_____ | 53 |
| 15. Tabla 16. Tormenta de diseño_____ | 56 |
| 16. Tabla 16. Caudal punta_____ | 60 |
| 17. Tabla 17. Coordenadas sección extrema aguas abajo_____ | 65 |
| 18. Tabla 18. Resumen de resultados por sección_____ | 68 |

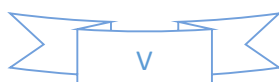
INDICE DE GRAFICOS.

| | |
|---|----|
| 1. Grafico 1. Curva Granulométrica_____ | 9 |
| 2. Grafico 2. Curvas IDF_____ | 17 |
| 3. Grafico 3. Curvas IDF ajustadas, Aeropuerto (Managua). Periodo: 1971 – 2015_____ | 46 |
| 4. Grafico 4. Hietograma de la tormenta del proyecto_____ | 56 |
| 5. Grafico 5. Hidrograma sub-cuenca -1_____ | 61 |
| 6. Grafico 6. Hidrograma de la unión de corriente-1_____ | 62 |
| 7. Grafico 7. Hidrograma tramo de corriente-1_____ | 63 |
| 8. Grafico 8: sección extrema aguas abajo del cauce_____ | 66 |

INDICE DE FIGURAS.

| | |
|--|----|
| 1. Mapa de macro localización y micro localización del sitio en estudio_____ | 1 |
| 2. Hec-Hms (Interfaz de usuario)_____ | 25 |
| 3. Cuenca Jocote Dulce en Hec-Hms_____ | 54 |
| 4. Editor de componentes del modelo meteorológico_____ | 57 |

| | |
|--|----|
| 5. Pantalla Basins para agregar cada subcuenca | 57 |
| 6. Control de especificaciones en Hec-Hms | 58 |
| 7. Simulación en el explorador de cuenca | 59 |
| 8. Resultados modelación en Hec-Hms | 60 |
| 9. Resumen de resultado subcuenca-1 | 61 |
| 10. Resumen de resultados de la unión de corriente-2 | 62 |
| 11. Resumen de resultados en el tramo de corriente-1 | 63 |
| 12. Visita de campo al tramo de estudio | 64 |



Dedicatoria.

A **Dios** el creador de todo cuanto existe, el que me ha dado el don de la vida y la salud, el que ha estado a mi lado en todo momento dándome las fuerzas necesarias para continuar luchando día a día y seguir adelante, guiándome en todo momento principalmente en los tiempos difíciles.

Con Amor a mi mama María Lourdes Galán Hernández, quien ha estado conmigo en todo momento de mi vida, apoyándome, aconsejándome, dándome serenidad en tiempos de dificultad, por cuidarme con su amor y cariño velando por mi salud, por haberse esforzado por darme una carrera para mi futuro, por creer en mí. A mis hermanos menores Kevin José Carballo Galán y Alison Esmeralda Madriz Galán quienes han estado a mi lado, siempre atentos ante cualquier problema que se me pueda presentar, siendo motivo de superación y alentándome a ser siempre un buen ejemplo para ellos.

A la generación de estudiantes de Ingeniería civil 2012-2016, por su apoyo incondicional.
A todos y cada uno de mis familiares y amigos que me animaron todo el tiempo.

A cada uno de los Maestros y Profesores quienes principalmente tuve la oportunidad conocer y de los cuales aprendí todas esas enseñanzas que hoy han hecho de mí una profesional con futuro.

Por ultimo pero no menos importante a compañeros y amigos que siempre llevare en el corazón, “Emilio Olivero Morales, Lubi Torrez, Josué Gonzales”.

Heydy Junieth Carballo Galán.

Dedicatoria.

Primeramente a **Dios** Todopoderoso por darme la vida cada día, la sabiduría en cada asignatura, y las fuerzas para seguir adelante y no haberme detenido en medio de las circunstancias contrarias.

A mi madre María Esperanza Garmendia Cerda, quien fue esa persona que en todo momento confió en que podía terminar esta carrera y nunca se apagaron sus esperanzas en verme un día con mi carrera universitaria terminada. Con todo orgullo puedo decir que usted es mi madre y hoy principalmente gracias a usted soy quien soy: un profesional formado. Infinitas gracias madre, nunca le podré pagar todo lo que hizo por mí con tal que yo saliera adelante.

A mis hermanos: Jennifer García, Jenestin García y Luis García por su apoyo y aliento en la culminación de esta etapa de mi vida.

A mi abuela: Sra. Juana Cerda quien me brindo todo su apoyo desde mi infancia.

A mis sobrinas: Tatiana Guerra y Norma Guerra por ser parte importante en mi vida.

Jeffer Josué García Garmendia

Agradecimientos.

A **Dios** nuestro padre amado por el amor y cuidado que nos da día a día, gracias por el valor y la fortaleza de poder permitirnos culminar hoy, nuestra carrera profesional.

A mi Madre por habernos dado su amor, comprensión y su apoyo incondicionalmente en el transcurso de este caminar.

Al tutor Dr.ing. Victor Rogelio Tirado Picado, quien estuvo siempre a la disposición de orientarnos y dirigirnos en cualquier dificultad.

A maestros y amigos, porque a través de sus consejos, conocimientos y sabiduría que Dios les ha profesado han logrado formar en mí una profesional.

Agradezco muy especialmente a todas las personas que han estado cerca de mí, animándome a seguir adelante y a aquellas que de alguna manera estuvieron involucradas en el proceso de la realización de esta tesis.

Heydy Junieth Carballo Galán

Agradecimientos.

Agradezco primeramente al Dios Todopoderoso por darme la vida, las fuerzas, la sabiduría y la aptitud optimista siempre para salir adelante a pesar de las circunstancias adversas que se presentaron en todo este camino en esta carrera universitaria.

A mi madre María Esperanza Garmendia Cerda por darme siempre ese ejemplo de perseverancia aun en los momentos duros que se presentaron durante todo este tiempo.

A mi padrasto Heriberto Reymundo Flores Morales por ser como un padre y por brindarme sus buenos consejos para seguir adelante en esta etapa de mi vida.

A mi tutor: Dr.ing. Victor Tirado por su apoyo y tiempo en cada consulta aportando así conocimiento muy valioso para la ejecución de esta investigación.

A los docentes de cada asignatura de mi carrera, quienes fueron partícipes de mi formación académica como ingeniero civil.

A mi compañera y amiga Heydi Junieth Carballo Galan por haber sido parte de la realización de esta investigación monográfica. A la generación 2011-2015 de estudiante de ingeniería civil de la UNAN-Managua por haber sido parte esta gran etapa de mi vida y haberme ayudado cuando a veces más lo necesitaba, entre esta generación de estudiantes principalmente figuran: Denis Sandoval, Eduardo Duarte, Yasser López, Lester López, Wilmor Arce, Nelson Murillo, compañeros que forjaron en gran manera mi perspectiva del aprendizaje en una carrera universitaria.

Jeffer Josué García Garmendia

I. ASPECTOS GENERALES.

1.1. Introducción

El cauce revestido Jocote Dulce del Distrito I de la ciudad de Managua se encuentra localizado según (Villachica, 2016) en el sistema de proyección UTM zona 16 y con las siguientes coordenadas (Este: 579143.661, Norte: 1338424.30), a una altura promedio de 214 metros sobre el nivel medio del mar. Presentando los límites siguientes: limita al sur con la Comarca Jocote Dulce y las Viudas, al Norte con la reserva natural de la laguna de Tiscapa en la que descarga sus aguas, al Este con el Distrito I y al Oeste con el Distrito III. El tramo en estudio está comprendido del puente peatonal Miguel Bonilla hacia la UNICIT (Ver figura 1).

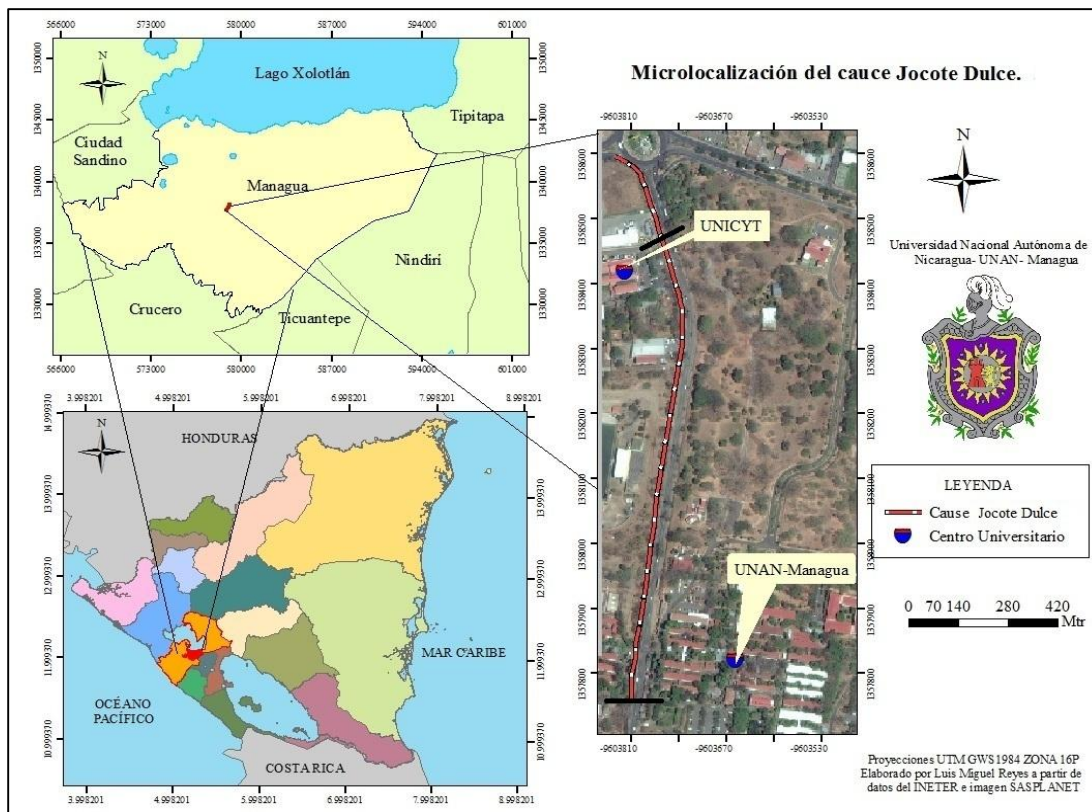


Figura 1. Mapas de macro localización y micro localización del sitio en estudio.

En el aprovechamiento del recurso hídrico los estudios de inundabilidad hacen parte importante de la planificación hidrológica para el diseño de las obras de protección contra inundaciones, uno de los problemas más peligrosos y potencialmente perjudiciales que afectan las municipalidades urbanas y rurales es el control y manejo del drenaje de aguas pluviales. Un inadecuado drenaje de aguas pluviales puede conllevar a inundaciones y la pérdida de servicios básicos a la población. Las precipitaciones desde hace algún tiempo,

han venido siendo objeto de laboriosos estudios y análisis a fin de obtener condiciones favorables en el drenaje planificado, estas condiciones deben estar encaminadas a controlar peligros de inundaciones.

En el presente trabajo se realizó las actividades y metodología que se empleara para llevar a cabo la Modelación Hidrológica e Hidráulica del tramo puente peatonal Miguel Bonilla hacia la UNICIT, utilizando la aplicación del Modelo HEC – HMS y HEC- RAS, en la actualidad estos modelos bidimensionales empiezan a utilizarse también para obtener una mejor descripción del flujo y del campo de velocidades de dicho flujo, el propósito de la modelación es determinar el caudal de diseño para un periodo de retornó de 15 años y determinar las condiciones críticas de diseño del tramo en estudio.

1.2. Antecedentes.

La ciudad de Managua contiene diferentes cuencas en las cuales el drenaje pluvial ha merecido la atención de hidráulicos e hidrólogos como un problema técnico muy importante. El distrito I está conformado por cauces revestidos y sin revestir que recorren de sur a norte, de los cuales la mayoría desembocan en la laguna de Tiscapa, entre ellos tenemos el cauce de santo domingo y el de Jocote Dulce según (Managua, 2016) en este distrito existen 10 micropresas; entre ellas la micropresa los gauchos que protege la laguna de Tiscapa, micropresa los Duartes oriental, los Duarte occidental, cementerio, pedagógico, experimental, INAA, villa fontana, barricada y santo Domingo.

La Alcaldía de Managua ha identificado 44 puntos de mayor riesgo por inundaciones, en su mayoría barrios y asentamientos y en donde habitan al menos unas 10,000 personas, según un informe municipal el 47 % de los 157 asentamientos del municipio de Managua están ubicados en zonas inundables y otro 44 % junto a un cauce, condiciones que los hacen muy vulnerables a las lluvias. (Villachica, 2016)

El cauce revestido Jocote Dulce fue revestido en la década de los 90 según (Villachica, 2016) con una longitud de revestimiento de 1000 metros aproximadamente que inician de la universidad Nacional Autónoma de Nicaragua UNAN – MANAGUA hasta finalizar al RURMA. En esta zona de estudio existen barrios y asentamientos que se fueron extendiendo desordenadamente, asentándose sobre fallas geológicas, en terrenos bajos sujetos a inundación y junto a cauces por donde, desde las alturas del Crucero bajan corrientes a gran velocidad provenientes de dicho municipio, corrientes que atraviesan las comarcas jocote dulce y comarca las viudas para luego desembocar al cauce en estudio aunque no existen hechos históricos de desborde del cauce Miguel Bonilla pero si existe inundaciones aguas abajos (zonas bajas del distrito) causados por el caudal que atraviesa por dicho cauce provenientes de la parte sur del cauce en estudio.

1.3. Justificación.

Una situación natural que produce daño al hombre directamente e indirectamente es la precipitación pluvial excesiva no controlada, llevándose la capa vegetal de sus suelos cultivados o destruyendo sus hogares por inundación. El distrito I de la capital tiene aún un drenaje de aguas pluviales deficiente que permite que partes de los barrios (Barrio Jonatán González, Barrio Hialeah IV etapa) se inunden debido al caudal provenientes de la subcuenta sur de Managua dicho caudal atraviesa el cauce revestido en la Miguel Bonilla otros de los factores que causa inundaciones se debe porque el cauce no se encuentra en su totalidad revestido ocasionando que el flujo que atraviesa dicho canal erosione el suelo provocando mayor facilidad de inundación o desborde del flujo.

Es esta la razón por la que se evaluó el tramo (puente peatonal Miguel Bonilla hacia la UNICIT) del cauce Jocote Dulce ubicado en el distrito I de Managua, para obtener un diagnóstico sobre la capacidad de flujo que puede trasladarse por dicho cauce, que sección sería viable de acuerdo a su capacidad. Para esto se utilizó herramientas, parámetros y modelos de estudios entre ellos los hidrológicos e hidráulicos del área en estudio y así determinar las zonas más vulnerables a peligros de inundación con el propósito de evitar pérdidas humanas y daños materiales en cada una de las viviendas cercanas al cauce en estudio (Barrios Hialeah IV etapa y Jonatán González).

La importancia de este estudio radica en dejar evaluada cierta parte de todo este tramo de cauce, ya que iniciado un criterio se pudo continuar el estudio a profundidad, el cauce no presenta de antecedentes por parte de la Alcaldía de Managua, por lo tanto que este estudio Monográfico actuaría como un punto de partida para continuar otro tramo de este mismo cauce de manera que la evolución sea general, quedando así un diagnóstico más preciso.

1.4. Planteamiento del problema.

Principales puntos críticos o sectores en condición de vulnerabilidad y riesgos ante la ocurrencia de periodos lluviosos intensos y sistemáticos, Barrio Jonatán González: presenta riesgo de inundación ante las fuertes lluvias, 101 familias con un total de 485 personas en situación de riesgo y el Barrio Hialeah IV etapa: presenta riesgo de desbordamiento de la presa ante lluvias fuertes, 30 familias y un total de 150 personas en situación de riesgo. (Managua, 2016)

| Problema | Causa | Efecto |
|--|--|---|
| Terrenos bajos | Sujetos a inundación | El agua se introduce en las viviendas ocasionando pérdidas materiales. |
| Erosión de suelo y desbordamiento de nivel de agua | El cauce no se encuentra revestido totalmente. | El agua se introduce en las viviendas cercanas al cauce , provocando pérdidas económicas en sus hogares |
| Los habitantes cercanos al cauce depositan basura | Acumulación de desechos sólidos e inorgánicos | Principal factor que hace que Managua sucumba ante las lluvias torrenciales, porque en la medida en que depositamos plásticos, etc. Eso se va convirtiendo en una trampa letal para la ciudad |
| Cambio climático | Intensas lluvias que en los dos últimos años según registros del INETER han sobrepasado sus límites normales en Managua. | Inundaciones en los barrios de Managua, pérdidas económicas en los hogares de las personas afectadas, brotes de enfermedades. |

Tabla No.1 Planteamiento del problema.
Fuente: Elaboración propia. (2016).

1.5. Objetivos.

1.5.1. Objetivo General.

Evaluar hidráulicamente el tramo en estudio puente peatonal Miguel Bonilla - UNICIT del cauce revestido Jocote Dulce del distrito I de la ciudad de Managua.

1.5.2. Objetivos Específicos.

1. Realizar las pruebas de granulometría y levantamiento topográficos del tramo en estudio.
2. Determinar los parámetros hidrológicos e hidráulicos del sitio de estudio para la modelación.
3. Modelar utilizando la aplicación HEC – HMS con el propósito de determinar el caudal de diseño del tramo en estudio.
4. Modelar utilizando la aplicación HEC- RAS para determinar las condiciones críticas de diseño del tramo en estudio.

1.6. Marco teórico.

1.6.1. Propiedades Geotécnicas del suelo.

Las propiedades geotécnicas del suelo, como la distribución del tamaño del grano, la plasticidad, la compresibilidad y la resistencia por cortante, pueden ser determinadas mediante apropiadas pruebas de laboratorio. (M.Das, 1999)

1.6.1.1.Peso Volumétrico.

Se denomina peso volumétrico de un suelo (γ) al peso de dicho suelo contenido en la unidad de volumen, y generalmente se expresan en kg/m^3 . Se denomina peso volumétrico seco y suelto ($\gamma_{s.s.}$) de un suelo al peso volumétrico aparente de él, tomando el peso del mismo previamente cuarteado y secado en un horno a peso constante. El peso volumétrico aparente se refiere al considerar el volumen de los vacíos formando parte del suelo. Para determinar el peso volumétrico seco y suelto de un suelo se coloca el material (que ha sido cuarteado y secado) dentro de un recipiente de volumen conocido, llenándolo y enrasándolo, sin apretarlo, con una regla, inmediatamente se pesa, y restando el peso del recipiente se obtiene el peso del material, que dividido entre el volumen del recipiente proporcionara el dato del peso volumétrico seco y suelto ($\gamma_{s.s.}$) del suelo. La principal aplicación de este dato está en la conversión de pesos de material a volúmenes y viceversa. (Badillo, 2005)

1.6.1.2.Densidad.

La densidad absoluta de un cuerpo es la masa de dicho cuerpo contenida en la unidad de volumen, sin incluir sus vacíos. La densidad aparente es la masa de un cuerpo contenida en la unidad de volumen, incluyendo sus vacíos. La densidad relativa de un sólido es la relación de su densidad a la densidad absoluta del agua destilada a una temperatura de 4°C . Así pues en un suelo, la densidad relativa del mismo se define como la relación de la densidad absoluta o aparente promedio de las partículas que constituyen el suelo, a la densidad absoluta del agua destilada, a 4°C , que tiene un valor de 1 g/cm^3 . Se acostumbra expresar la densidad absoluta en gramos masa por centímetro cubico, y la densidad relativa queda expresada por un numero abstracto.

Expresadas en forma de ecuación se tiene

En las cuales:

Densidad absoluta $\rightarrow D_a = \frac{P_s}{V_s}$ *Ecuación 1.*

Densidad aparente $\rightarrow D_a = \frac{P_s}{V_t}$ *Ecuación 2.*

Densidad relativa $\rightarrow D_r = \frac{D_a}{D_w}$ *Ecuación 3.*

PS: Peso de la partícula sólida en gramos.

VS: Volumen de sólidos en cm³.

Vt: Volumen de sólidos más volumen de huecos, en cm³.

Dw: Densidad absoluta del agua destilada a temperatura de 4 °C, tiene valor de 1 g/cm³.

Generalmente a los materiales que contienen partículas gruesas en su mayor parte se les determina la densidad relativa aparente, y a los materiales que están formados por gran cantidad de partículas finas se les determina la densidad relativa absoluta.

1.6.1.3. Absorción.

El método se refiere a la determinación de la absorción del material en 24 horas, y se calcula mediante la siguiente ecuación:

$\%A = \frac{P_h - P_s}{P_s} \times 100$ *Ecuación 4.*

Donde:

%A: Porcentaje de humedad.

Ph: Peso húmedo del material.

Ps: Peso seco del material.

El resultado obtenido por medio de este método sirve para compararlo con el que marque la especificación correspondiente al uso que se le vaya a dar al material y saber si satisface o no la norma.

1.6.1.4. Granulometría.

El conocimiento de la composición granulométrica de un suelo grueso sirve para discernir sobre la influencia que puede tener en la densidad del material compactado. El análisis granulométrico se refiere a la determinación de la cantidad en porcentaje de los diversos tamaños de las partículas que constituyen el suelo. Para el conocimiento de la composición granulométrica de un determinado suelo existen diferentes procedimientos. Para clasificar por tamaños las partículas gruesas el procedimiento más expedito es el del tamizado.

Sin embargo, al aumentar la finura de los granos del tamizado se hace cada vez más difícil, teniendo entonces que recurrir a procedimientos por sedimentación. Conocida la composición granulométrica del material, se le representa gráficamente para formar la llamada curva granulométrica del mismo. Como tamaño de las partículas puede considerarse el diámetro de ellas cuando es indivisible bajo la acción de una fuerza moderada como la producida por un mazo ligeramente. Las características granulométricas de un suelo pueden expresarse por un término numérico indicativo de algún tamaño de grano característico y del grado de uniformidad, o bien por medio de nombres o símbolos que indiquen la fracción del suelo predominante

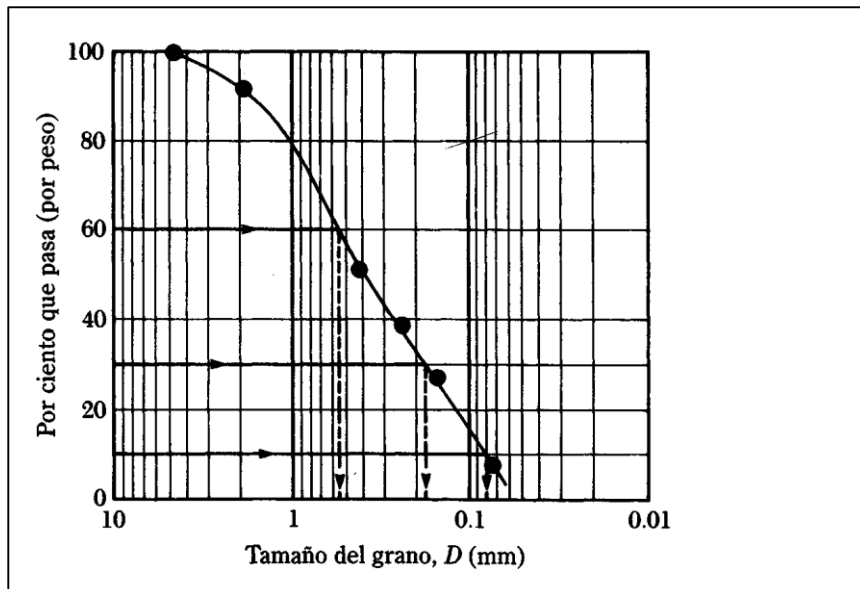


Gráfico 1. Curva Granulométrica (M.Das, 1999)

El método más conocido es el de Allen Hazen, quien descubrió que la permeabilidad de las arenas sueltas para filtros dependía de dos cantidades que llamo diámetro efectivo y coeficiente de uniformidad.

El diámetro efectivo, D10, es el tamaño de las partículas que corresponde a P=10% en la curva granulométrica, de modo que el 10% de las partículas son más finas que D10 y el 90% más gruesas. El coeficiente de uniformidad Cu se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$cu = \frac{D_{60}}{D_{10}} \quad \text{\textit{Ecuación 5.}}$$

Donde:

Cu: Coeficiente de uniformidad.

D60: Diámetro en milímetros para el cual el 60% de las partículas son menores que ese diámetro.

D10: Diámetro en milímetros para el cual el 10% de las partículas son menores que ese diámetro.

Otro valor numérico que ayuda a conocer las condiciones granulométricas de un suelo es el coeficiente de curvatura el cual se calcula de la siguiente manera:

$$Cc = \frac{(D_{30})^2}{(D_{10})(D_{60})} \quad \text{\textit{Ecuación 6.}}$$

Donde:

Cc: Coeficiente de curvatura.

D60: Diámetro en milímetros para el cual el 60% de las partículas son menores que ese diámetro.

D10: Diámetro en milímetros para el cual el 10% de las partículas son menores que ese diámetro.

D30: Diámetro en milímetros para el cual el 30% de las partículas son menores que ese diámetro

Un material bien graduado debe cumplir la condición de que el coeficiente de uniformidad sea mayor de 4 para gravas y mayor de 6 para arenas y que el coeficiente de curvatura

este comprendido entre 1 y 3. Cuando el coeficiente de uniformidad es menor que los valores indicados, eso significa que el material no es graduado sino prácticamente uniforme en el diámetro de sus partículas. (M.Das, 1999)

➤ **Procedimiento del tamizado.**

(crespo villalaz, 2004), La ejecución de este procedimiento puede explicarse claramente en la forma siguiente:

1. Se toma una muestra representativa de unos 20 Kg y se seca al sol o en horno durante unas 12 horas.
2. Por medio de cuarteos a la muestra mencionada se sacan unos 2 Kg.
3. Se pasan los 2 Kg por las mallas de 2", 1 ½", 1", ¾", 3/8", y No.4 y se pesa el retenido en cada una de dichas mallas.
4. Del material que pasa la malla No.4 se toma una cierta cantidad-generalmente 200 g- y se colocan en un vaso de agua, dejando que el material se remoje unas 12 horas.
5. Con un agitador metálico se agita el contenido del vaso durante un minuto y se vacía luego sobre la malla No.200, se vacía nuevamente el material al vaso lavando la malla en posición invertida, se agita nuevamente el agua del vaso y se repite el procedimiento tantas veces como sea necesario hasta que no se enturbie el agua al ser agitada.
6. Se elimina el agua y se pone la muestra a secar en un horno a temperatura constante.
7. Se pesa y por diferencia a los 200 g se obtiene el porcentaje que pasó la malla No.200.
8. Se vacía el material que pasó la malla No.4 y se retuvo en la No.200, para que pase lo correspondiente por las mallas No.10, 20, 40, 60, 100 y 200, pesando los retenidos.
9. Conociendo los pesos parciales retenidos desde la malla de 2" hasta la No.200 se obtienen los porcentos retenidos parciales, los porcentos retenidos acumulativos, y los porcentos pasando.

Es necesario aclarar que los retenidos parciales en cada malla deberán expresarse como porcentajes de la muestra total y para calcular los porcentos retenidos en las mallas 10 a 200 se divide el peso en gramos retenidos en cada malla entre el peso seco de la muestra

para la prueba de lavado (200 g generalmente) y se multiplica este cociente por el porcentaje que pasa la malla No.4, determinado en el análisis del material grueso. El retenido acumulativo en la malla No.10 se calcula sumando el retenido parcial en dicha malla al retenido acumulativo en la malla No.4. El retenido acumulativo en la malla No.20 es igual al retenido acumulativo en la malla No.10 más el retenido parcial en la malla No.20. De igual manera se calculan los demás retenidos acumulativos hasta la malla No.200.

1.6.1.5. Plasticidad de los suelos.

La plasticidad es la propiedad que presentan los suelos de poder deformarse, hasta cierto límite, sin romperse. Por medio de ella se mide el comportamiento de los suelos en todas las épocas. Las arcillas presentan esta propiedad en grado variable. Para conocer la plasticidad de un suelo se hace uso de los límites de Atterberg, quien por medio de ellos separo los cuatro estados de consistencia de los suelos coherentes.

Los mencionados límites son: Limite Líquido (L.L), Limite plástico (L.P), Limite de contracción (L.C), y mediante ellos se puede dar una idea del tipo de suelo en estudio.

Todos los límites de consistencia se determinan empleando suelo que pase por la malla No.40. La diferencia entre los valores del límite líquido (L.L) y del límite plástico (L.P) da el llamado índice plástico (I.P) del suelo. Los límites líquidos y plásticos dependen de la cantidad y tipo de arcilla del suelo, pero el índice plástico depende generalmente de la cantidad de arcilla. Cuando no se puede determinar el límite plástico de un suelo se dice que es no plástico (N.P), y en este caso el índice plástico es igual a cero. El índice de plasticidad indica el rango de humedad a través del cual los suelos con cohesión tienen propiedades de un material plástico. (crespo villalaz, 2004)

➤ **Limite Líquido.**

El límite líquido se define como el contenido de humedad expresado en porcentaje con respecto al peso seco de la muestra, con el cual el suelo cambia del estado líquido al plástico. De acuerdo con esta definición, los suelos plásticos tienen en el límite líquido una resistencia muy pequeña al esfuerzo de corte, pero definida y según Atterberg es de 25 gr/cm². La cohesión de un suelo en el límite líquido es prácticamente nula.

El límite líquido se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$L.L = \frac{P_h - P_s}{P_s} \times 100 = \frac{P_w}{P_s} \times 100 \quad \text{Ecuación 7.}$$

En la que:

L.L.: Limite liquido en porcentaje.

Ph: Peso de la muestra húmeda en gramos.

Ps: Peso de la muestra seca en gramos.

Pw: Contenido de agua en la muestra en gramos.

➤ **Limite plástico.**

El limite plástico (L.P) se define como el contenido de humedad, expresado en porcentaje con respecto al peso seco de la muestra secada al horno, para el cual los suelos cohesivos pasan de un estado semisólido a un estado plástico.

El límite plástico se determina de la siguiente manera:

$$L.P = \frac{P_h - P_s}{P_s} \times 100 = \frac{P_w}{P_s} \times 100 \quad \text{Ecuación 8.}$$

En la que:

L.P: Humedad correspondiente al límite plástico en %.

Ph: Peso de los trocitos de filamentos húmedos en gramos.

Ps: Peso de los trocitos de filamentos secos en gramos.

Pw: Peso del agua contenido en los filamentos pesados en gramos.

El limite plástico es muy afectado por el contenido orgánico del suelo, ya que eleva su valor sin aumentar simultáneamente el limite líquido. Por tal razón los suelos con contenidos orgánicos tienen bajos índices plásticos y limites líquidos altos. (Badillo, 2005).

1.6.2. Estudio topográfico.

(Navarro, 2011), un levantamiento topográfico constituye el conjunto de operaciones que tiene por objeto conocer la posición relativa de los puntos sobre la tierra en base a su longitud, latitud y elevación (x, y, z).

1.6.2.1. Curvas de Nivel.

Las curvas de nivel son uno de los variados métodos que se utilizan para reflejar la forma tridimensional de la superficie terrestre en un mapa bidimensional. En los modernos mapas topográficos es muy frecuente su utilización, ya que proporcionan información cuantitativa sobre el relieve.

- **Intervalos entre curvas de nivel.**

Un intervalo entre curvas de nivel es la distancia vertical entre dos curvas de nivel. Al disminuir el intervalo en un mapa se aumentara el número de curvas de nivel en el mismo. La selección del intervalo entre curvas de nivel dependerá de diversos factores: El propósito para el que se va a utilizar el mapa, la escala del dibujo, lo agreste del terreno y el costo para obtener los datos requeridos para graduar las curvas de nivel.

En mapas de pequeña escala se utilizan con frecuencia intervalos de 50 y 100 metros. Sin embargo, para planos de terrenos donde se requiere una información más detallada se emplean comúnmente intervalos de 5, 2, y 0.50 m. Para terrenos *de* construcción se recomienda intervalos de 0.50 m.

Es conveniente saber otras características del terreno que podamos determinar a través de las curvas de nivel:

Vaguada: Es la línea que demarca la depresión en el terreno por donde van las aguas de corrientes naturales las curvas son convexas a las corrientes.

Divisoria: Es la línea que demarca una elevación en el terreno y a la vez sirve para dividir el curso de las aguas.

Collado: tierra que se levanta como cerro o depresión suave por donde se pueda pasar fácilmente de un lado a otro. Se conoce también como punto de silla pues en un sentido

es el punto máximo y en otro el punto mínimo.

Existe una relación entre la equidistancia, escala del plano, pendiente del terreno y separación entre las curvas de nivel.

La pendiente entre dos curvas de nivel será igual

$$a = P = e / (S * M) \quad \text{Ecuación 9.}$$

Donde:

P: pendiente en terreno.

e: Equidistancia (Esta es vertical y no horizontal)

S: separación entre curvas de nivel en el terreno.

M: Denominador de escala en el plano

Por tanto la equidistancia:

$$e = S * M * P \quad \text{Ecuación 10.}$$

1.6.2.2. Calculo de pendientes.

La pendiente de un terreno entre dos puntos ubicados en dos curvas de nivel consecutivas es igual a la relación entre el intervalo de las curvas de nivel o equidistancia y la distancia longitudinal que los separa.

$$P = \frac{e}{D} \times 100 \quad \text{Ecuación 11.}$$

En donde:

P = pendiente del terreno en %

e = equidistancia entre curvas de nivel

D = distancia horizontal entre los puntos considerados.

1.6.3. Parámetros de estudios hidrológicos e hidráulicos.

1.6.3.1. Componente hidrológico.

(Mijares, 1989), El ciclo hidrológico, visto a nivel de una cuenca, se puede esquematizar como un estímulo, constituido por la precipitación, al que la cuenca responde mediante el escurrimiento en su salida. Entre el estímulo y la respuesta ocurren varios fenómenos que condicionan la relación entre uno y otra, y que están controlados por las características geomorfológicas de la cuenca y su urbanización. Dichas características se clasifican en dos tipos, según la manera en que controlan los fenómenos mencionados: las que condicionan el volumen de escurrimiento, como el área de la cuenca y el tipo de suelo, y las que condicionan la velocidad de respuesta, como son el orden de corrientes, pendiente de la cuenca y los cauces, etc.

- **Orden el río principal de la cuenca y grado de ramificación.**

Se determina el grado de ramificación de un curso de agua considerando el número de ramales que tienen sus tributarios, asignándole, un orden a cada uno de ellos en forma creciente desde el inicio de la divisoria hasta llegar al curso principal de manera que el orden atribuido a este indique en forma directa el grado de ramificación de la red de drenaje. El río de primer orden es un tributario pequeño, sin ramificaciones. Un río de segundo orden es el que solo posee ramificaciones de primer orden. Un río de tercer orden es el que presenta ramificaciones de primer y segundo orden, y así sucesivamente.

- **Curva hipsométrica.**

Puesta en coordenadas representa la relación entre la cota y la superficie de la cuenca representa correctamente con un plano con curvas de nivel, sin embargo, estas curvas de nivel son muy complejas, por medio de la curva hipsométrica se sintetiza esta información, lo que la hace más adecuada para trabajar.

- **Curvas IDF.**

Definición de las curvas IDF.

Las curvas Intensidad – Duración – Frecuencia (IDF) son curvas que resultan de unir los puntos representativos de la intensidad media en intervalos de diferente duración, y correspondientes todos ellos a una misma frecuencia o período de retorno (Témez, 1978)

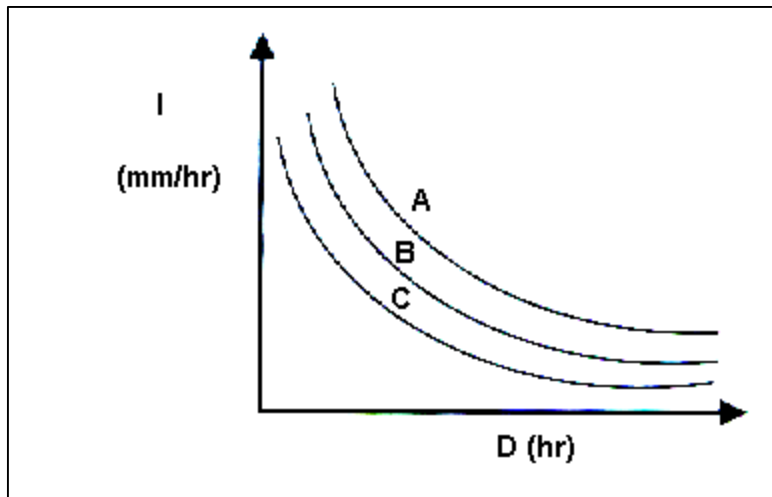


Gráfico 2. Curvas IDF

D = Duración en horas.

I = Intensidad de precipitación en mm/hr.

A, B y C representan distintos períodos de retorno en años.

$$I = \frac{P}{D} \quad \text{\textit{Ecuación 12}}$$

Donde P es la profundidad de lluvia en mm o pulg, y D es la duración, dada usualmente en horas.

- **Altitud de frecuencia media.**

Es la altitud correspondiente al punto de abscisa media (50 % del área) de la curva hipsométrica. Se calcula con la siguiente ecuación:

$$Am = \sum_{i=1}^n \frac{H_i + S_i}{S_T} \quad \text{\textit{Ecuación 13}}$$

- **Índice de compacidad.**

También denominado coeficiente de compacidad o de Gravelius, definida como la relación entre el perímetro de la cuenca y el perímetro de un círculo de área equivalente o superficie de la cuenca. Se calcula usando la siguiente ecuación:

$$I_c = 0.28 \frac{P}{\sqrt{S}} \quad \text{\textit{Ecuación 14.}}$$

Donde:

P = Perímetro de la cuenca (km).

S= Superficie de la cuenca (km²).

- **Pendiente del cauce principal.**

$$I_{rio} = \frac{H_{max}-H_{min}}{l_{rio}} \quad \text{\underline{Ecuación 15.}}$$

| Pendientes | Terreno |
|--------------------------|-------------------------|
| $I_{rio} < 2\%$ | plano |
| $2 \leq I_{rio} < 5\%$ | Suave |
| $5 \leq I_{rio} < 10\%$ | Accidentado medio |
| $10 \leq I_{rio} < 15\%$ | Accidentado |
| $15 \leq I_{rio} < 25\%$ | Fuertemente accidentado |
| $25 \leq I_{rio} < 50\%$ | Escarpado |
| $I_{rio} < 50\%$ | Muy escarpado |

Tabla 2: Clasificación de relieve del terreno según la pendiente del cauce principal (Muñoz, 2007)

- **Densidad de drenaje o Longitud promedio de cursos de agua (Dd).**

La densidad de drenaje se calcula con la expresión:

$$Dd = \frac{Lr}{S} \quad \text{\underline{Ecuación 16.}}$$

Lr= longitud de rio

S= superficie

A: Área de la cuenca [km²].

Intensidad de lluvia se calcula por la siguiente ecuación:

$$I = \frac{T_R * A}{(B + t_c)^n} \quad \text{\underline{Ecuación 18.}}$$

Aquí;

A, B, n son los parametros

t_c = tiempo de concentracion(minutos)

T_R = periodo de retorno (5,10,20,25,50,100 años)

Tiempo de concentración (t_c)

Existen diversas metodologías o ecuaciones para calcular el tiempo de concentración de una cuenca. A continuación se trabajara utilizando la ecuación del PHC (Ecuación del Ing. Basso).

$$t_c = 0.0041 \left(\frac{3.28 * L}{\sqrt{Sc}} \right)^{0.77} \quad \text{\underline{\underline{Ecuación 19.}}}$$

Donde:

t_c = Tiempo de concentracion (minutos)

Sc = Pendiente de la cuenca (m/m)

L = Longitud del cauce (m)

1.6.3.2. Componente hidráulico.

- **Determinación de la pendiente de fondo del Cauce principal.**

(Muñoz, 2007), La pendiente longitudinal del fondo de un canal está dada por la topografía o por la altura de energía requerida para el flujo de agua. La pendiente también depende en muchos casos del propósito del canal. Si por ejemplo los Canales para presas hidroeléctricas requiere un alto nivel en el punto de entrega, entonces para este caso es recomendable una pendiente pequeña, para mantener en el mínimo posible las pérdidas en elevación. Las pendientes laterales dependen principalmente de la clase de material. En la tabla 3 se muestran las pendientes adecuadas con los materiales adecuados. Claro está que esta tabla solo aplica a los canales no erosionables. Otros factores a considerarse para la determinación de las pendientes laterales son el método de construcción, la condición de pérdidas por infiltración, cambios climáticos, el tamaño de canal, etc. En general estas pendientes deben ser tan empinadas como sea factible y deben diseñarse de acuerdo con una alta eficiencia y estabilidad hidráulica.

| MATERIAL | PENDIENTE LATERAL |
|---|--------------------------|
| Roca | Aproximadamente vertical |
| Estiércol y suelos de turba | ¼: 1 |
| Arcilla rígida o tierra con recubrimiento de concreto | ½: 1 a 1:1 |
| Tierra con recubrimiento de piedras o tierra en canales grandes | 1:1 |
| Arcilla firme o tierra en canales pequeños | 1 ½ : 1 |
| Tierra arenosa suelta | 2:1 |
| Marga arenosa o arcilla porosa | 3:1 |

Tabla 3: Pendientes laterales apropiadas para canales construidos en diferentes clases de materiales. (Chow, 1994).

- **Rugosidad del cauce.**

Reconociendo varios factores primarios que afectan el coeficiente de rugosidad Cowan desarrolla un procedimiento para la evolución de n. según este procedimiento el valor de n puede ser calculado con la ecuación:

$$n = (n_0 + n_1 + n_2 + n_3 + n_4) n_5$$

Donde el valor de n_0 describe las condiciones de un canal recto, uniforme y liso en materiales utilizados comúnmente, n_1 es un valor agregado a n_0 para la corrección de rugosidades, n_2 es un valor que describe los cambios de la sección transversal a lo largo del mismo, n_3 valor para considerar obstáculos del flujo en el alineamiento del canal, n_4 es un valor característico de la vegetación y la descripción del flujo y n_5 valor de corrección para posibles meandros dentro del canal.

Al establecer el valor de n_1 se tienen cierto tipo de consideraciones como a) una irregularidad suave, b) menor para canales artificiales bien dragados con taludes notablemente erosionados, c) moderado para canales mediana a pobremente dragados, taludes con características de derrumbamiento moderado, d) y severos para características de taludes muy erosionados.

Ecuación de Manning.

Esta ecuación que en un principio fue dada en forma complicada por Manning y luego simplificada por otros, quedando dicha ecuación de la siguiente manera:

$$V = \frac{1.49}{n} R^{2/3} S^{1/2} \quad \text{\textit{Ecuación 20.}}$$

Donde:

V: velocidad media en pies/s

R: radio hidráulico en pies

S: pendiente de la línea de energía

n: es el coeficiente de rugosidad de Manning.

| Condiciones del canal | | Valores | |
|---|--------------|---------|---------------|
| Material | Tierra | n_0 | 0.020 |
| | Roca | | 0.025 |
| | Grava Fina | | 0.024 |
| | Grava Gruesa | | 0.028 |
| Grado de Irregularidad | Ligero | n_1 | 0.000 |
| | Menor | | 0.005 |
| | Moderado | | 0.010 |
| | Severo | | 0.020 |
| Variaciones en la sección transversal del canal | Gradual | n_2 | 0.000 |
| | Ocasional | | 0.005 |
| | Frecuente | | 0.010 – 0.015 |
| Efecto relativo de Obstáculos | Despreciable | n_3 | 0.000 |
| | Menor | | 0.010 – 0.015 |
| | Apreciable | | 0.020 – 0.030 |
| | Severo | | 0.040 – 0-060 |
| Vegetación | Baja | n_4 | 0-005 – 0.010 |
| | Media | | 0.010 – 0.025 |

| | | | |
|---------------------|------------|-------|---------------|
| | Alta | | 0.025 – 0.050 |
| | Muy alta | | 0.050 – 0.100 |
| Grado de sinuosidad | Menor | n_5 | 1.000 |
| | Apreciable | | 1.150 |
| | Severo | | 1.300 |

Tabla 4: Resumen del método de Cowan para estimar el Coeficiente de manning. (Muñoz, 2007).

1.6.4. Modelo de aplicación HEC – HMS y HEC- RAS.

(S.Nania, universidad de Granada, 2007), HEC-HMS está diseñado para simular el proceso de precipitación-escorrentamiento en cuencas. Está diseñado para ser aplicado en un amplio rango de regiones geográficas para solucionar un rango general de problemas. Puede ser utilizado en pequeñas cuencas urbanas, o en grandes cuencas sin intervención, los resultados se pueden aplicar para estudios de disponibilidad de agua, drenaje urbano, observación de flujo, impacto de intervenciones en cuencas, reducción del daño por inundaciones, operación de sistemas, etc.

1.6.4.1. Componentes del modelo HEC- HMS

Los componentes del modelo son utilizados para simular la respuesta hidrológica en una cuenca. Estos incluyen; modelos de cuencas, modelos meteorológicos, especificaciones de control y datos de entrada. En una simulación se calcula la respuesta de la cuenca dada a una precipitación, una vez definido el modelo meteorológico, las especificaciones de control definen el tiempo, y el intervalo de tiempo para el cual se realizará la simulación. Y los datos de entrada tales como series de tiempo, datos de grilla son requeridos muchas veces como parámetros o condiciones de borde en la cuenca y el modelo meteorológico.

- **Modelo de cuenca.**

El modelo de cuenca es utilizado para representar la parte física de la cuenca. El usuario desarrolla un modelo de cuenca agregando y conectando elementos hidrológicos. Los elementos hidrológicos usan modelos matemáticos para describir los procesos físicos en la cuenca.

La **tabla 5** muestra una lista y descripción de los elementos hidrológicos disponibles:

| Elemento | Descripción |
|------------------------|--|
| Subcuenca (Subbasin) | El elemento subcuenca es utilizado para representar la parte física de la cuenca. Dada la precipitación, el caudal de salida de la subcuenca es calculado restando las pérdidas de precipitación, y transformando el exceso de precipitación en caudal de salida sumándole el gasto base |
| Canal (Reach) | Este elemento es utilizado para trasladar el flujo aguas abajo en el modelo de cuenca. El gasto de entrada a este elemento puede venir de uno o más elementos aguas arriba. EL flujo de salida es calculado en base al tránsito y la atenuación del hidrograma de entrada. |
| Unión (Junction) | Una unión se utiliza para unir el caudal proveniente de uno o más elementos hidrológicos. El caudal de salida es calculado simplemente sumando todas las entradas y asumiendo que no existe almacenamiento en la unión. |
| Fuente (Source) | Este elemento se utiliza para introducir caudal en la cuenca, no tiene entradas, el gasto de salida es definido por el usuario. |
| Salida (Sink) | El elemento salida es utilizado para representar la salida de la cuenca. El gasto de entrada a este elemento puede venir de uno o más elementos. No hay gasto de salida en este elemento. |
| Reservorio (Reservoir) | El reservorio se utiliza para modelar la detención y atenuación de un hidrograma causada por un reservorio, estanque de detención, embalse. El gasto de entrada puede venir de uno o más elementos hidrológicos. El caudal de salida puede ser calculado de tres formas. El usuario puede definir tablas de; almacenamiento- |

| | |
|------------------------|---|
| | descarga, elevación-almacenamiento-descarga, altura-área-descarga. Se puede introducir también una relación entre la elevación y el almacenamiento o la elevación y el área y definir una o más estructuras de salida, o especificar una serie de tiempo de caudal de salida. |
| Desviación (Diversión) | En este elemento se modela el caudal que deja el canal principal. La entrada puede venir de uno o más elementos. La salida es de dos tipos, el caudal desviado, y el caudal que no es desviado, el desviado es calculado utilizando información de entrada, y cada una de estas salidas puede ser conectada a elementos hidrológicos. |

Tabla # 5: Descripción de los elementos hidrológicos en el modelo HMS (S.Nania, Universidad de Granada, 2007)

- **Modelo Meteorológico.**

El modelo meteorológico calcula la precipitación requerida en una subcuenta. Se puede utilizar precipitación puntual o por grillas, tiene la capacidad de modelar precipitación sólida y líquida junto con evapotranspiración.

- **Especificaciones de control.**

Las especificaciones de control fijan el tiempo de duración de cada corrida de una simulación. La información en las especificaciones de control incluye una fecha de inicio, una fecha de finalización y el intervalo de tiempo de la simulación.

- **Datos de entrada.**

Las series de tiempo, las series de pares, los datos de las grillas son requeridos generalmente como condiciones de borde en los modelos de cuencas y meteorológicos.

- **Interfaz de Usuario.**

La interfaz de usuario consiste de una barra de menú, una barra de herramientas, y cuatro paneles importantes, Empezando desde la esquina izquierda superior en la **Figura 3** y moviéndose en sentido de las agujas del reloj, estos paneles son conocidos como el explorador de cuenca, el editor de componentes, los mensajes de registro, y el escritorio.

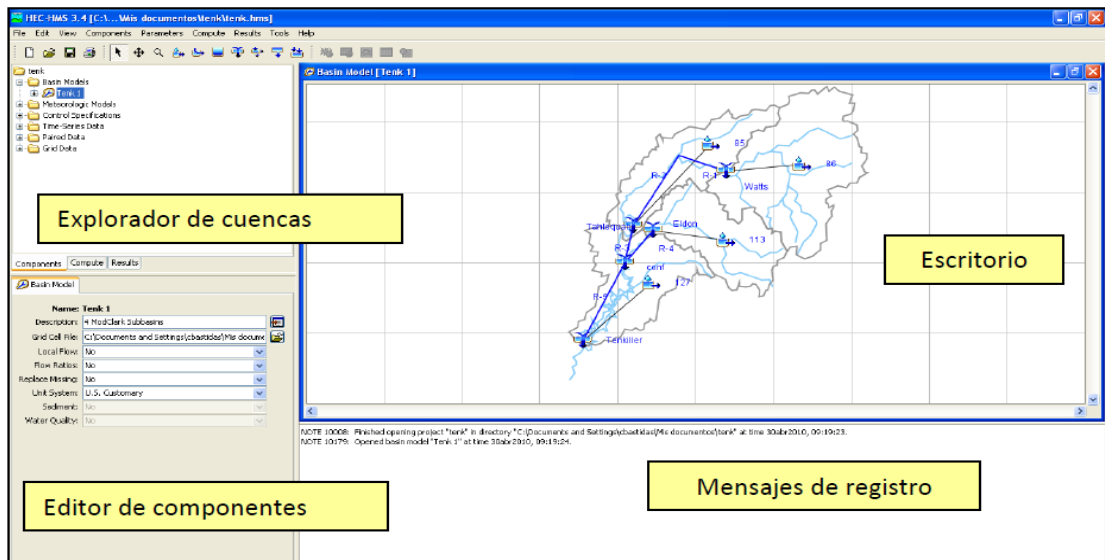


Figura # 1: Hec – HMS (interfaz de usuario).

1.6.5. Metodología.

1.6.5.1. Área de estudio.

El presente trabajo se realizó del puente peatonal Miguel Bonilla hacia la UNICT en el Municipio de Managua (Distrito I), Departamento de Managua. (Ver Figura 1)

1.6.5.2. Tipo de investigación

El tipo de investigación es seccional y con tiempo de ejecución definido. Es seccional porque recoge información de ciertos parámetros previos a la modelación hidrológica e hidráulica y es de tiempo definido porque el trabajo se pretende realizar en 6 meses.

1.6.5.3. Tiempo de ejecución.

La investigación se desarrollara en un periodo de tiempo de 6 meses, en el cual se distribuirá en varios periodos entre los cuales figuran principalmente:

- Visita al lugar de estudio siendo más específicos en el tramo puente peatonal Miguel Bonilla – UNCIIT del cauce Jocote Dulce.
- Recopilación de información en diferentes entidades entre ella a la Alcaldía de Managua para obtener datos técnicos de estudios de suelo y topográficos del cauce revestido.
- Determinación de los componentes hidrológicos e hidráulicos

Dicha investigación se empezó a realizar en el mes de julio del año 2016.

1.6.5.4. Universo.

El universo para determinar los parámetros de estudios y proceder a la modelación será realizado en el Distrito I de la ciudad de Managua, departamento de Managua.

1.6.5.5. Muestra.

La muestra para la realización del presente trabajo está constituida por la cuenca Jocote dulce ubicada al sur del distrito I de Managua.

1.6.5.6. Técnicas de recopilación de datos

En primer plano se recopiló la información mediante visitas al sitio y entrevistas realizadas al ingeniero Rodolfo Viachica director de proyectos de la Alcaldía de Managua (ALMA). Así como la visita al centro de información pública del Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (INETER).

1.6.5.7. Metodología.

- La georreferenciación de puntos en los cuales se llevara a cabo la modelación se realiza mediante Google Earth el cual servirá para ubicar geográficamente de manera teórica y práctica cada punto.
- Las pruebas de granulometría se realizó mediante el método del Tamizado, y el estudio de estas se harán usando la curva granulométrica, esto se hace para conocer el porcentaje de finos y gruesos para cada muestra, así como un levantamiento topográfico en los tramos del cauce revestido con el fin de determinar curvas de nivel con sus elevaciones y pendiente del cauce.
- Los parámetros de estudios hidrológicos e hidráulicos se determinaron de acuerdo a los componentes de la aplicación del modelo HEC – HMS y HEC- RAS.
- La aplicación del modelo se ejecutó por medio de manuales Básicos para el uso correcto de dichos programas HEC – HMS y HEC- RAS
- Se utilizó las herramientas del software Hidroesta para analizar la estadística hidrológica y obtener las intensidades en 15 años de periodo de retorno.
- Se utilizó la herramienta Microsoft Word y Excel, para presentar los resultados en forma de tablas y realizar diferentes gráficos en Excel.

II. DESARROLLO.

2.1.Pruebas de Granulometría y levantamiento topográfico.

En dichos estudios se describen los procesos que se llevaron a cabo, tanto en la extracción de las muestras de suelo in situ, así como el levantamiento topográfico de las secciones transversales del cauce revestido.

2.1.1. Estudio de Suelo.

2.1.1.1.Recolección y muestreo de suelo en la zona de estudio.

La recolección y muestreo de suelo en la zona de estudio se realizó en el tramo de estudio, mediante “Procedimiento sondeo manual”

➤ Equipos.

- Palas
- Barras
- Cinta métrica
- Machete de hoja delgada
- Sacos
- Taype
- Bolsas plásticas
- Posteadora.

2.1.1.2.Procedimientos sondeo Manual:

- a) Primeramente se localizó el sitio donde se realizará la excavación
- b) Limpiar la superficie del terreno con una pala, retirar la materia orgánica superficial.
- c) Se definió el área de la de la excavación (rectangular o elíptica), la cual estará en dependencia del equipo a utilizar.
- d) Realizar la excavación, inicialmente se utilizó la barra y la pala. A medida que se profundiza se pueden ir utilizando el resto del equipo (palín doble, posteadora, etc.), en dependencia del tipo de suelo que se encuentre que facilite el trabajo de excavación.

e) Al ir avanzando en la excavación se debe ir observando la variación de los puntos, considerando básicamente el tamaño de las partículas y el color, los distintos puntos que se obtengan se deben colocar a un lado de la excavación separado entre sí y en el orden que se van obteniendo.

f) Cuando se llegó a la profundidad proyectada (1.5 m), se procede a la descripción de los suelos que corresponden a cada punto levantado. Luego se muestrea cada punto por separado, esto consiste en colocar suficiente cantidad de material de cada punto en bolsas de plástico con su correspondiente tarjeta que identifica a cada muestra y posteriormente trasladarla al laboratorio.

g) luego se cerró la excavación con el material antes extraído, de tal manera que se coloque el suelo a como estaba en su estado natural, o sea depositando el suelo en orden inverso a como se extrajo.

2.1.1.3.Determinación del contenido de humedad.

➤ **Norma: ASTM D-2216**

Equipos.

- a) Balanza de 0.1 gr de sensibilidad.
- b) Taras.
- c) Horno con Temperatura de 110 a 120 °C.

Procedimientos

a) Pesar una tara o recipiente de aluminio o latón. Identificar y revisar adecuadamente el recipiente. Las taras de humedad normalmente pueden ser de diferentes tamaños, para este ensayo serán utilizadas las taras de menor tamaño existentes en el laboratorio.

b) Pesar una muestra representativa de suelo húmedo en este caso se trabajó con 50 gr en la tara y determinar el peso del recipiente más el del suelo húmedo.

c) Después de pesar la muestra húmeda más el peso de la tara es llevada al horno con temperatura de 110 °C, por un periodo de tiempo de 16 a 24 horas.

d) Cuando la muestra se haya secado hasta mostrar un peso constante, se casa la muestra del horno se deja enfriar y se determina el peso de la tara más el del suelo seco.

e) Calcule el contenido de humedad ω . La diferencia entre el peso del suelo húmedo más el de la tara y el peso del suelo seco más el de la tara es el peso del agua $W \omega$ que estaba presente en la muestra. La diferencia entre el peso del suelo seco más el de la tara y el peso de la tara solo es el peso del suelo W_s .

$$\%W = \frac{W\omega}{W_s} * 100$$

Donde:

$\%W$ = Porcentaje de humedad.

$W \omega$ = Peso de agua.

W_s = Peso de muestra seca.

Determinación de la gravedad específica.

➤ **Norma: ASTM D-854; AASHTO T 93-86**

Equipos.

- a) Frasco volumétrico de 500 ml.
- b) Bomba de vacíos.
- c) Balanza de precisión 0.1 gr.
- d) Maso de hule para morterear.
- e) Suministro de agua.
- f) Horno con Temperatura de 110 a 120 °C.
- g) Taras.
- h) Probeta de 1000 ml.

Procedimientos

- a) Se toma una muestra de 60gr de lo que pasa por el tamiz No.8
- b) Se pesa la probeta seca y limpia.
- c) Se toma 200 ml de agua.
- d) Se deposita en la probeta y se toma la altura.

- e) Se pesa la probeta con agua.
- f) Se deposita los 60 gr de suelos.
- g) Se tomó el peso y la altura.
- h) Se extrajo el aire con la bomba de vacío de 10 a 15min.
- i) Se toma el peso y la altura de la probeta + agua sin aire.
- j) Se calcula la gravedad específica.

$$G_s = \frac{\delta_s}{\delta_w} \quad \delta_s = \frac{W_s}{V_s}$$

Donde:

G_s = Gravedad específica.

W_s = Peso de los sólidos.

δ_s = Peso específico de los sólidos.

V_s = Volumen de los sólidos.

δ_w = Peso específico del agua.

2.1.1.4. Determinación del análisis granulométrico (Método mecánico)

➤ **Norma: ASTM D-422; AASHTO 27-88**

Equipos.

- a) Juego de tamices.
- b) Balanza de precisión 0.1 gr.
- c) Horno con Temperatura de 110 a 120 °C.
- d) Taras.
- e) Agitador eléctrico automático.

Procedimientos:

- a) Se tomó una muestra representativa de 500 gramos aproximadamente obtenida del terreno directamente.
- b) Colocar la muestra sobre el tamiz No. 200 y lavar cuidadosamente el material a través del tamiz utilizando agua común hasta cuando el agua que pasa el tamiz mantenga su transparencia.

- c) Verter cuidadosamente el residuo en una tara e introducirla al horno por un periodo de tiempo de 12 a 24 horas aproximadamente.
- d) Una vez secada la muestra se saca del horno y se pone a enfriar.
- e) Luego se hace pasar el material a través de la serie de tamices que varíen desde los diámetros de 3” hasta el tamiz No. 200, esto es realizado manualmente para los matices de mayor tamaño y es utilizado el agitador eléctrico automático para los tamices de diámetros inferiores.
- f) Inmediatamente realizado e paso anterior pese las fracciones retenidas en cada tamiz, y anótela en el registro correspondiente.
- g) Calcular el porcentaje en cada tamiz dividiendo el peso retenido en cada uno de ellos por el peso de la muestra original. Esto es válido ya que el material que haya pasado a través del tamiz No. 200 pasaría cualquier otro tamiz por encima del tamiz No. 200 en la serie.
- h) Calcular el porcentaje que pasa (o el porcentaje más fino que), comenzando por 100% y sustraer el porcentaje retenido en cada tamiz como un proceso acumulativo.
- i) Se grafica la curva granulométrica para obtener el D_{10} , D_{30} y D_{60} para el cálculo del Coeficiente de Curvatura (C_c) y Coeficiente de Uniformidad (C_u).

2.1.1.5. Determinación de los límites de Atterberg.

- **Norma: ASTM D 4318; AASHTO T 89-90 Y T90-87.**

Equipos para límite líquido.

- a) Aparato de Arturo Casagrande, incluyendo la solera plana y el ranurador trapezoidal.
- b) Tamiz No. 30.
- c) Balanza con sensibilidad de 0.01gr.
- d) Horno con Temperatura de 110 a 120 °C.
- e) Taras.
- f) Cápsula de porcelana.

Procedimiento para límite líquido.

Los ensayos de consistencia se hacen solamente con la fracción de suelo que pasa por el tamiz No. 30.

a) Después de secada la muestra de suelo, se criba a través del tamiz No. 30 desechándose lo que queda retenido.

b) Antes de utilizar la “Copa de Casagrande”, debe de ser ajustada (calibrada), para que la copa tenga una altura de caída de 1 cm, exactamente.

c) Del material que paso el tamiz No. 30 se toman aproximadamente unos 100 gramos y se colocan en una cápsula de porcelana y con una espátula se hace una mezcla pastosa, homogénea y de consistencia suave agregándole una pequeña cantidad de agua durante el mezclado.

d) Parte de esa mezcla se coloca con una espátula en la copa de Casagrande formando una torta alisada de un espesor de 1 cm, en la parte de máxima profundidad. Una altura menor aumenta el valor del límite líquido.

e) El suelo colocado en la “Copa de Casagrande” se divide en la parte media en dos porciones utilizando para ello un ranurador, de manera que permanezca perpendicular a la superficie inferior de la copa.

f) Después de asegurarse de que la copa y la base están limpias y secas, se da vuelta a la manija del “Aparato de Casagrande”, uniformemente a razón de 2 golpes por segundo, contando el número de golpes requeridos hasta que se cierre el fondo de la ranura en una distancia de 1 cm. Si la ranura se cierra antes de los 10 golpes, se saca el material se vuelve a mezclar y se repiten los pasos 4, 5 y 6.

g) Después que el suelo se ha unido en la parte inferior de la ranura, se toman aproximadamente unos 40 gr de suelo, se anota el peso húmedo y el No de golpes obtenidos, y la muestra se mete al horno.

h) Luego se saca del horno se enfría y se determina el peso seco para determinar el porcentaje de humedad correspondiente a cada número de golpes y se construye la curva de fluidez.

i) El límite líquido define cuando el contenido de agua en la curva de fluidez corresponda a 25 golpes.

Equipos para límite plástico

- a) Vidrio esmerilado o papel absorbente.
- b) Taras.
- c) Balanza con sensibilidad de 0.01 gr.
- d) Horno con Temperatura de 110 a 120 °C.

Procedimiento para límite plástico

- a) Se toman aproximadamente la mitad de la muestra que se usó en límite líquido, procurando que tenga una humedad uniforme cercana a la humedad óptima, amáselo con la mano ruédelo sobre una superficie limpia y lisa, como una hoja de papel o un vidrio hasta formar un cilindro de 3 m, de diámetro y de 15 a 20 cm de largo.
- b) Se amasa la tira y se vuelve a rodar, repitiendo la operación tantas veces como se necesite para reducir gradualmente la humedad por evaporación, hasta que el cilindro se empiece a endurecer.
- c) El límite plástico se alcanza cuando el cilindro se agrieta al ser reducido a 3 mm de diámetro.
- d) Inmediatamente se divide en porciones y se ponen en pedazos en una tara.
- e) Se pesa en la balanza y se registra su peso.
- f) Se introduce la muestra en el horno por un periodo de 12 a 24 horas.
- g) Se saca la muestra se pone a enfriar y se determina el peso seco.
- h) Con los datos anteriores se calcula el contenido de agua en porcentaje. Si la diferencia de los dos % es mayor que el 2% se promedian en caso contrario se repite el ensayo.
- i) El promedio es el valor en porcentaje del Límite Plástico.

2.1.1.6. Resultados obtenidos en el laboratorio de suelo.

➤ Datos obtenidos en las pruebas de laboratorio

Todos los datos obtenidos fueron analizados de forma tabular haciendo uso del software "Microsoft Excel", en el cual se insertaron las ecuaciones propuestas por las distintas normas sobre las cuales se fundamenta nuestro estudio

A continuación en la **tabla 6** se presentan los resultados de las distintas pruebas de laboratorio para la determinación de las características físicas y mecánicas de cada muestra:

| N° de puntos. | H (m) | % W | Gs | Límites de consistencia | | | Distribución granulométrica | | | | | | Clasificación de suelos | |
|---------------|-------|-------|------|-------------------------|--------|--------|-----------------------------|---------|-------|-------|--------|-----------|-------------------------|--------------|
| | | | | LL (%) | LP (%) | IP (%) | % Grava | % Arena | | | % Limo | % Arcilla | U.S.C.S. | A.A.S.H.T.O. |
| | | | | | | | | Gruesa | Media | Fina | | | | |
| 1.00 | 1.5 | 23.90 | 2.70 | 54.90 | 51.80 | 3.10 | 28.30 | 4.30 | 25.70 | 30.30 | 11.40 | 4.05 | SP-SM | A-1-b |
| 2.00 | 1.5 | 16.10 | 2.67 | 38.20 | 33.70 | 4.40 | 12.30 | 6.20 | 31.30 | 36.10 | 14.10 | 4.99 | SM | A-1-b |
| 3.00 | 1.5 | 17.60 | 2.68 | 37.10 | 28.70 | 8.40 | 13.60 | 1.90 | 17.80 | 38.40 | 28.30 | 5.97 | SM | A-2-4 |
| 4.00 | 1.5 | 21.30 | 2.68 | 40.50 | 25.34 | 15.16 | 31.40 | 4.70 | 21.90 | 31.60 | 10.40 | 3.67 | SP-SC | A-2-7 |
| 5.00 | 1.2 | 25.30 | 2.72 | 45.60 | 21.50 | 24.10 | 16.30 | 5.70 | 29.90 | 35.30 | 12.80 | 5.31 | SC | A-2-7 |
| 6.00 | 1.2 | 25.80 | 2.65 | 33.30 | 26.90 | 6.40 | 47.60 | 5.60 | 14.70 | 24.20 | 7.90 | 3.51 | GP-GM | A-2-4 |
| 7.00 | 1 | 15.80 | 2.71 | 26.30 | 18.10 | 8.20 | 13.80 | 5.20 | 38.50 | 31.70 | 10.80 | 3.64 | SW-SC | A-2-4 |
| 8.00 | 1 | 19.90 | 2.73 | 30.30 | 13.80 | 16.40 | 12.70 | 2.50 | 18.90 | 38.90 | 27.00 | 7.77 | SC | A-2-6 (1) |
| 9.00 | 1.5 | 62.30 | 2.70 | 56.90 | 55.80 | 1.00 | 24.80 | 5.10 | 26.90 | 31.40 | 11.70 | 4.14 | SP-SM | A-1-b |
| 10.00 | 1.5 | 28.30 | 2.69 | 35.60 | 21.35 | 14.25 | 17.30 | 6.30 | 25.20 | 38.90 | 12.30 | 5.33 | SC | A-2-6 |
| 11.00 | 1.5 | 27.20 | 2.68 | 35.90 | 33.10 | 2.80 | 21.80 | 5.50 | 22.70 | 35.50 | 14.40 | 5.11 | SM | A-1-b |
| 12.00 | 1.5 | 14.20 | 2.70 | 60.20 | 54.90 | 5.30 | 31.80 | 5.30 | 24.60 | 27.60 | 10.80 | 3.81 | SP-SM | A-1-b |
| 13.00 | 1.5 | 56.50 | 2.69 | 29.80 | 21.35 | 8.46 | 20.70 | 7.50 | 21.30 | 34.90 | 15.60 | 5.50 | SC | A-2-4 |

Tabla 6. Resultados obtenidos en las pruebas de laboratorio, correspondiente a granulometría.

2.1.1.7. Análisis de resultado de las pruebas de laboratorio.

- **Ensayo de contenido de humedad (ASTM D-2216).**

Según los resultados obtenidos en la realización del ensayo de laboratorio del contenido de humedad, se encontraron los mayores porcentajes de humedad en cada punto superficiales obviamente esto es debido a que los primeros estratos están expuestos a factores climatológicos como lo es la lluvia y la presión atmosférica, este porcentaje podría variar según la estación del año en que sean realizados los sondeos (nótese en el caso de las profundidades de 0 a 1.3 m), lo cual depende directamente del tipo de suelo que habite en ello por lo tanto el porcentaje de humedad de cada estrato de suelo influirá mucho en la tipología del mismo.

- **Ensayo de gravedad específica (ASTM D-854, AASHTO T 93-86).**

Conforme a los resultados obtenidos del ensayo de laboratorio de la gravedad específica se determinó que el valor de los 13 puntos que se excavo, se encuentra dentro del rango establecido siendo la gravedad específica más baja de 2.652 del punto 2, y la de mayor valor 2.727 del punto cuatro. Según los intervalos existentes se puede decir que los estratos de suelos en estudio poseen mayores porcentajes de arenas con partículas de limos y arcillas.

- **Ensayo de análisis granulométrico de partículas usando el método de tamizado (ASTM D421-58 y D422-63, AASHTO T87-70 y T88-70).**

En la realización de este ensayo de laboratorio se pudo determinar cuantitativamente la distribución del tamaño de las partículas de los 13 puntos en estudio, el procedimiento fue realizado por el método lavado por tamizado y la información que se obtuvo de los análisis granulométricos permite decir que el suelo en la cual se encuentra asentado el cauce revestido, según su constitución granulométrica presentan un contenido de gravas del 22%, predominando en la mayoría de suelos en estudio las arenas con un contenido de 63%, y el porcentaje de finos entre limos y arcillas del 15%. Según la clasificación de la American Association of State Highway and Transportation Officials (A.A.S.H.T.O), se encontraron los siguientes tipos de suelos: (A-1-b), que son fragmentos de Piedra Grava y Arena caracterizados por ser Excelente a Bueno; A su vez se clasificaron como (A-2-4), que son Gravas y Arenas Limosas y Arcillosas, que es un material Excelente a Bueno. Y por último dos tipos de suelos con partículas de suelos más finos (A-2-6) y

(A-2-7), y son suelos con partículas de Gravas y Arenas Limosas y Arcillosas, regular para terreno de fundación.

2.1.2. Estudió Topográfico.

Se realizó un levantamiento y estudio topográfico correspondientes a altimetría y planimetría del tramo en estudio (Con una longitud de 855.339 metros) tomando los primeros puntos de referencia en coordenadas asumidas tanto para el eje x como para el eje y con una elevación asumida de 100 metros sobre el nivel del mar (**Ver Anexos 5**) realizando el levantamiento topográfico con estación total modelo 2LS cygnus (Bt – 77Q). Se extrajeron los archivos con formato .txt del levantamiento topográfico desde la base de datos de la estación total al ordenador con ayuda del cable de la estación y programa topcom.

A continuación en la tabla 1 se presentan algunos de los principales puntos de referencia del levantamiento topográfico en coordenadas.

| Puntos de referencia - levantamiento Topográfico. | | | |
|---|----------|----------|-----------|
| Nombre | Este(x) | Norte(y) | Elevación |
| BM-1 | 988.416 | 960.160 | 102.187 |
| PC-1 | 1044.038 | 1145.484 | 92.188 |
| PC-2 | 1092.989 | 1302.718 | 86.839 |
| PC-3 | 1128.624 | 1414.663 | 82.712 |
| PC-4 | 1140.654 | 1451.602 | 81.497 |
| PC-5 | 1158.006 | 1506.668 | 79.876 |
| PC-6 | 1166.193 | 1548.514 | 80.610 |
| PC-7 | 1154.650 | 1653.653 | 77.804 |

Tabla 7: Referencias del levantamiento topográfico.

Fuente: Elaboración propia (2016). Puntos de referencia del levantamiento topográfico.

2.1.2.1. Análisis y resultado del levantamiento Topográfico.

A partir de las coordenadas obtenidas para cada uno de los puntos que se levantaron y utilizando el programa de diseño civil 3D 2014 trazamos:

- ✓ Pendiente del cauce.
- ✓ Curvas de nivel
- ✓ Perfil longitudinal del cauce revestido.
- ✓ Secciones transversales del cauce revestido.
- **Cálculo de la pendiente del cauce.**

Para el cálculo de la pendiente tomaremos la clásica ecuación de la pendiente tomando en cuenta las elevaciones del levantamiento topográfico, el cual se dio en una longitud total de 855.339 metros. Por el cual se presentan las cotas correspondientes del inicio y final del tramo en estudio. $S = \frac{h_2 - h_1}{L} \times 100$

$$h_2 = 127 \text{ m}$$

$$h_1 = 97 \text{ m}$$

$$L = 855.339 \text{ m}$$

$$S = \frac{h_2 - h_1}{L} \times 100 = \frac{127 - 97}{855.339} \times 100 = 3.4 \%$$

➤ **Curvas de nivel**

Se realizó el trazado de las curvas de nivel con ayuda del programa civil 3D 2014 en el cual seguimos los siguientes pasos:

- ✓ Se realizó un libro de Microsoft Excel 2013 con extensión csv (separado por comas), en el que se importaron los archivos extraídos de la estación total y se ordenaron de acuerdo a sus coordenadas asumidas en norte, este, elevación, descripción. Procurando incluir todos los puntos correspondientes a terreno natural.
- ✓ Se importaron los puntos al programa Civil 3d 2014 y creamos la superficie del terreno verificando que tridimalla que se crea para la interpolación de elevaciones se trazara correctamente y corrigiendo siguiendo el criterio ingenieril.
- ✓ Se realizó el etiquetado de las curvas mayores a cada 2 m de elevación y las menores a cada 1 m de elevación.

➤ **Perfil longitudinal y secciones transversales del cauce.**

Cuando tenemos una superficie (surface), a partir de ella es fácil dibujar un perfil. Solo tenemos que trazar una poli línea por donde queremos el perfil,

convertirla en alineación (En la opción Aligments -> Create Aligment from Polyline) y luego crear el perfil a partir de la superficie, donde en esta última opción señalamos la alineación. Una vez obtenidas las curvas de nivel, utilizando el programa civil 3D se procedió a crear los perfiles y las secciones del tramo en estudio. Ver Anexos.

2.2.Parámetros hidrológicos e hidráulicos.

2.2.1. Parámetros Hidrológicos.

La determinación de parámetros hidrológicos obedece a la necesidad de ordenar de manera apropiada la información que se necesita para el cálculo de los caudales máximos esperados. Para lograr este objetivo, se procedió a la determinación de los siguientes parámetros:

2.2.1.1.Estadística hidrológica.

Las **Intensidades Máximas Anuales de Precipitación (mm)** utilizadas para la estadística hidrológica son de la Estación Aeropuerto de Managua con período correspondiente al año de 1971-2015, proporcionadas por el Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales - INETER.

Todos los datos obtenidos fueron analizados de forma tabular haciendo uso del software "Microsoft Excel" y en el software Hidroesta, Se realizó aplicando la función de distribución de Gumbel y se realizó el ajuste estadístico con smirnov- kolmorov con un nivel de significación del 5% de probabilidad. A partir de la estadística hidrológica se elaboró las curvas IDF para distintos periodos de retorno (**Ver Gráfico 3**).

También se determinó la intensidad de máxima para un periodo retorno de 15 años, el reglamento de drenaje pluvial para el área del municipio de Managua en el **capítulo I** de su **Artículo 30** establece que los cauces naturales o artificiales revestidos, tendrán como norma de diseño un periodo de retorno de 15 años.

A continuación se presenta la tabla proporcionada por el Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales de las Intensidades Máximas Anuales de Precipitación (mm), datos ordenados de menor a mayor.

| m | 5 | 10 | 15 | 30 | 60 | 120 |
|----|-------|-------|-------|------|------|------|
| 1 | 106.2 | 86.4 | 72.4 | 36.4 | 22.9 | 8.9 |
| 2 | 110.4 | 101.4 | 74.8 | 53.4 | 25.2 | 11 |
| 3 | 115.2 | 102 | 80 | 54.4 | 28.5 | 12.3 |
| 4 | 115.2 | 103.8 | 80.8 | 54.4 | 29.5 | 14.8 |
| 5 | 120 | 104.4 | 82 | 55.8 | 32.6 | 14.8 |
| 6 | 121.2 | 104.4 | 82 | 57.8 | 33.4 | 14.9 |
| 7 | 122.4 | 108 | 82.4 | 58.8 | 33.8 | 17.3 |
| 8 | 123.6 | 108.6 | 84 | 58.8 | 35.4 | 17.4 |
| 9 | 123.6 | 109.2 | 84 | 59 | 35.6 | 18.1 |
| 10 | 123.6 | 109.8 | 86.8 | 59.6 | 36.4 | 18.1 |
| 11 | 123.6 | 111 | 87.2 | 60.6 | 36.7 | 18.5 |
| 12 | 124.8 | 111 | 88 | 62.4 | 36.9 | 19.8 |
| 13 | 124.8 | 111.6 | 88 | 62.5 | 39.3 | 21.2 |
| 14 | 126 | 112.8 | 90 | 62.8 | 40.8 | 21.5 |
| 15 | 126 | 114 | 90.8 | 64 | 41.6 | 22.7 |
| 16 | 126 | 115.2 | 92.8 | 64 | 41.7 | 22.8 |
| 17 | 126 | 116.4 | 94.4 | 64.8 | 41.8 | 23 |
| 18 | 132 | 118.2 | 95.6 | 66 | 42.4 | 23 |
| 19 | 132 | 118.8 | 98 | 68 | 43.1 | 23.3 |
| 20 | 133.2 | 118.8 | 98 | 69 | 43.5 | 24.5 |
| 21 | 142.8 | 120 | 104.8 | 69.4 | 44.4 | 26.8 |
| 22 | 150 | 120 | 106.4 | 69.6 | 44.7 | 27.1 |
| 23 | 150 | 120 | 108 | 72.4 | 46 | 27.2 |
| 24 | 150.1 | 120.6 | 108.4 | 76 | 47 | 29.1 |
| 25 | 151.2 | 120.7 | 109.6 | 76.6 | 47.1 | 29.2 |
| 26 | 151.2 | 121.8 | 110.4 | 76.8 | 49 | 29.3 |
| 27 | 153.6 | 122.4 | 113 | 77 | 49.3 | 30.2 |
| 28 | 155.6 | 123.6 | 113.6 | 79.2 | 51.2 | 30.2 |
| 29 | 158.4 | 124.8 | 114 | 82.2 | 52.1 | 30.6 |
| 30 | 163.2 | 125.4 | 114 | 84.4 | 54.3 | 30.9 |
| 31 | 165.6 | 125.6 | 118.4 | 84.8 | 55.8 | 32.7 |
| 32 | 177.6 | 130.8 | 118.4 | 85.4 | 57.7 | 32.8 |
| 33 | 178.8 | 134.4 | 119.2 | 88 | 63.2 | 33.6 |
| 34 | 180 | 137.4 | 119.2 | 89.2 | 63.8 | 34.3 |
| 35 | 187.2 | 141.6 | 120 | 89.2 | 64.2 | 37.3 |
| 36 | 198 | 142.2 | 120.8 | 90 | 66.5 | 39.5 |
| 37 | 199.2 | 150 | 120.8 | 92.4 | 67 | 42.7 |

| | | | | | | |
|----|-------|-------|-------|-------|------|------|
| 38 | 200.4 | 151.8 | 121.2 | 93.2 | 69.8 | 44.7 |
| 39 | 200.4 | 154.2 | 123.2 | 99 | 76 | 45.8 |
| 40 | 212.4 | 164 | 125.2 | 100 | 77 | 48.1 |
| 41 | 212.4 | 168.8 | 134.4 | 101.6 | 77.3 | 58.9 |
| 42 | 230.4 | 172.8 | 153.6 | 106.4 | 77.7 | 62.7 |
| 43 | 230.4 | 178.2 | 158.4 | 110 | 90 | 65.6 |
| 44 | 238.8 | 180 | 159.6 | 112.8 | 93.5 | 66 |
| 45 | 240 | 204 | 160 | 140.8 | 95.1 | 67.9 |

Tabla 8: Intensidades Máximas Anuales de Precipitación (mm) – Estación Aeropuerto de Managua. Fuente: Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales – INETER.

El análisis de frecuencia de la información hidrológica de las intensidades máximas anuales de precipitación, se realizó mediante la función de distribución Gumbel con nivel de significación del 5%.

➤ **Función de Distribución Gumbel**

A continuación se presenta los diferentes resultados obtenidos con la función de distribución Gumbel, utilizando el software Hidroesta.

Ajuste smirnov kolmorov para una duración de 5 minutos.

Ajustes con momentos ordinarios:

Como el delta teórico 0.1562, es menor que el delta tabular 0.2027. Los datos se ajustan a la distribución Gumbel, con un nivel de significación del 5%.

Parámetros de la distribución Gumbel:

Con momentos ordinarios:

Parámetro de posición (μ)= 139.0188

Parámetro de escala (alfa)= 29.9389

Con momentos lineales:

Parámetro de posición (μ_l)= 138.4728

Parámetro de escala (alfal)= 30.8849

Intensidad de diseño:

La intensidad de diseño para un periodo de retorno de 15 años, es 219.07 mm/h

Ajuste smirnov kolmorov para una duración de 10 minutos.

Ajuste con momentos ordinarios:

Como el delta teórico 0.1372, es menor que el delta tabular 0.2027. Los datos se ajustan a la distribución Gumbel, con un nivel de significación del 5%.

Parámetros de la distribución Gumbel:

Con momentos ordinarios:

Parámetro de posición (μ)= 116.4672

Parámetro de escala (alfa)= 19.2524

Con momentos lineales:

Parámetro de posición (μ_l)= 116.6788

Parámetro de escala (alfal)= 18.8859

Intensidad de diseño: La Intensidad de diseño para un periodo de retorno de 15 años, es 167.94 mm/h

Ajuste smirnov kolmorov para una duración de 15 minutos.

Ajuste con momentos ordinarios:

Como el delta teórico 0.0916, es menor que el delta tabular 0.2027. Los datos se ajustan a la distribución Gumbel, con un nivel de significación del 5%.

Parámetros de la distribución Gumbel:

Con momentos ordinarios:

Parámetro de posición (μ)= 96.6285

Parámetro de escala (alfa)= 17.6448

Con momentos lineales:

Parámetro de posición (μ_l)= 96.3032

Parámetro de escala (alfal)= 18.2083

Intensidad de diseño: La intensidad de diseño para un periodo de retorno de 15 años, es 143.81 mm/h

Ajuste smirnov kolmorov para una duración de 30 minutos.

Ajuste con momentos ordinarios:

Como el delta teórico 0.0653, es menor que el delta tabular 0.2027. Los datos se ajustan a la distribución Gumbel, con un nivel de significación del 5%.

Parámetros de la distribución Gumbel:

Con momentos ordinarios:

Parámetro de posición (μ)= 67.4854

Parámetro de escala (alfa)= 15.448

Con momentos lineales:

Parámetro de posición (μ_l)= 67.2778

Parámetro de escala (alfal)= 15.8076

Intensidad de diseño: La intensidad de diseño para un periodo de retorno de 15 años, es 108.79 mm/h

Ajuste smirnov kolmorov para una duración de 60 minutos.

Ajuste con momentos ordinarios:

Como el delta teórico 0.0687, es menor que el delta tabular 0.2027. Los datos se ajustan a la distribución Gumbel, con un nivel de significación del 5%

Parámetros de la distribución Gumbel

Con momentos ordinarios:

Parámetro de posición (μ)= 42.9033

Parámetro de escala (alfa)= 14.2504

Con momentos lineales:

Parámetro de posición (μ_l)= 42.6248

Parámetro de escala (alfal)= 14.733

Intensidad de diseño: La intensidad de diseño para un periodo de retorno de 15 años, es 81.01mm/h

Ajuste smirnov kolmorov para una duración de 120 minutos.

Ajuste con momentos ordinarios:

Como el delta teórico 0.0730, es menor que el delta tabular 0.2027. Los datos se ajustan a la distribución Gumbel, con un nivel de significación del 5%.

Parámetros de la distribución Gumbel

Con momentos ordinarios:

Parámetro de posición (μ)= 23.6348

Parámetro de escala (alfa)= 11.8398

Con momentos lineales:

Parámetro de posición (μ_l)= 23.6107

Parámetro de escala (alfal)= 11.8815

Intensidad de diseño: La intensidad de diseño para un periodo de retorno de 15 años, es 55.29 mm/h

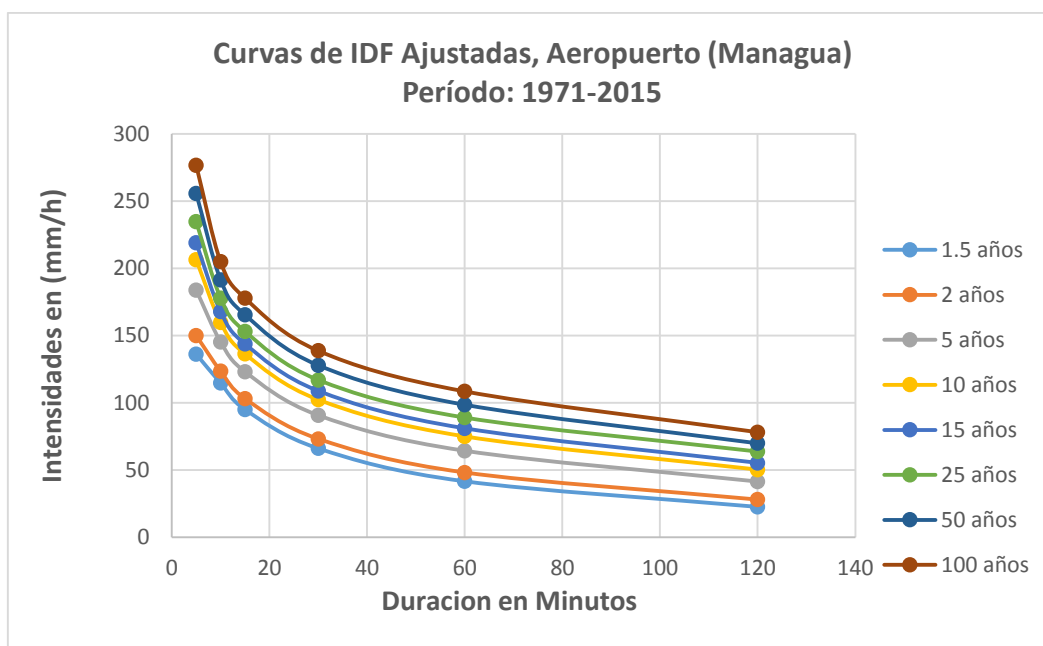
2.2.1.2.Diseño de curvas IDF.

Utilizando la función de distribución Gumbel en el programa Hidroesta se obtuvieron las intensidades de diseño para un periodo de retorno de 15 años. En la siguiente tabla se presentan las intensidades para diferentes periodos de retornos: 1.5 años, 2 años, 5 años, 10 años, 15 años, 25 años, 50 años y 100 años respectivamente.

| TR | Tiempo (min) | | | | | |
|----------|--------------|--------|--------|--------|--------|-------|
| | 5 | 10 | 15 | 30 | 60 | 120 |
| 1.5 años | 136.16 | 114.67 | 94.97 | 66.03 | 41.56 | 22.52 |
| 2 años | 149.95 | 123.52 | 103.1 | 73.16 | 48.13 | 27.97 |
| 5 años | 183.9 | 145.31 | 123.09 | 90.7 | 64.28 | 41.39 |
| 10 años | 206.37 | 159.74 | 136.34 | 102.31 | 74.97 | 50.28 |
| 15 años | 219.05 | 167.87 | 143.81 | 108.86 | 81.01 | 55.29 |
| 25 años | 234.76 | 177.96 | 153.07 | 116.98 | 88.98 | 63.7 |
| 50 años | 255.82 | 191.48 | 165.48 | 127.87 | 98.51 | 69.83 |
| 100 años | 276.73 | 204.9 | 177.8 | 138.67 | 108.46 | 78.1 |

Tabla 9: Intensidades de diseño para diferentes periodos de retorno.

A continuación se presentan los resultados obtenidos de la tabla 9.



Grafica 3: Curvas IDF ajustadas, Aeropuerto (Managua). Período: 1971 – 2015.

Con esta curva se obtiene fácilmente la intensidad máxima esperada para una duración y un periodo de retorno en particular. La intensidad de diseño para un periodo de retorno de 15 años y un tiempo de concentración de 20 minutos es de 132.16 mm/h de acuerdo a la gráfica.

2.2.1.3. Características de la Cuenca.

La metodología aplicada para la delimitación de la cuenca se hizo a través de un programa de Sistema de Información Geográfico (SIG) llamado ArcGis, donde se descargaron datos iniciales, como los “DEM” para extraer información necesaria como lo son las curvas de nivel a una equidistancia de 5 metros, realizando así la red de drenaje para luego delimitar la respectiva cuenca (Ver Anexos 6).

Características Fisiográficas y Morfométricas.

El área, perímetro y longitud del cauce principal de la cuenca delimitada Jocote Dulce se obtuvieron del programa de sistema de información Geográfico (SIG) llamado ArcGis.

$$\text{Área: } = 3.88 \text{ km}^2 = 3,880,000 \text{ m}^2$$

$$\text{Perímetro: } 13 \text{ km} = 13,000 \text{ m}$$

Longitud de cauce principal: 5.34 km = 5,340 m

➤ **Índice o coeficiente de compacidad (Kc).**

$$kc: 0.282 \frac{P}{\sqrt{A}}$$

$$kc: 0.282 \frac{13}{\sqrt{3.88}}$$

$$kc: 0.282 \frac{13}{1.96}$$

$$kc: (0.282) * (6.6)$$

$$kc: 1.86$$

El coeficiente de compacidad de la cuenca de estudio es de 1.86 correspondiendo a una forma alargada.

➤ **Factor de forma (Kf)**

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

$$kf = \frac{3.88 \text{ km}^2}{(5.34 \text{ km})^2}$$

$$kf = 0.13$$

Factor de forma de la cuenca de estudio es de 0.13 a lo que corresponde muy poco achatada

➤ **Pendiente**

$$Sc: \frac{Hmax - Hmin}{Lc}$$

$$Sc: \frac{565 \text{ m} - 125 \text{ m}}{5340 \text{ m}}$$

$$Sc: 8.23 \%$$

$$Sc: 0.0823$$

➤ **Tiempo de concentración Ecuación del PHC (Ecuación del Ing. Basso)**

La ecuación para calcular el tiempo de concentración de la cuenca en estudio fue por medio de la ecuación del PHC (Ecuación del Ing. Basso), el uso de esta ecuación ha sido ampliamente difundido en Centroamérica y en especial en Nicaragua de acuerdo al Reglamento de Drenaje Pluvial para el área del Municipio de Managua.

$$tc: 0.0041 \left(\frac{3.28 * L}{\sqrt{Sc}} \right)^{0.77}$$

$$tc: 0.0041 \left(\frac{3.28 * 5340 \text{ m}}{\sqrt{0.0823}} \right)^{0.77}$$

$tc = 20 \text{ minuto.}$

➤ **Parámetros K y X para tránsito de Caudales.**

Para considerar el tránsito de caudales a lo largo del cauce (método de propagación de hidrogramas), se aplica el método Muskingum, el cual considera los parámetros K y X. El parámetro K es el tiempo de tránsito de la onda de creciente a través de un tramo considerado y se calcula mediante la siguiente expresión:

$$k = 0.18 * \left(\frac{\Delta x}{(i^{0.25})} \right)^{0.76}$$

Donde:

Δx : es la distancia máxima en km

i : es la pendiente máxima de la subcuenca

$$k = 0.18 * \left(\frac{1.26}{(0.07^{0.25})} \right)^{0.76}$$

$K = 0.37$

El parámetro X es el factor de peso. Este factor varía entre 0 y 0.5 y depende de la pendiente media del tramo, a más pendiente más alta será la X. En cauces naturales muy caudalosos y de baja pendiente, X suele ser próximo a 0 y será más cercano a 0.5 cuanto más pendiente y menos caudal tenga el cauce, en el caso del cauce Miguel Bonilla se seleccionó un valor de **0.20** en razón a las características de pendiente y de caudal propias del cauce.

2.2.1.4. Características de las Subcuencas.

Dada la configuración topográfica de la Cuenca a modelar se ha determinado que se puede dividir en cuatro subcuencas, utilizando la herramienta de AutoCAD se procedió en dividir la cuenca en Subcuencas. De igual manera como se hizo para toda la cuenca se procedió a la determinación de los respectivos parámetros fisiográficos de cada una de las Subcuencas (Área (A), pendiente (S), longitud (L) y red hídrica).

| SUB CUENCA | ÁREA | LONG | Hmax | Hmin | pendiente | tc | Lag time |
|------------|------|------|------|------|------------|------------|-------------|
| | km2 | m | m | m | | minuto | minuto |
| C4 | 1.02 | 1870 | 273 | 125 | 0.07914439 | 8.98324018 | 3.144134064 |
| C3 | 0.38 | 1220 | 372 | 223 | 0.12213115 | 5.47111203 | 1.914889209 |
| C2 | 1.2 | 2910 | 471 | 223 | 0.08522337 | 12.2726747 | 4.295436131 |
| C1 | 1.22 | 3720 | 471 | 223 | 0.06666667 | 16.2974597 | 5.704110882 |

Tabla 10: Características fisiográficas de las 4 Subcuencas en la cuenca de estudio.

El área de cada subcuenca se obtuvo exportando la cuenca a modelar de ArcGis a AUTOCAD en el cual se procedió en dividir la cuenca en subcuencas, obteniendo así el área de cada subcuenca. El tiempo de retardo “Lag time” se definió por medio de la relación empírica en función del tiempo de concentración.

$$T_{LAG} = 0.35.T_C$$

Donde;

T_{LAG} = tiempo de retardo (minuto).

T_c = Tiempo de concentración (minuto).

➤ Numero de curvas.

La selección del valor CN depende fundamentalmente de las características de la cuenca de drenaje, como lo son: la condición antecedente de humedad del suelo, uso de la tierra o cubierta y condiciones del suelo. Una vez delimitado el parteaguas de las subcuencas se identificaron los tipos y usos de suelo que existían dentro de estas, el valor de CN se determinó por medio de una tabla proporcionada por el servicio de conservación de suelos de los Estados Unidos. A continuación se muestra la tabla de Números de Curvas de escorrentía.

2.2.2. Parámetros Hidráulicos.

Un canal hidráulico puede tener varias formas, tales como circulares, trapezoidales, rectangulares, etc. En este caso el cauce ubicado en la Miguel Bonilla del Distrito I de la ciudad de Managua, es un canal de forma trapezoidal, pues de ella se derivan una serie de parámetros que nos brindan información teórica muy importante para nuestra modelación

2.2.2.1. Topografía.

Para la elaboración de los registros topográficos y las características geométricas del cauce Miguel Bonilla, se tomaron 23 secciones transversales revestidas de concreto incluyendo los reductores de velocidad en una extensión de 855 metros, cada sección consta de 7 puntos levantados con sus respectivas elevaciones (Ver Anexos 4 y 5).

2.2.2.2. Rugosidad del Cauce.

El coeficiente de rugosidad n , es un parámetro que determina el grado de resistencia, que ofrecen las paredes y fondo del canal al flujo del fluido. Mientras más áspera o rugosa sean las paredes y fondo del canal, más dificultad tendrá el agua para desplazarse. El cauce Miguel Bonilla se encuentra revestido de concreto por lo tanto el valor de n es 0.014

A continuación se presenta la tabla de los coeficientes de rugosidad en diferentes tipos de materiales de revestimiento. Esta tabla es proporcionada por el Manual del programa H – canales.

| Material | Coefficiente de Rugosidad n |
|--|-------------------------------|
| Tubos de barro para drenaje | 0.014 |
| Superficie de cemento pulido | 0.012 |
| Tuberías de concreto | 0.015 |
| Canales revestidos de concreto | 0.014 |
| Superficie de mampostería con cemento | 0.02 |
| Acueductos semicirculares, metálicos, lisos | 0.012 |
| Acueductos semicirculares, metálicos, corrugados | 0.025 |
| Tuberías de plástico corrugadas ADS | 0.012 |

| | |
|---|--------|
| Canales en tierra, alineados y uniformes | 0.025 |
| Canales en roca, lisos y uniformes | 0.033 |
| Canales en roca, con salientes y sinuosos | 0.04 |
| Canales dragados en tierra | 0.0275 |
| Canales con lecho pedregoso y bordos de tierra enyerbados | 0.035 |
| Canales con plantilla de tierra y taludes ásperos | 0.033 |

Tabla 13: Valores del coeficiente de rugosidad n, propuesto por Horton para ser utilizados en la fórmula de manning.

2.2.2.3. Determinación de la pendiente del fondo del cauce principal.

Se puede asumir igual a la pendiente del cauce medida por el thalweg (línea de aguas de máxima profundidad de la corriente). Esta pendiente se calculó como el cociente entre la diferencia de cotas al inicio y al final del tramo la longitud del mismo.

Cálculo de la pendiente del tramo en estudio puente peatonal Miguel Bonilla hacia la UNICIT.

$$s = \frac{(h_2 - h_1)}{l} * 100$$

Donde,

h_2 = cota mayor (m)

h_1 = cota menor (m)

l = longitud del tramo en estudio (m)

$$s = \frac{(128.05 \text{ m} - 98.39 \text{ m})}{855 \text{ m}} * 100$$

S= 3.4 %

La pendiente del tramo en estudio es de 3.4%, en el tramo de estudio existen reductores de velocidad para disminuir dicha pendiente. La pendiente que se utilizó para la modelación hidráulica es la pendiente de inicio del tramo y la pendiente final del tramo.

2.3. Modelación Hidrológica – Modelo HEC-HMS.

La aplicación del modelo HEC-HMS para un proyecto determinado comprende cuatro etapas básicas; para el caso de la cuenca Jocote dulce estas son: la creación de un modelo de cuenca, la creación de un modelo meteorológico, la definición de unas especificaciones de control y, finalmente, la etapa de simulación y resultados.

2.3.1. Modelo de cuenca.

El modelo de cuenca es utilizado para representar la parte física de la cuenca. En este componente se definen los elementos hidrológicos del sistema; en la cuenca Jocote Dulce resulta una esquematización con un total de 4 subcuencas, 2 tramos de corriente, 2 uniones de corrientes y 1 punto de entrega. Definidos los elementos de la red hídrica, se ingresa la información de cada subcuenca, específicamente se define en orden de ejecución método de estimación de pérdidas, el método de transformación lluvia-caudal y el método de determinación flujo base. En el proceso de transformación lluvia neta en esorrentía se aplicó el **Método Hidrograma Unitario SCS** y en el proceso de infiltración o pérdidas es decir de todo lo que llueve en las subcuencas cuanto se pierde por infiltración, evaporación o percolación, se aplicó el **Método Número de Curvas SCS** el número de Curvas se obtuvieron por medio de la tabla proporcionada por el Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos (Ver tabla 12). Luego se procede al ingreso de los parámetros que corresponden a los tramos de corrientes en función del método seleccionado; en el presente estudio seleccionó el método de tránsito Muskingum. A continuación se presenta la tabla con la información de cada subcuenca.

| SUB CUENCA | ÁREA | Lag time | Impermeables | CN |
|------------|------|------------|--------------|----|
| | km2 | minuto | % | |
| C4 | 1.02 | 3.14413406 | 80 | 85 |
| C3 | 0.38 | 1.91488921 | 15 | 71 |
| C2 | 1.20 | 4.29543613 | 15 | 71 |
| C1 | 1.22 | 5.70411088 | 15 | 71 |

Tabla 14: Parámetros para la Modelación Hidrológica.

Los parámetros de los tramos de corrientes se determinaron en la **sección 8.2.1.3**, donde se obtuvo el valor de x igual a 0.2 y el k igual 0.37.

La **Figura 2** ilustra la esquematización de la cuenca Jocote dulce en Hec-Hms, también Incluye las subcuencas y los tramos de tránsito caudales.

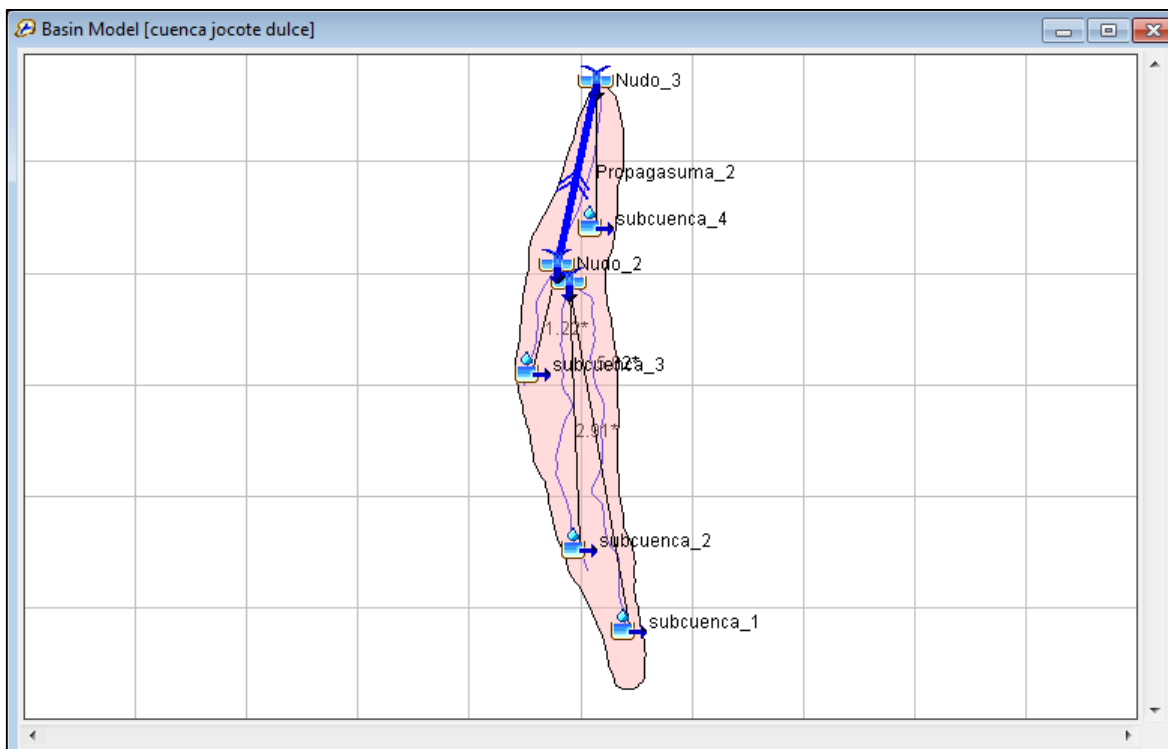


Figura 2. Esquematización de la Modelación Hidrológica de la cuenca Jocote Dulce, ubicada en la parte sur del Distrito I de la ciudad de Managua. Fuente: Modelo de Cuenca en el programa Hec-Hms 4.1

2.3.2. Modelo Meteorológico.

Antes de definir el modelo meteorológico se introducen los datos, que en este caso corresponden a los incrementos de precipitación, utilizando el **método de bloques alternos** que definen un hietograma a partir de curvas IDF para representar la distribución de la precipitación en una serie intervalos temporales a lo largo de un tiempo en el que dura la lluvia de diseño.

Esta actividad se realizó utilizando la función de distribución Gumbel en el programa Hidroesta donde se obtuvieron las intensidades de diseño para un periodo de retorno de 15 años las frecuencias se graficaron y se ajustaron a una curva tipo exponencial elaborada en la **Gráfica 3**.

Para estos datos se utiliza la información de las curvas IDF, para un periodo de retorno de 15 años con duraciones de 5 minutos a lo largo de 120 minutos. (**Tabla 10**)

Así entonces el método bloques alterno produce un pluviograma asociado a un periodo de retorno “T” cuya duración “D” total es fraccionada en “n” intervalos de duración " Δt ".

Después de seleccionar el periodo de retorno de 15 años, la intensidad en la curva de duración para cada una de las duraciones y la profundidad de precipitaciones se encuentran en multiplicar la intensidad por la duración. Tomando diferencias entre valores sucesivos de profundidad de precipitación, se encuentra la cantidad de precipitación que puede añadirse por cada adicional de tiempo Δt . Estos incrementos o bloques se reordenan en una secuencia temporal de modo que la intensidad máxima ocurra en el centro de la duración requerida y que los demás bloques queden en orden descendente alternativamente hacia la derecha y hacia la izquierda del bloque central para conformar el hietograma de diseño (Tabla 11).

A continuación se presenta la tormenta de diseño a través del método bloques alternos.

| Tormenta de Diseño para un periodo de retorno de 15 años. | | | | | | |
|--|------------|-------------|-------------|--------|-----------|----------|
| Duración | Intensidad | Profundidad | Profundidad | INT | Tiempo | |
| (minuto) | (mm/h) | Acumulada | Incremental | Bloque | (minuto) | Ordenado |
| | | (mm) | (mm) | (mm/h) | | |
| 5 | 219.05 | 9.13 | 18.25 | 2190 | 0 a 5 | 0.25 |
| 10 | 167.87 | 13.99 | 4.86 | 583.45 | 5 a 10 | 0.6 |
| 15 | 143.81 | 17.98 | 3.99 | 478.45 | 10 a 15 | 0.97 |
| 20 | 132.16 | 22.03 | 4.05 | 486.05 | 15 a 20 | 1.25 |
| 25 | 120.51 | 25.11 | 3.08 | 369.55 | 20 a 25 | 1.5 |
| 30 | 108.86 | 27.22 | 2.11 | 253.05 | 25 a 30 | 1.67 |
| 35 | 104.21 | 30.39 | 3.18 | 381.55 | 30 a 35 | 2.02 |
| 40 | 99.57 | 33.19 | 2.80 | 335.45 | 35 a 40 | 2.11 |
| 45 | 94.93 | 35.60 | 2.41 | 289.05 | 40 a 45 | 2.41 |
| 50 | 90.29 | 37.62 | 2.02 | 242.65 | 45 a 50 | 3.18 |
| 55 | 85.65 | 39.26 | 1.64 | 196.25 | 50 a 55 | 4.05 |
| 60 | 81.01 | 40.51 | 1.25 | 149.85 | 55 a 60 | 18.25 |
| 65 | 78.86 | 42.72 | 2.21 | 265.3 | 60 a 65 | 4.86 |
| 70 | 76.72 | 44.75 | 2.04 | 244.5 | 65 a 70 | 3.99 |
| 75 | 74.58 | 46.61 | 1.86 | 223.1 | 70 a 75 | 3.08 |
| 80 | 72.43 | 48.29 | 1.67 | 200.9 | 75 a 80 | 2.8 |
| 85 | 70.29 | 49.79 | 1.50 | 180.25 | 80 a 85 | 2.21 |
| 90 | 68.15 | 51.11 | 1.32 | 158.85 | 85 a 90 | 2.04 |
| 95 | 66 | 52.25 | 1.14 | 136.5 | 90 a 95 | 1.86 |
| 100 | 63.86 | 53.22 | 0.97 | 116 | 95 a 100 | 1.64 |
| 105 | 61.72 | 54.01 | 0.79 | 94.6 | 100 a 105 | 1.32 |
| 110 | 59.57 | 54.61 | 0.60 | 72.1 | 105 a 110 | 1.14 |

| | | | | | | |
|------------|-------|-------|------|-------|-----------|------|
| 115 | 57.43 | 55.04 | 0.43 | 51.75 | 110 a 115 | 0.79 |
| 120 | 55.29 | 55.29 | 0.25 | 30.35 | 115 a 120 | 0.43 |

Tabla 15. Tormenta de diseño para un periodo de retorno de 15 años.

El hietograma de precipitación de diseño se generó para una tormenta de 120 minutos con periodo de retorno de 15 años, se determinaron los incrementos cada 5 minutos.

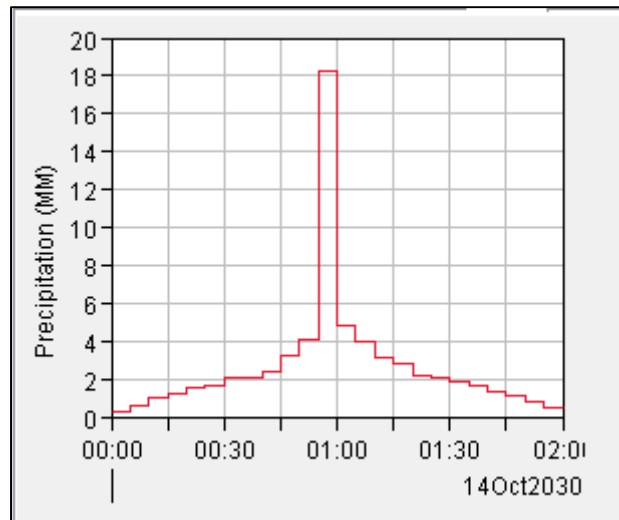


Grafico 4: Esquematización de la tormenta del proyecto.

2.3.3. Creación del modelo meteorológico.

Este modelo consiste en definir cuál modelo de cuenca requiere precipitación del modelo meteorológico. Se abre el editor de componentes para el modelo meteorológico, en la pestaña basins y selecciona yes para incluir a un modelo de cuenca la precipitación del modelo meteorológico. Todas las subcuencas incluidas en ese modelo de cuencas serán agregadas al modelo meteorológico una vez definida la precipitación.

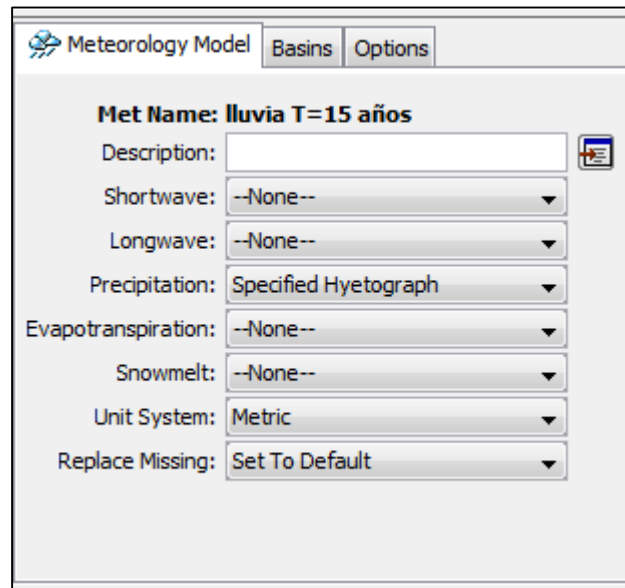


Figura 3: Pantalla de editor de componentes del modelo meteorológico.

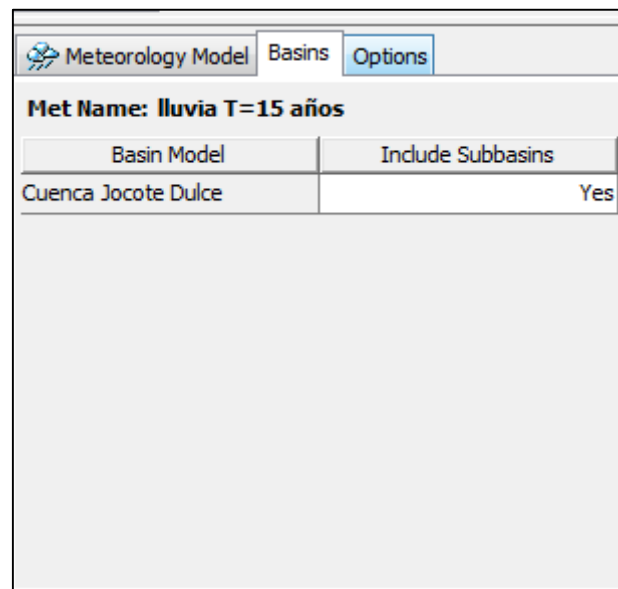


Figura 4: Pantalla de editor de componentes del modelo meteorológico pantalla Basins para agregar subcuencas que requieren datos del modelo meteorológico.

2.3.4. Especificaciones de Control.

Aquí se definen los periodos a simular, los tiempos lluvia e intervalos. Una vez definido el modelo de cuenca y seleccionado un modelo meteorológico puede realizar la modelación hidrológica para diferentes intervalos de tiempo o con diferentes incrementos.

El editor de componentes (Figura 6) para unas especificaciones de control requiere una fecha y hora de inicio y una fecha y hora de finalización así como un intervalo de tiempo.

Los formatos como deben introducirse los mismos se observan en el editor de componentes. La mayoría de los cálculos para los métodos son realizados en ese intervalo de tiempo y los resultados se muestran siempre para el intervalo de tiempo aquí especificado. Las especificaciones de control de la Cuenca jocote Dulce se realizó con un intervalo de tiempo de 10 minutos. Elegir un intervalo de tiempo puede ser diferente al elegido para la tormenta del proyecto es el intervalo con el que se analizará las simulaciones, ingresar las fechas y horas de comienzo y fin del estudio (el estudio debe durar hasta varias horas de haber cesado de llover).

Figura 6: Pantalla de control de especificaciones temporales sobre la tormenta usada para correr el modelo en la cuenca modelada Jocote Dulce.

2.3.5. Simulación Hidrológica.

Para correr el modelo se marcan los componentes anteriores, el modelo de cuenca, el modelo meteorológico y las especificaciones de control deseadas, luego procede a ejecutar el programa, a realizar cálculos y a generar resultados.

Una corrida de simulación es creada seleccionando **Compute - Run manager** desde la barra de menú. Seleccionar la opción **New**. Luego de hacer clic en **New** un asistente te guiará a través del proceso de creación de la simulación. Un nombre debe ser introducido, luego un modelo de cuenca, un modelo meteorológico y las especificaciones de control deben ser seleccionados. La nueva simulación es añadida a la pestaña “**Compute**” en el explorador de cuencas (figura 7). Note que la pestaña **Compute** tiene carpetas separadas

para cada uno de los tipos de simulación que se puedes realizar; simulación, optimización y análisis.

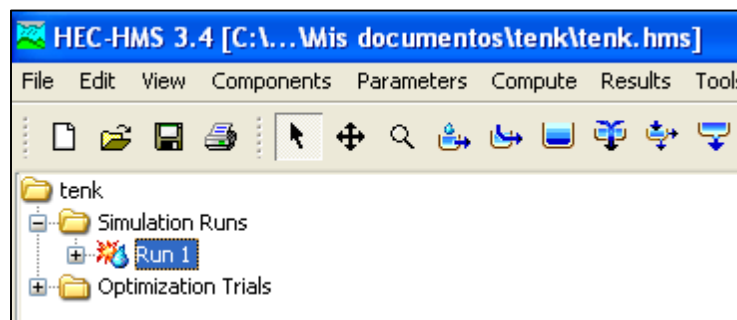


Figura 7. Simulación en el explorador de cuencas. Pestaña “compute”.

Para realizar la simulación se debe seleccionar **Compute - Select Run** desde el menú de opciones y escoger la simulación deseada. Para calcular la simulación se debe hacer clic en **Compute** y luego hacer clic en **Compute Run** al final del menú. La corrida seleccionada debería estar en soportes siguiendo la opción **Compute Run**.

2.3.6. Resultados de la Modelación Hidrológica.

Los resultados obtenidos en la modelación corresponden a un periodo de retorno de 15 años, seleccionando cada uno de los elementos hidrológicos y eligiendo la opción ver resultados podemos visualizar los hidrogramas obtenidos en cada elemento.

Como resultado el modelo arroja en la unión de corriente-2 un valor de $28.5 \text{ m}^3/\text{s}$ para un periodo de retorno de 15 años, por lo tanto es el caudal saliente en el punto de salida de la cuenca en estudio obtenido en la modelación hidrológica. En la **tabla 12** se presentan los diferentes caudales generados en cada uno de los elementos hidrológicos.

Caudal en cada elemento Hidrológico.

| Hidrologic - Elemento | Drainage Área (km ²) | peak Discharge (m ³ /s) | time of peak | volume (m ³) |
|-----------------------|----------------------------------|------------------------------------|------------------|--------------------------|
| Subcuenca -1 | 1.22 | 8.2 | 14oct2030, 01:00 | 25.2 |
| Subcuenca-2 | 1.2 | 8.6 | 14oct2030, 01:00 | 24.8 |
| Nudo-1 | 2.42 | 16.8 | 14oct2030, 01:00 | 50.0 |
| Propagasuma-1 | 2.42 | 13.4 | 14oct2030, 01:30 | 50.0 |
| Subcuenca-3 | 0.38 | 2.7 | 14oct2030, 01:00 | 7.9 |
| Nudo-2 | 2.8 | 14.9 | 14oct2030, 01:30 | 57.8 |
| propagasuma-2 | 2.8 | 13.3 | 14oct2030, 01:50 | 57.8 |
| Subcuenca-4 | 1.02 | 27.1 | 14oct2030, 01:00 | 58.8 |
| Nudo-3 | 3.82 | 28.5 | 14oct2030, 01:00 | 116.7 |

Tabla 16: Caudal punta, instante en que se produce y volumen de agua asociado.

Project: Modelacion Simulation Run: periodo de retorno 15 años

Start of Run: 14oct2030, 00:00 Basin Model: cuenca jocote dulce
 End of Run: 14oct2030, 08:00 Meteorologic Model: LLUVIA T=15 AÑOS
 Compute Time: 12feb2017, 15:29:37 Control Specifications: Control 1

Show Elements: All Elements Volume Units: MM 1000 M3 Sorting: Hydrologic

| Hydrologic Element | Drainage Area (KM2) | Peak Discharge (M3/S) | Time of Peak | Volume (1000 M3) |
|--------------------|---------------------|-----------------------|------------------|------------------|
| subcuenca_1 | 1.22 | 8.2 | 14oct2030, 01:00 | 25.2 |
| subcuenca_2 | 1.20 | 8.6 | 14oct2030, 01:00 | 24.8 |
| Nudo_1 | 2.42 | 16.8 | 14oct2030, 01:00 | 50.0 |
| Propagasuma_1 | 2.42 | 13.4 | 14oct2030, 01:30 | 50.0 |
| subcuenca_3 | 0.38 | 2.7 | 14oct2030, 01:00 | 7.9 |
| Nudo_2 | 2.80 | 14.9 | 14oct2030, 01:30 | 57.8 |
| Propagasuma_2 | 2.80 | 13.3 | 14oct2030, 01:50 | 57.8 |
| subcuenca_4 | 1.02 | 27.1 | 14oct2030, 01:00 | 58.8 |
| Nudo_3 | 3.82 | 28.5 | 14oct2030, 01:00 | 116.7 |

Figura 8. En la figura se observa la tabla de resultados de caudal punta y volumen de agua asociado de cada uno de los elementos hidrológicos. Fuente: simulación en el programa Hec-Hms 4.1.

Resultados en una subcuenca:

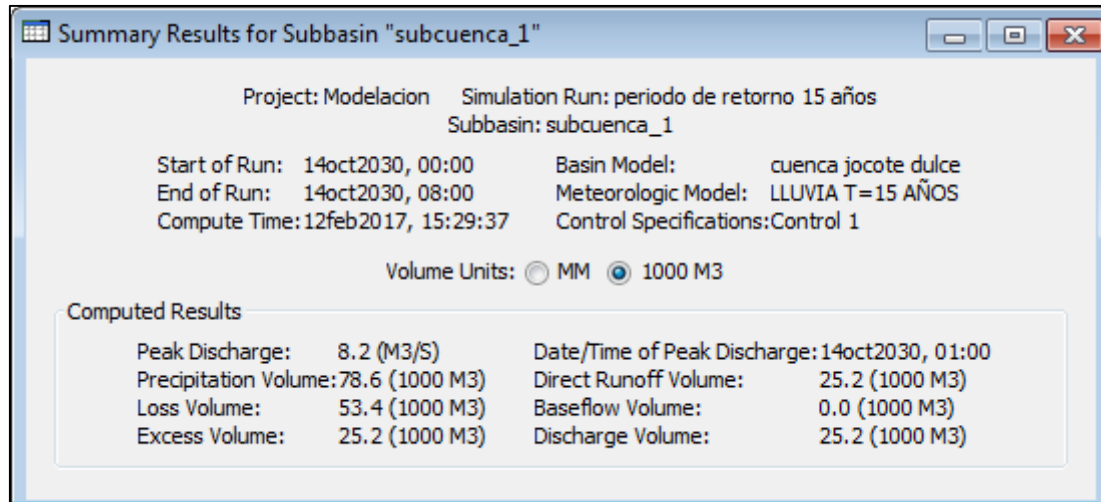


Figura 9. Resumen de resultados de la subcuenca 1 (caudal punta, precipitación total, lluvia neta en el suelo y lluvia neta).

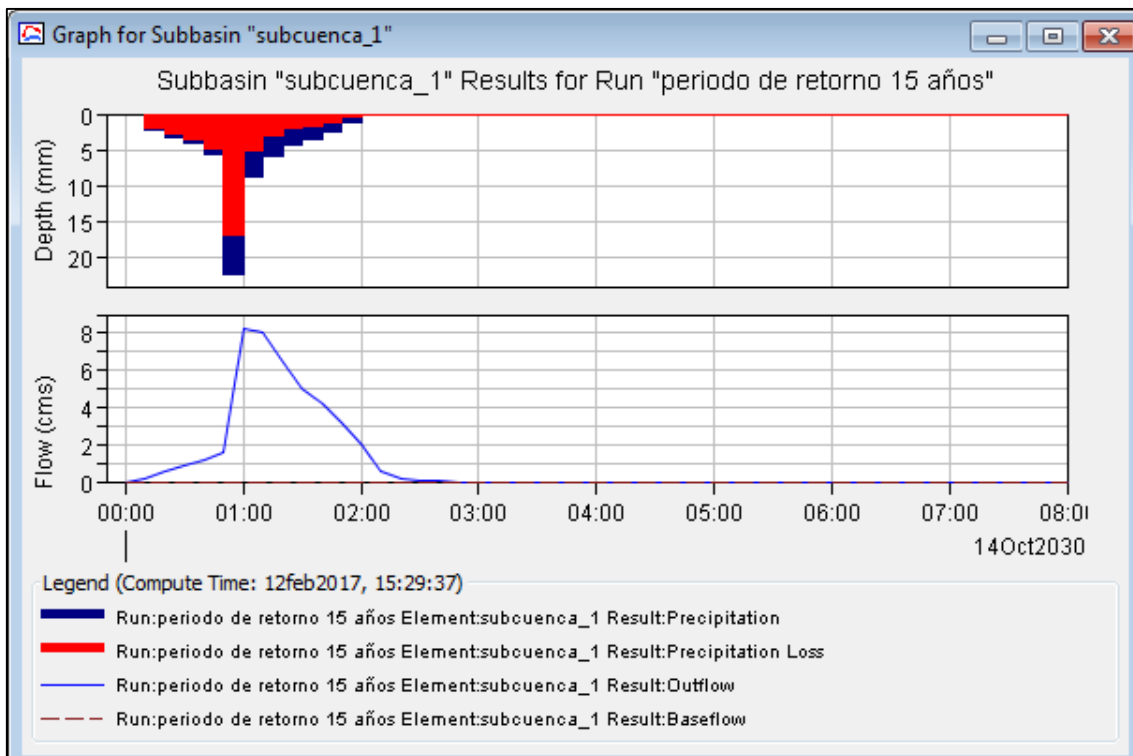


Gráfico 5. El primer gráfico representa el Hietograma de la tormenta, el color rojo significa de todo lo que llueve cuanto se infiltró en el suelo y la parte en color azul significa lo que se convirtió en caudal en la subcuenca-1, este a su vez se representa en el segundo gráfico que se conoce como hidrograma.

Resultados en un Nudo.

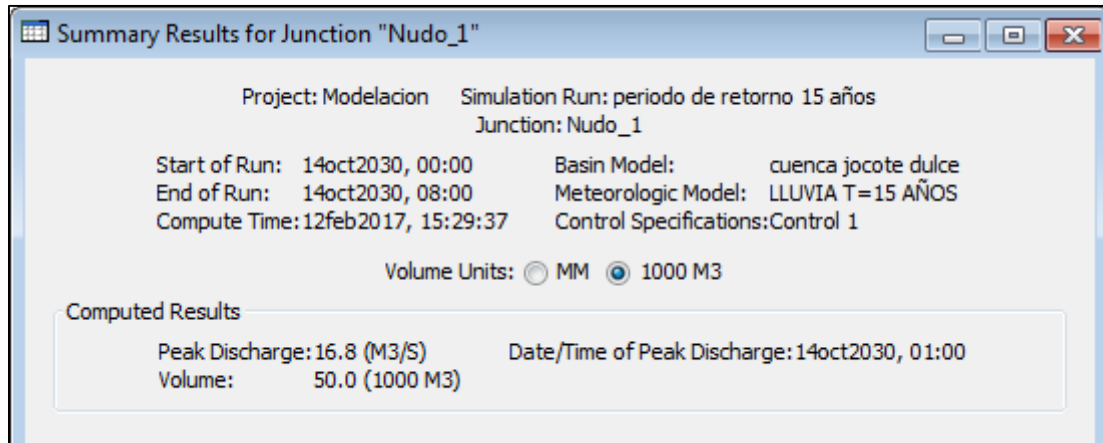


Figura 10. Resumen de resultados de la unión de corriente-1 (caudal punta).

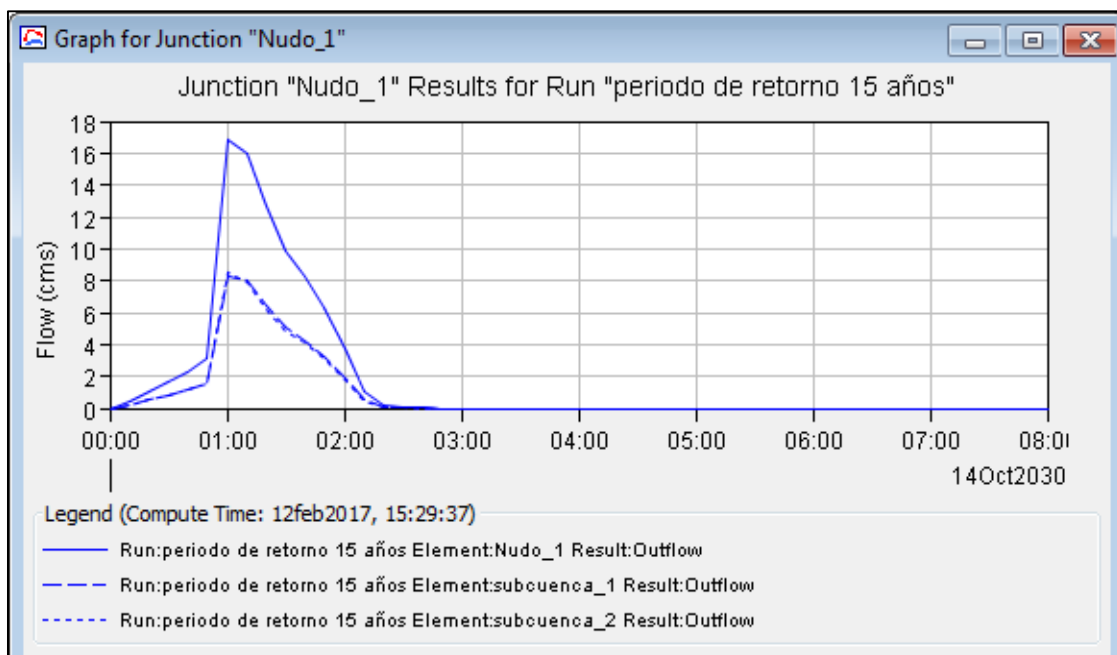


Grafico 6. Hidrograma de la unión de corriente.

Resultados en un tramo

En los tramos de corrientes se seleccionó el método de transito Muskingum, entre los parámetros necesarios que se ingresaron fueron el tiempo de viaje (k), forma de almacenamiento (x) y numero de subtramos.

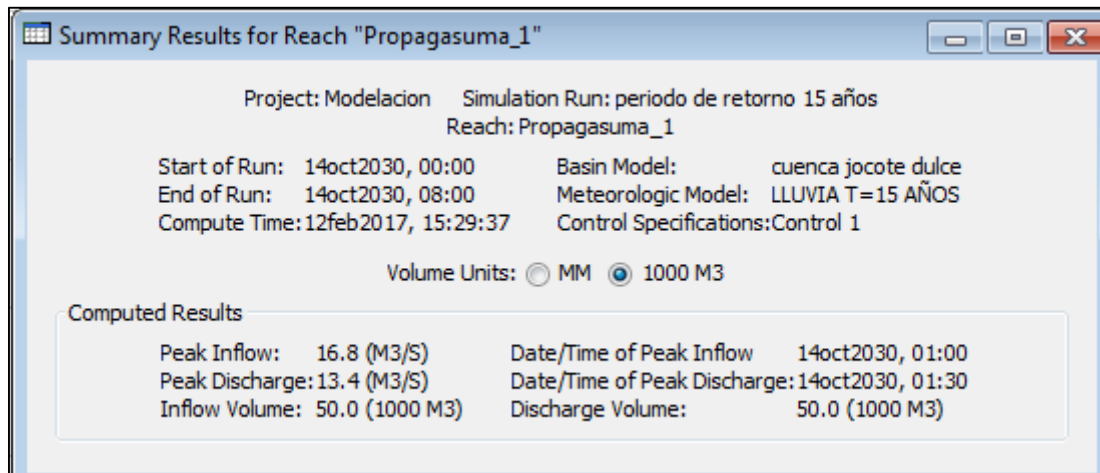


Figura 11. Resumen de resultados del tramo de corriente-1

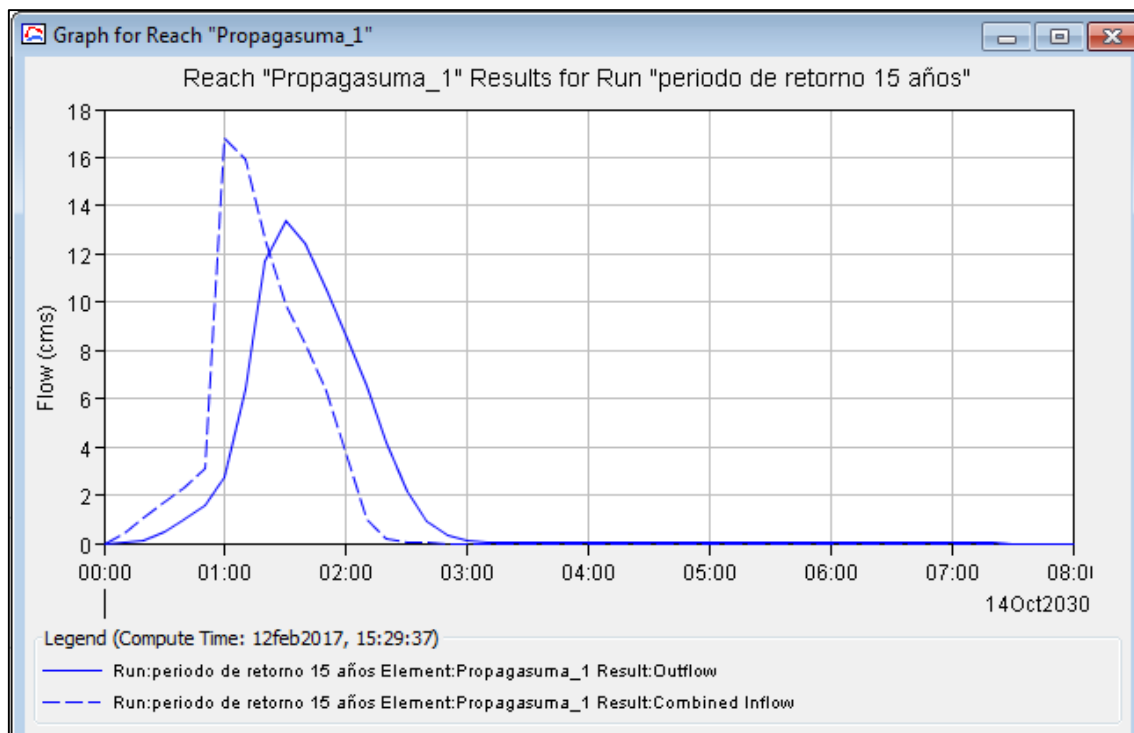


Grafico 7. Hidrograma del tramo de corriente-1

2.4. Modelación Hidráulica – Modelo HEC-RAS.

Para el tránsito de las crecientes a lo largo del cauce en estudio se implementó un modelo matemático unidimensional (HEC-RAS del U.S. Army Corps of Engineering) en régimen permanente, ampliamente usado para este tipo de estudios.

Para la simulación hidráulica del tramo de estudio se adoptó la opción de análisis de flujo permanente debido a que no se cuenta con una estación limnimétrica sobre el cauce que permita generar series de tiempo confiables caudales o niveles de agua.

El análisis de flujo permanente es apropiado para el cálculo de los perfiles para flujo gradualmente variado. El modelo HEC-RAS permite manejar tanto un tramo del río como también red de tributarios. El análisis de flujo permanente tiene posibilidad de simular perfiles de agua para regímenes de flujo subcrítico, supercrítico y combinado. Procedimiento de cálculo se basa en la solución ecuación de la energía, a través de un proceso iterativo conocido como el método del paso estándar. Pérdidas de energía por fricción se calcula por medio la ecuación de Manning y las pérdidas debido a contracciones y expansiones se calculan multiplicando coeficiente por el cambio en la carga de velocidad. Situaciones donde el perfil de agua es rápidamente variado (salto hidráulico, presencia de puentes, fluencia de ríos.) se utiliza la ecuación del Momento.



Figura 12: Visita de campo al cauce de estudio – sección aguas arriba 0+770
Fuente propia: Septiembre 2016.

2.4.1. Resultados de la Modelación Hidráulica.

Los resultados obtenidos en la modelación hidrológica forman parte de los datos de entrada al modelo hidráulico, a continuación se presentan los resultados de la modelación Hidráulica.

Secciones transversales del cauce Miguel Bonilla.

Para la elaboración de los registros topográficos y las características geométricas del tramo en estudio, se tomaron 23 secciones transversales revestidas de concreto en una extensión de 855 metros, cada sección consta de 7 puntos levantados con sus respectivas elevaciones. Una vez definida la geometría del tramo en estudio en el Modelo Hec-Ras se procedió con la creación de las secciones transversales del cauce a modelar, se ingresó la estación Este (x) y su elevación.

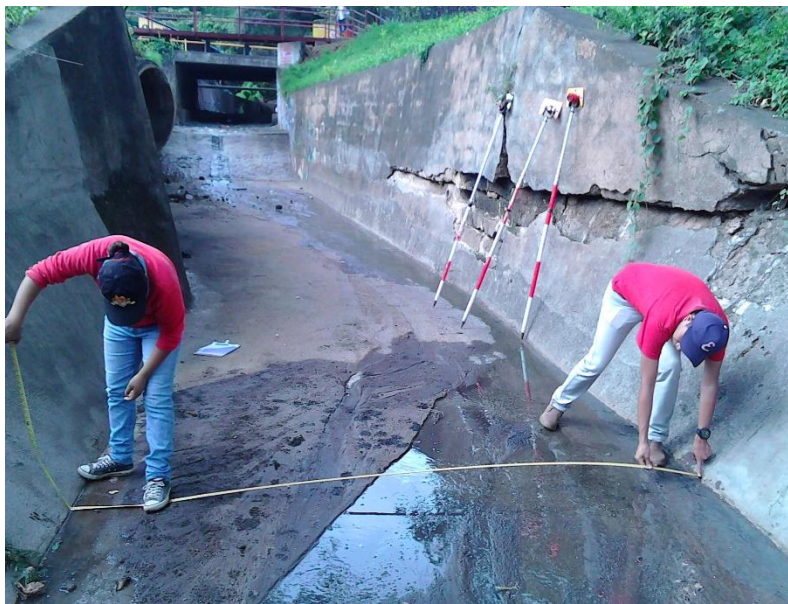


Figura 13: Visita de campo en el tramo de estudio para obtener los anchos de solera de cada sección transversal levantada. Estación aguas arribas 0+805 m.

A continuación los datos de campo levantados para la sección extrema aguas abajos:

| PUNTO | ESTE (X) | NORTE(Y) | ELEVACION | DESCRIPCION |
|-------|----------|----------|-----------|-------------|
| 190 | 1137.61 | 1726.702 | 76.079 | CAUU |
| 191 | 1138.815 | 1726.747 | 75.264 | CAUU |
| 192 | 1140.068 | 1727.262 | 74.044 | CAUU |
| 193 | 1141.376 | 1727.592 | 74.024 | CAUU |
| 194 | 1142.9 | 1727.575 | 74.043 | CAUU |
| 195 | 1143.772 | 1727.818 | 75.044 | CAUU |
| 196 | 1145.013 | 1727.726 | 76.065 | CAUU |

Tabla 17: Coordenadas y elevaciones de la sección extrema aguas abajo del tramo en estudio puente peatonal Miguel Bonilla – UNICIT.

La información de la tabal 17 corresponde a la estación extrema aguas abajo 0+000, obtenidas por medio del levantamiento topográfico en el tramo en estudio.

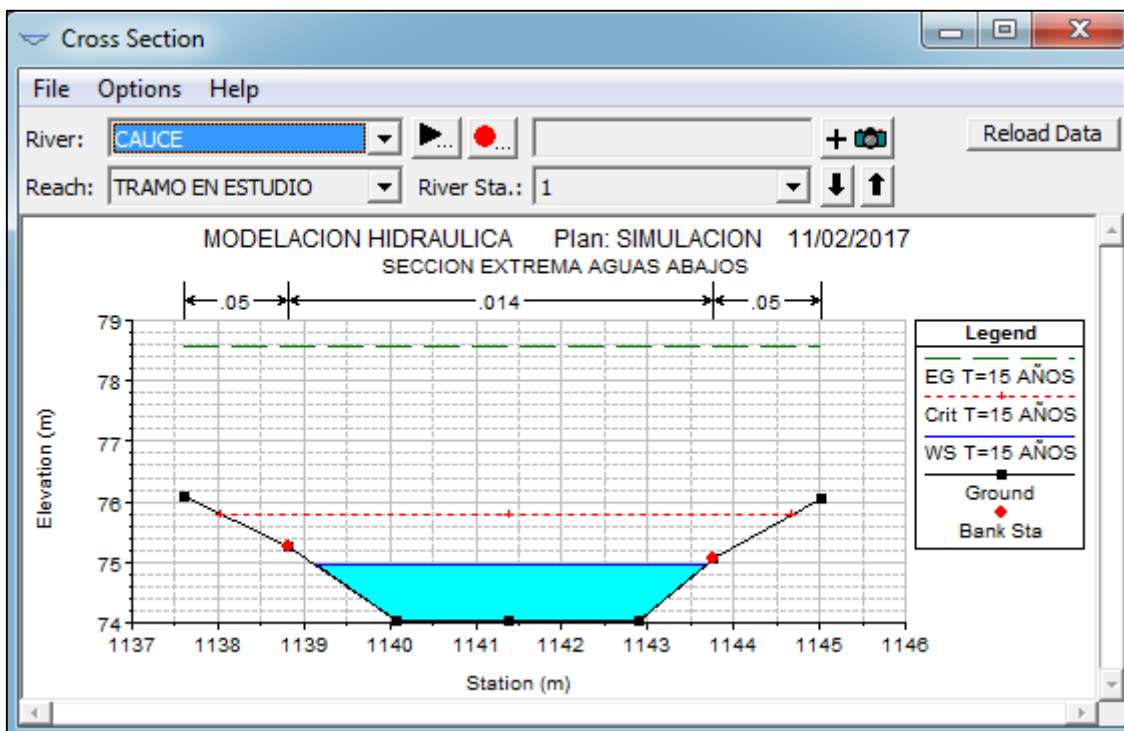


Grafico 7: Sección extrema aguas abajos, modelada en el programa Hec-Ras.

Caudales.

Para la simulación hidráulica del tramo de estudio se adoptó la opción de análisis de flujo permanente debido a que no se cuenta con una estación limnimétrica sobre el cauce que permita generar series de tiempo confiables caudales o niveles de agua.

El caudal que se ingreso fue el resultado de la Modelación Hidrológica correspondiente a un periodo de retorno de 15 años.

Los datos de caudal se introducen comenzando aguas arriba para cada tramo. Cuando se introduce un caudal en el extremo superior (aguas arriba), el programa supone el mismo caudal para el resto de secciones dentro de ese tramo del cauce aunque pueden cambiarse en cada sección. En el cauce Jocote Dulce hemos indicado el caudal para la sección 23 que es la sección extrema aguas arribas, así que el programa supondrá que por la sección extrema aguas abajo pasa el mismo caudal. Hec-Ras necesita la información condiciones de contorno en cada tramo para establecer el nivel del agua inicial en ambos extremos del cauce: aguas arribas y aguas abajo. En un régimen subcrítico solo se necesita en el extremo de aguas abajo (downstream); en régimen supercrítico, solo es necesario aguas arribas (upstream). En el cauce estudiado presenta un estado supercrítico porque en épocas torrenciales las velocidades de flujo son bastantes altas en este cauce. En la simulación hidráulica se le ingreso la información en régimen mixto esto debido para obtener una mejor clasificación de tipo de flujo y por la tanto la información ingresada fue en ambos extremos (Aguas arribas y Aguas abajo).

| Hidrologic - Elemento | Drainage Área (km ²) | peak Discharge (m ³ /s) | time of peak | volume (m ³) |
|-----------------------|----------------------------------|------------------------------------|------------------|--------------------------|
| Subcuenca -1 | 1.22 | 8.2 | 14oct2030, 01:00 | 25.2 |
| Subcuenca-2 | 1.2 | 8.6 | 14oct2030, 01:00 | 24.8 |
| Nudo-1 | 2.42 | 16.8 | 14oct2030, 01:00 | 50.0 |
| Propagasuma-1 | 2.42 | 13.4 | 14oct2030, 01:30 | 50.0 |
| Subcuenca-3 | 0.38 | 2.7 | 14oct2030, 01:00 | 7.9 |
| Nudo-2 | 2.8 | 14.9 | 14oct2030, 01:30 | 57.8 |
| propagasuma-2 | 2.8 | 13.3 | 14oct2030, 01:50 | 57.8 |
| Subcuenca-4 | 1.02 | 27.1 | 14oct2030, 01:00 | 58.8 |
| Nudo-3 | 3.82 | 28.5 | 14oct2030, 01:00 | 116.7 |

Resumen de resultados caudal punta de la Modelación Hidrológica de la Cuenca Jocote Dulce. (Tabla 16).

| Reach | River est | profile | Q total (m ³ /s) | Min ch Elev (m) | W.S.Elev (m) | Crit. W.S (m) | E.G.Elev (m) | Vel chnl (m/s) | flow área (m ²) | froude |
|-----------------|-----------|-----------|-----------------------------|-----------------|--------------|---------------|--------------|----------------|-----------------------------|--------|
| Tramo estudiado | 21 | T=15 Años | 28.5 | 101.02 | 102.11 | 102.81 | 104.72 | 7.16 | 3.98 | 2.48 |
| Tramo estudiado | 20 | T=15 Años | 28.5 | 99.42 | 100.33 | 101.15 | 103.92 | 8.39 | 3.39 | 3.16 |
| Tramo estudiado | 19 | T=15 Años | 28.5 | 97.25 | 98.04 | 98.9 | 102.7 | 9.56 | 2.98 | 3.95 |
| Tramo estudiado | 18 | T=15 Años | 28.5 | 94.72 | 95.48 | 96.46 | 101.08 | 10.48 | 2.72 | 4.21 |
| Tramo estudiado | 17 | T=15 Años | 28.5 | 94.16 | 95 | 95.89 | 99.31 | 9.19 | 3.1 | 3.55 |
| Tramo estudiado | 16 | T=15 Años | 28.5 | 92.96 | 93.83 | 94.73 | 98.15 | 9.2 | 3.1 | 3.52 |
| Tramo estudiado | 15 | T=15 Años | 28.5 | 90.82 | 91.67 | 92.64 | 96.79 | 10.02 | 2.84 | 3.88 |
| Tramo estudiado | 14 | T=15 Años | 28.5 | 89.02 | 89.94 | 91.02 | 95.34 | 10.29 | 2.77 | 3.74 |
| Tramo estudiado | 13 | T=15 Años | 28.5 | 88.68 | 89.56 | 90.43 | 93.71 | 9.02 | 3.16 | 3.47 |
| Tramo estudiado | 12 | T=15 Años | 28.5 | 87.72 | 88.61 | 89.48 | 92.6 | 8.85 | 3.22 | 3.32 |
| Tramo estudiado | 11 | T=15 Años | 28.5 | 86 | 86.8 | 87.69 | 91.39 | 9.49 | 3 | 3.76 |
| Tramo estudiado | 10 | T=15 Años | 28.5 | 84.88 | 85.69 | 86.55 | 90.06 | 9.26 | 3.08 | 3.67 |
| Tramo estudiado | 9 | T=15 Años | 28.5 | 82.27 | 83.05 | 84.02 | 88.55 | 10.38 | 2.74 | 4.15 |
| Tramo estudiado | 8 | T=15 Años | 28.5 | 81.73 | 82.62 | 83.5 | 86.84 | 9.1 | 3.13 | 3.46 |
| Tramo estudiado | 7 | T=15 Años | 28.5 | 80.47 | 81.28 | 82.17 | 85.65 | 9.26 | 3.08 | 3.65 |
| Tramo estudiado | 6 | T=15 Años | 28.5 | 80.04 | 80.88 | 81.65 | 84.31 | 8.2 | 3.48 | 3.23 |
| Tramo estudiado | 5 | T=15 Años | 28.5 | 78.66 | 79.55 | 80.38 | 83.32 | 8.6 | 3.31 | 3.3 |
| Tramo estudiado | 4 | T=15 Años | 28.5 | 78.13 | 79.06 | 79.83 | 82.27 | 7.94 | 3.59 | 2.99 |
| Tramo estudiado | 3 | T=15 Años | 28.5 | 77.44 | 78.42 | 79.17 | 81.47 | 7.74 | 3.68 | 2.83 |
| Tramo estudiado | 2 | T=15 Años | 28.5 | 74.01 | 74.85 | 75.87 | 80.23 | 10.28 | 2.77 | 3.91 |
| Tramo estudiado | 1 | T=15 Años | 28.5 | 74.02 | 74.95 | 75.79 | 78.56 | 8.41 | 3.39 | 3.12 |

Tabla 18: Resultados de caudal por cada sección estudiad

III. ANALISIS Y RESULTADOS.

El suelo en donde se encuentra asentado la estructura del cauce presento humedades que varían entre el 14.199% y 62.338% predominando los mayores porcentajes de humedades en los estratos superficiales. La gravedad específica se encuentra dentro de los rangos establecidos para arenas limosas y arenas arcillosas poco plásticas (2.65 – 2.73). La composición granulométrica está constituida por: 22% de gravas, 63% de arenas y 15% de partículas finas como limos y arcillas según la clasificación con forme al análisis por tamizado y los límites de Atterberg. Los mayores diámetros corresponden a 0.0607, y siendo 0.0012 los diámetros de menor tamaños.

Para cada elemento hidrológico el programa Hec-Hms determina una descarga máxima en m^3/s (**Ver tabla 16**), este resultado está en función de los diferentes parámetros que se le ingreso a cada elemento hidrológico ya que se consideró las características propias de cada subcuenca. Los gráficos de los hietograma obtenidos para cada subcuenca representan de todo lo que llueve en la cuenca de estudio cuanto se infiltro en el suelo y lo que se convirtió en caudal. En la subcuenca-1 el caudal generado fue de $8.2 m^3/s$ y de $8.6 m^3/s$ para subcuenca-2 siendo estos casi equivalentes debido a que ambas subcuencas tienen la misma área de drenaje y las mismas características de uso de suelo, en la subcuenca-3 el caudal fue de $2.7 m^3/s$ considerando el mismo uso de suelo en las dos cuencas anteriores pero con tamaño diferente en área de drenaje, para la subcuenca-4 las consideraciones que se tomaron fueron diferentes a las anteriores debido a la impermeabilidad y uso del suelo que presenta dicha subcuenca.

El caudal generado para un periodo de retorno de 15 años es de $28.5 m^3/s$ ya que es el caudal saliente en el punto de salida de la cuenca en estudio obtenido en la modelación hidrológica. En la modelación hidráulica utilizando el programa Hec-Ras se dibujó la geometría del tramo en estudio comenzando con la sección extrema aguas arribas hasta finalizar en la sección extrema aguas abajo, una vez definida la geometría se ingresó la información topográfica de cada una de las secciones levantadas para ser modeladas con un caudal de diseño de $28.5 m^3/s$ para un periodo de retorno de 15 años. Los resultados fueron los siguientes: valores de froude mayores que 1 (ver tabla 18) lo que significa que el flujo es supercrítico con velocidades relativamente altas lo que provocaría la erosión de la estructura de concreto del tramo en estudio.

IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

4.1. Conclusiones.

Una vez finalizado el presente tema de investigación, se logró cumplir satisfactoriamente con los objetivos planteados por lo que hemos llegado a las siguientes conclusiones:

En la realización de las pruebas de granulometria se pudo determinar cuantitativamente la distribución del tamaño de las partículas de los 13 puntos de suelos en estudio, el procedimiento fue realizado por el método lavado por tamizado y conforme al análisis granulométrico se realizó por el método del hidrómetro mediante la ley de Stokes con el objetivo de determinar los diámetros de menor y mayor tamaño.

Las características geométricas del tramo en estudio puente peatonal Miguel Bonilla - UNICIT, se obtuvieron por medio de un levantamiento topográfico en la cual se tomaron 23 secciones transversales revestidas de concreto en una extensión de 855 metros, cada sección consta de 7 puntos levantados con sus respectivas elevaciones.

Se determinó el caudal de diseño por medio de la modelación en Hec-Hms en la que se aplicó diferentes métodos que muestra el programa. Para el proceso de transformación lluvia – caudal se aplicó el Método Hidrograma Unitario y en el proceso de infiltración o pérdidas se aplicó el Método Número de Curvas SCS. En los tramos de corrientes se utilizó el Método de Muskingum.

Una vez obtenido el caudal de diseño para un periodo de retorno de 15 años, se procedió a determinar las condiciones críticas del tramo en estudio a través de una modelación hidráulica, los datos hidráulicos que se ingresaron al programa fue en régimen permanente ya que la profundidad de flujo no cambia y en la mayor parte de los problemas de canales abiertos es necesario estudiar el comportamiento del flujo solo bajo condiciones permanente. Las condiciones límites de alcance para establecer el nivel del agua en ambos extremos del tramo en estudio se consideró en régimen mixto y por la tanto la información ingresada fue en ambos extremos (Aguas arribas y Aguas abajo).

4.2. Recomendaciones.

- Se recomienda a la población de los barrios cercanos al cauce Jocote Dulce evitar la acumulación de desechos sólidos e inorgánicos.
- Se recomienda el revestimiento de los tramos que aún no encuentran revestidos (tramo Rurma hacía el Rigoberto Lopez Pérez) para evitar Erosión de suelo y desbordamiento de nivel de agua.
- Se recomienda el uso integrado de sistemas de información geográficos para realizar la división de la cuenca en sub-cuencas, así como el uso de mapas temáticos de vegetación, suelos, usos de suelo, etc. para la extracción de los parámetros que serán utilizados por el modelo.
- Se recomienda que los métodos de cálculo para cada uno de los pasos que realiza el modelo sean seleccionados de acuerdo al tipo de cuenca, canal, suelo, etc. Siguiendo las recomendaciones teóricas para las cuales se sugiere utilizar un tipo de cálculo y no otro.
- Se recomienda seguir evaluando por tramos el cauce, para diagnosticar todo el cauce como un solo estudio.

BIBLIOGRAFÍA.

- Badillo, J. (2005). *Mecanica de Suelos* . Mexico D.F: Editorial Limusa, S.A DE C.V.
- Chow, V. T. (1994). *Hidraulica de canales Abiertos*. Bogota, Colombia: Publicaciones Nomos S.A.
- crespo villalaz, c. (2004). *Mecanica de suelos y cimentaciones*. Mexico,D.F: Limusa,SA. DE C.V.
- M.Das, B. (1999). *Principios de Ingenieria de Cimentaciones* . Mexico: International Thomson Editorial.
- Managua, A. d. (04 de Abril de 2016). *Managua*. Obtenido de Managua: http://www.managua.gob.ni/modulos/documentos/otros/Caract_Gral_DI_DII_Managua.pdf
- Mijares, F. J. (1989). *Fundamentos de hidrologia de superficie*. Mexico: Editorial limusa,S.A DE C.V.
- Muñoz, M. (15 de Enero de 2007). *redalyc*. Obtenido de redalyc: <http://www.redalyc.org/pdf/2311/231117589003.pdf>
- Navarro, S. (10 de Agosto de 2011). *Sjnavarro*. Obtenido de Sjnavarro: <https://sjnavarro.files.wordpress.com/2011/08/apuntes-topografia-i.pdf>
- S.Nania, L. (31 de Enero de 2007). *universidad de Granada*. Obtenido de universidad de Granada: http://www.ugr.es/~lnania/_private/ManualBasico_HEC-HMS300_HEC-GeoHMS11_Espanol.pdf
- S.Nania, L. (16 de febrero de 2007). *Unversidad de Granada*. Obtenido de Unversidad de Granada: http://www.urbanismogranada.com/administrador/archivos/04_10_07_ManualB_sico_HEC-RAS313_HEC-GeoRAS311_Espa_ol.pdf
- Villachica, R. (28 de Marzo de 2016). *Antecedentes* . (H. Carballo, & G. Jeffer, Entrevistadores)

ANEXOS.

Anexo 1: Tablas de Análisis.

Intensidades máximas anuales de precipitación (mm) para la estación aeropuerto de Managua., periodo: 1971-2015. Fuente: Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales-INETER.

| AÑOS | 5 | 10 | 15 | 30 | 60 | 120 |
|-------------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|
| 1971 | 199.2 | 112.8 | 106.4 | 69.4 | 41.7 | 30.2 |
| 1972 | 212.4 | 123.6 | 86.8 | 58.8 | 29.5 | 18.1 |
| 1973 | 200.4 | 137.4 | 121.2 | 89.2 | 77.7 | 44.7 |
| 1974 | 198.0 | 115.2 | 84.0 | 59.0 | 44.4 | 30.9 |
| 1975 | 126.0 | 125.4 | 118.4 | 100.0 | 90.0 | 65.6 |
| 1976 | 123.6 | 118.2 | 113.6 | 72.4 | 41.6 | 22.8 |
| 1977 | 187.2 | 142.2 | 118.4 | 79.2 | 52.1 | 29.2 |
| 1978 | 126.0 | 125.6 | 90.8 | 77.0 | 49.0 | 30.2 |
| 1979 | 121.2 | 111.6 | 92.8 | 57.8 | 42.4 | 26.8 |
| 1980 | 180.0 | 178.2 | 158.4 | 99.0 | 63.8 | 37.3 |
| 1981 | 153.6 | 109.2 | 104.8 | 59.6 | 36.7 | 23.0 |
| 1982 | 155.6 | 122.4 | 95.6 | 68.0 | 57.7 | 33.6 |
| 1983 | 133.2 | 102.0 | 80.8 | 55.8 | 35.4 | 18.1 |
| 1984 | 151.2 | 150.0 | 123.2 | 112.8 | 63.2 | 32.7 |
| 1985 | 150.0 | 134.4 | 109.6 | 106.4 | 77.3 | 67.9 |
| 1986 | 158.4 | 103.8 | 88.0 | 54.4 | 28.5 | 8.9 |
| 1987 | 200.4 | 151.8 | 119.2 | 84.4 | 47.1 | 17.4 |
| 1988 | 212.4 | 168.8 | 134.4 | 93.2 | 64.2 | 21.2 |
| 1989 | 150.1 | 120.7 | 98.0 | 36.4 | 25.2 | 14.8 |
| 1990 | 106.2 | 86.4 | 72.4 | 62.5 | 36.9 | 14.8 |
| 1991 | 238.8 | 204.0 | 159.6 | 82.2 | 33.8 | 23.0 |
| 1992 | 123.6 | 111.0 | 98.0 | 69.0 | 39.3 | 21.5 |
| 1993 | 150.0 | 111.0 | 87.2 | 66.0 | 49.3 | 29.1 |
| 1994 | 122.4 | 108.6 | 90.0 | 60.6 | 54.3 | 32.8 |
| 1995 | 115.2 | 114.0 | 113.0 | 76.0 | 76.0 | 45.8 |
| 1996 | 124.8 | 121.8 | 120.0 | 69.6 | 43.5 | 23.3 |
| 1997 | 120.0 | 120.0 | 80.0 | 64.0 | 33.4 | 14.9 |
| 1998 | 230.4 | 141.6 | 110.4 | 76.6 | 43.1 | 24.5 |
| 1999 | 126.0 | 109.8 | 84.0 | 62.4 | 32.6 | 22.7 |
| 2000 | 124.8 | 116.4 | 125.2 | 89.2 | 51.2 | 19.8 |
| 2001 | 230.4 | 164.0 | 119.2 | 76.8 | 46.0 | 30.6 |
| 2002 | 126.0 | 120.0 | 114.0 | 90.0 | 66.5 | 62.7 |
| 2003 | 165.6 | 130.8 | 120.8 | 110.0 | 95.1 | 58.9 |
| 2004 | 132.0 | 104.4 | 82.0 | 64.0 | 36.4 | 17.3 |
| 2005 | 132.0 | 120.0 | 108.0 | 88.0 | 77.0 | 42.7 |
| 2006 | 110.4 | 108.0 | 74.8 | 53.4 | 41.8 | 11.0 |
| 2007 | 142.8 | 118.8 | 94.4 | 62.8 | 47.0 | 27.1 |
| 2008 | 177.6 | 172.8 | 153.6 | 101.6 | 69.8 | 39.5 |

| | | | | | | |
|-------------|-------|-------|-------|-------|------|------|
| 2009 | 178.8 | 154.2 | 114.0 | 84.8 | 22.9 | 12.3 |
| 2010 | 151.2 | 124.8 | 120.8 | 85.4 | 55.8 | 29.3 |
| 2011 | 123.6 | 118.8 | 82.0 | 58.8 | 44.7 | 34.3 |
| 2012 | 240.0 | 180.0 | 160.0 | 140.8 | 93.5 | 48.1 |
| 2013 | 123.6 | 104.4 | 88.0 | 64.8 | 40.8 | 27.2 |
| 2014 | 115.2 | 101.4 | 82.4 | 54.4 | 35.6 | 18.5 |
| 2015 | 163.2 | 120.6 | 108.4 | 92.4 | 67.0 | 66.0 |

Tabla A1

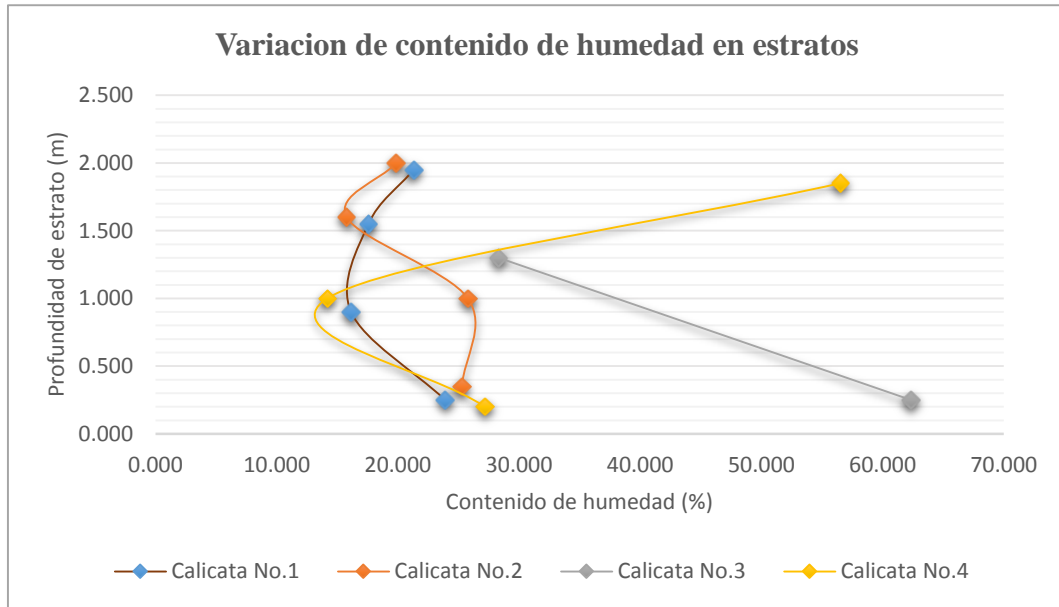
Coefficiente de Escorrentía C, para el Municipio de Managua-Reglamento de Drenaje Pluvial

Tabla A2

| COMPONENTE DEL AREA | Coefficiente de Escorrentía C |
|--|--------------------------------------|
| Centro de la Ciudad Capital (API-N) | 0.70-0.80 |
| Zona de Producción de Industria Liviana (PI-1) | 0.50-0.70 |
| Zona de Producción de Industria Pesada (PI-2) | 0.30-0.50 |
| Zona de Producción Mixta y Vivienda (PM-1) | 0.75-0.85 |
| Zona de Producción Mixta de Industria y Comercio (PM-a) | 0.75-0.85 |
| Zona de equipamiento de Transporte Aéreo (ET-1) | 0.60-0.80 |
| Zona de Equipamiento de Transporte Lacustre (ET-2) | 0.50-0.70 |
| Zona de Equipamiento de Transporte Terrestre y Mercado (ET-3) | 0.70-0.85 |
| Zona de Equip. Institucional especializado (E.I.E) | 0.60-0.80 |
| Zona de Reserva Natural de Parques Nacionales (RN-1) | 0.05-0.20 |
| Zona de Reserva Natural de la costa del lago (RN-2) | 0.10-0.25 |
| Zona de Reserva Natural de Protección del Suelo (RN-3) | 0.05-0.20 |
| Zona de Reserva Natural de Parques Urbanos (RN-3) | 0.05-0.20 |
| Zona de Reserva Natural de Parques Urbanos (RN-4) | 0.35-0.40 |
| Zona de Reserva Natural de Cementerios (RN-5) | 0.25-0.35 |
| Zonas de Reserva Natural de Minas (RN-6) | 0.05-0.20 |
| Zona Urbana Regional, Terrenos planos | 0.10-0.15 |
| Zona Urbana Regional, Terrenos Ondulados | 0.15-0.20 |
| Zona Rural de producción Agropecuaria | 0.05-0.20 |
| Zona de Vivienda de Densidad Alta (V-1) | 0.50-0.60 |
| Zona de Vivienda de Densidad Media Alta (V-1) | 0.40-0.50 |
| Zona de Vivienda de Densidad Media Baja (V-3) | 0.35-0.40 |
| Zona de Vivienda de Densidad Baja (V-4) | 0.30-0.35 |
| Techos y Calles de Asfalto y Concreto | 0.90-0.95 |
| Áreas con gramas y pastos o cultivos con pendientes no mayores del 5 % | 0.10-0.20 |
| Áreas con gramas y pastos o cultivos con pendientes del 5% al 10% | 0.12-0.20 |
| Áreas boscosas (depende de pendientes tipo de suelo o cobertura superficial). | 0.05-0.20 |

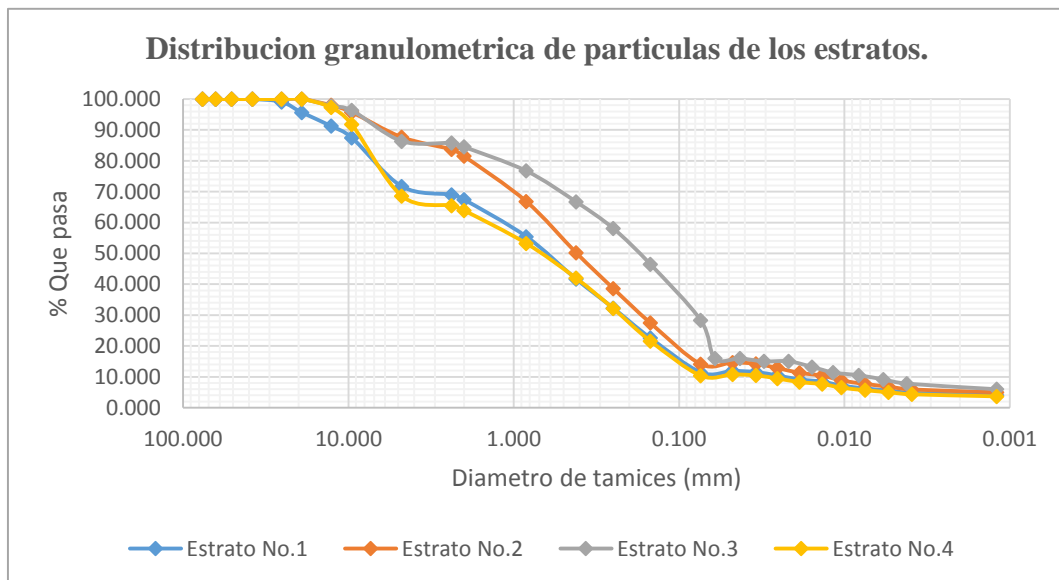
Anexo 2: Gráficas de pruebas de laboratorio – Estudio de Suelo.

a. Variación de porcentajes de humedad en estratos.



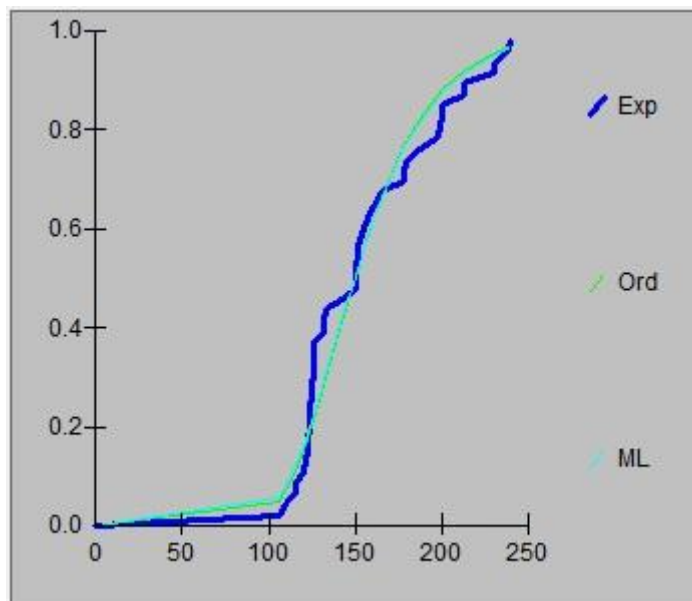
Grafica 9.1 Variación de contenidos de humedad en función de las profundidades de los estratos.

b. Distribución granulométrica de partículas.

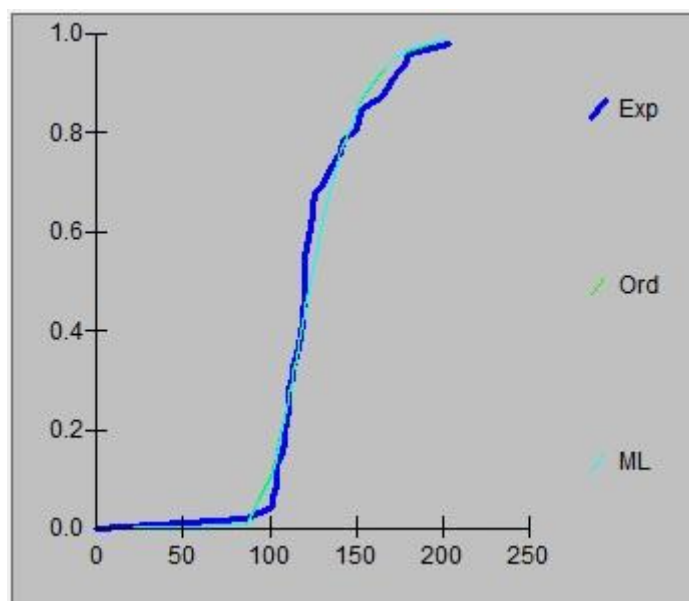


Grafica 9.2. Distribución granulométrica de las partículas de los estratos

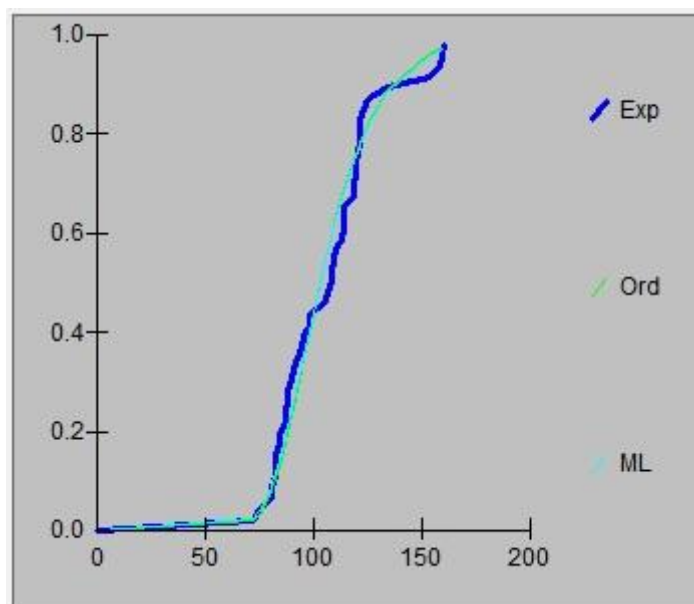
Anexo 3: Gráficos Brindados por el programa Hidroesta determinados por la función de distribución de probabilidades de Gumbell.



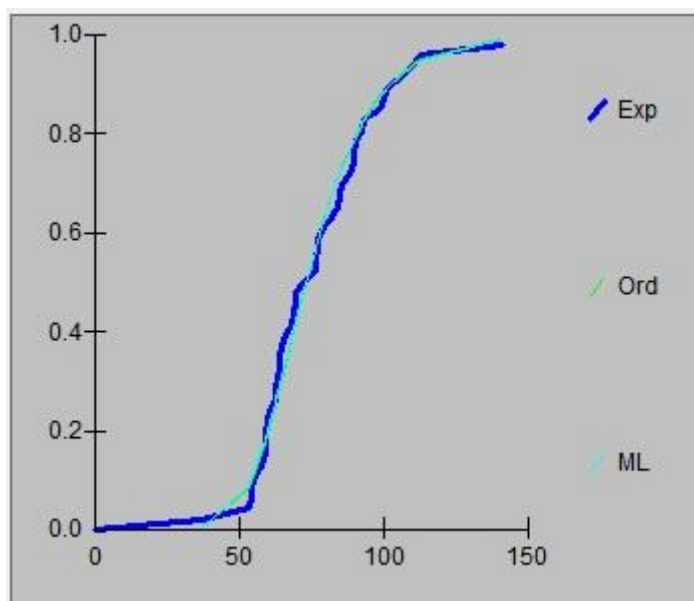
Grafica 9.3. Periodo de 5 minutos



Grafica 9.4. Periodo de 10 minutos.



Grafica 9.5. periodo de 15 minutos



Grafica 9.6. Periodo de 30 minutos.

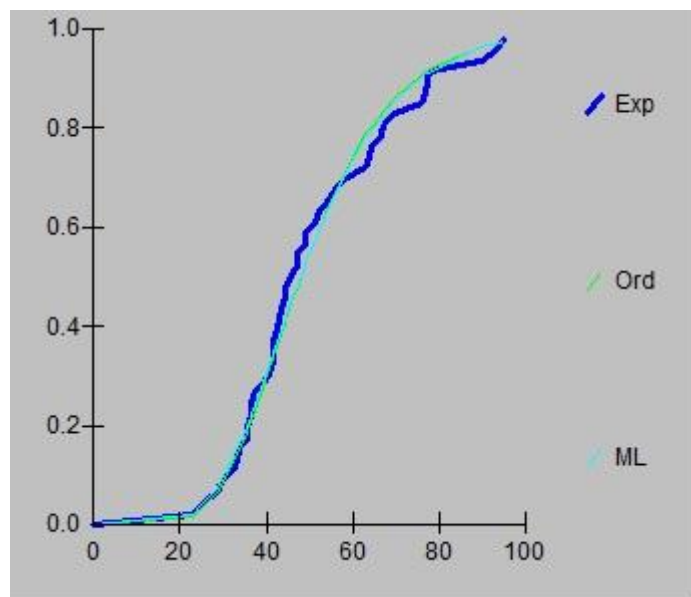
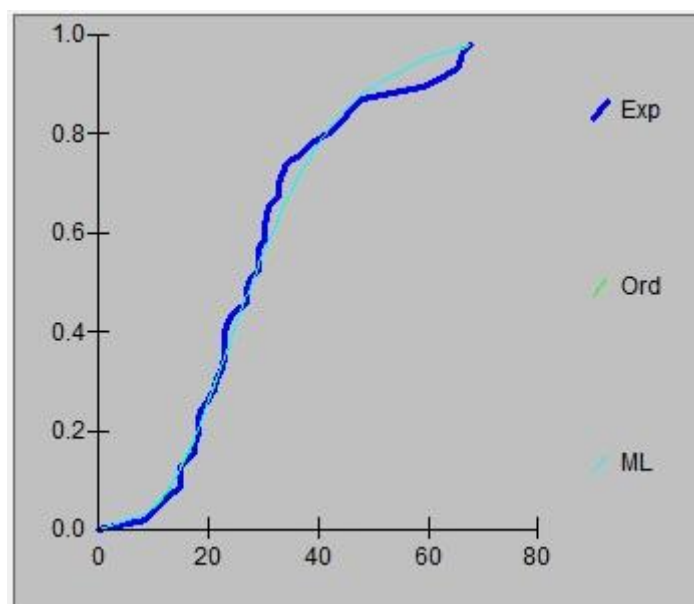
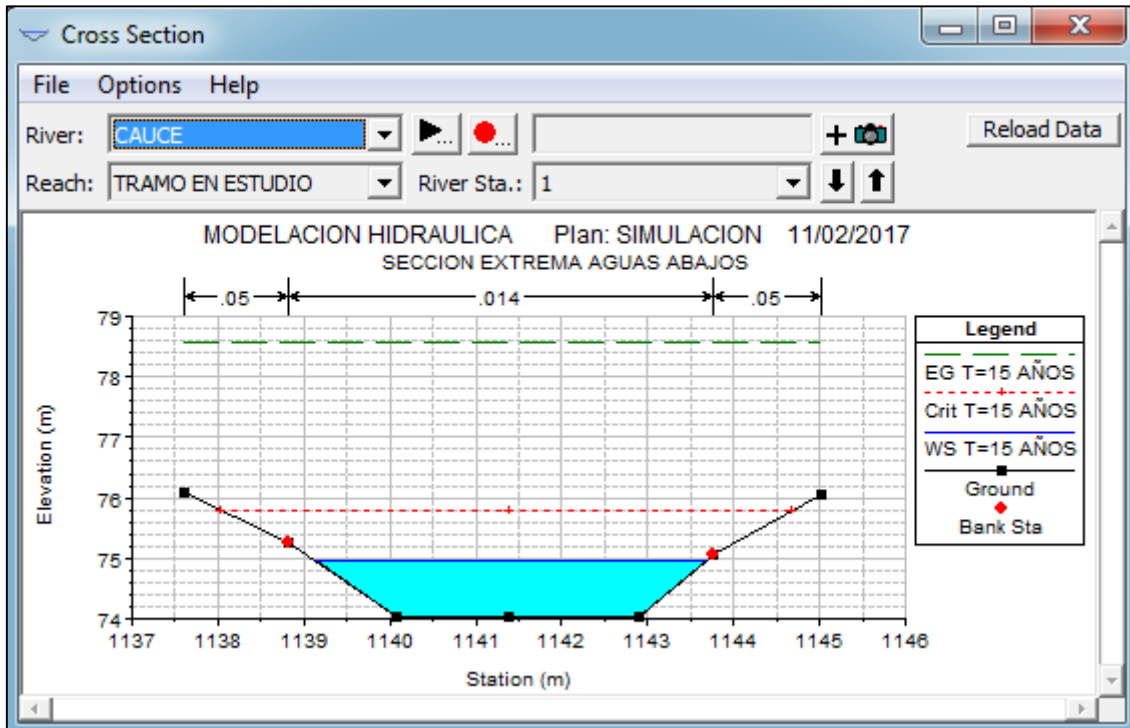


Gráfico 9.7. Periodo de 60 minutos.

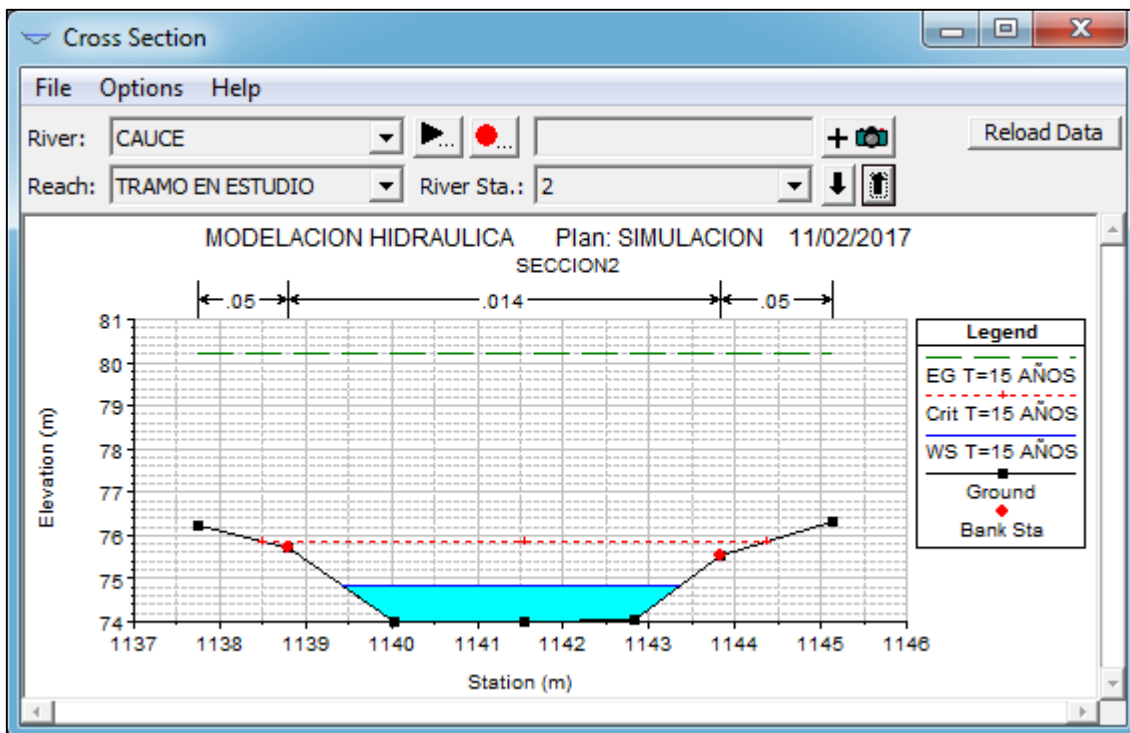


Gráfica 9.8. Periodo de 120 minutos.

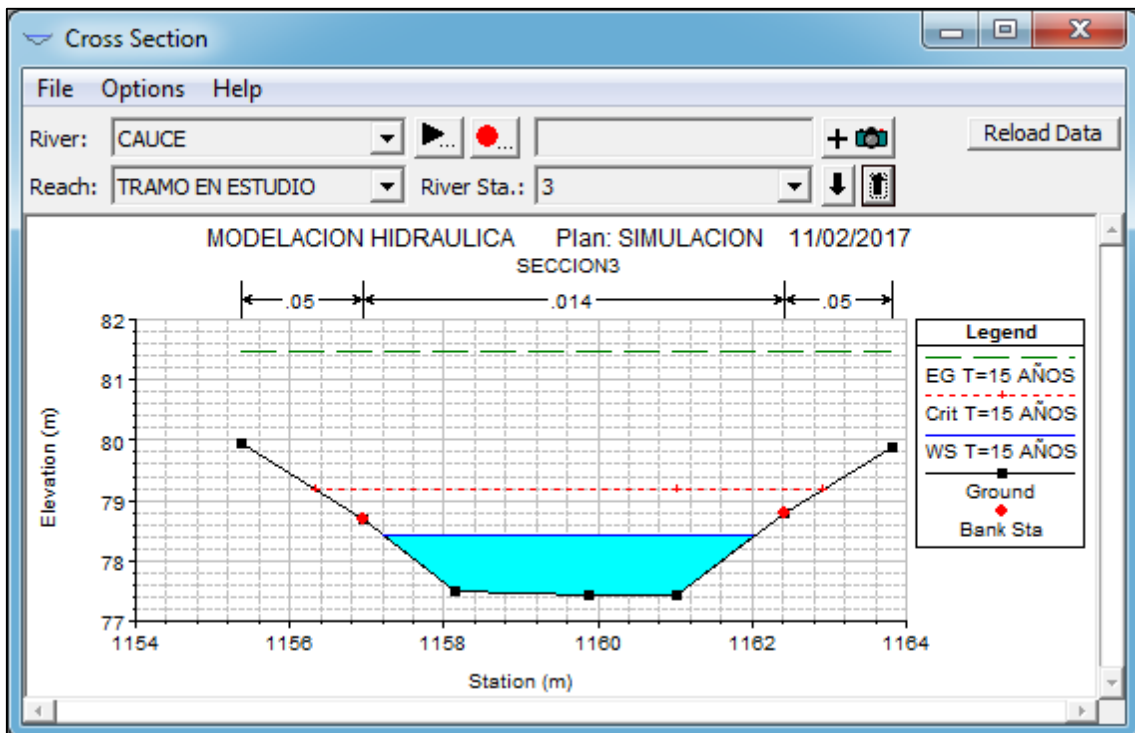
Anexo 4: secciones transversales en Hec-Ras del tramo en estudio puente peatonal Miguel Bonilla -UNICIT del cauce Jocote Dulce.



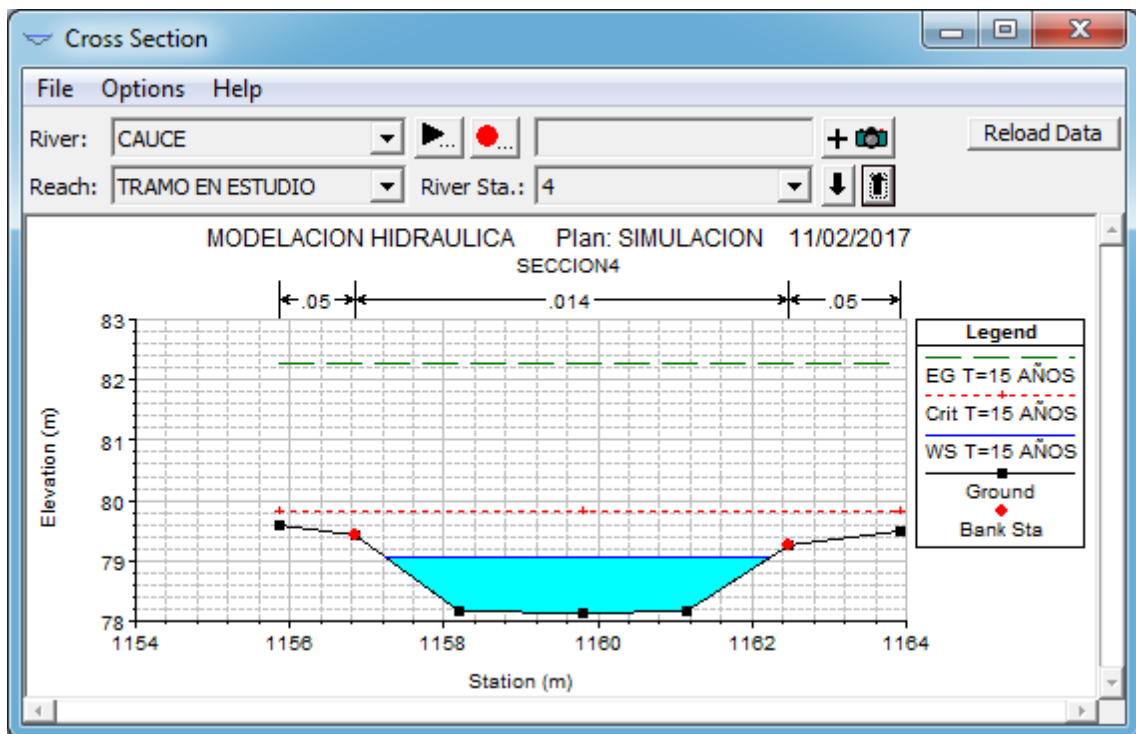
Grafica 9.9. Sección extrema aguas abajos. Estación 0+000



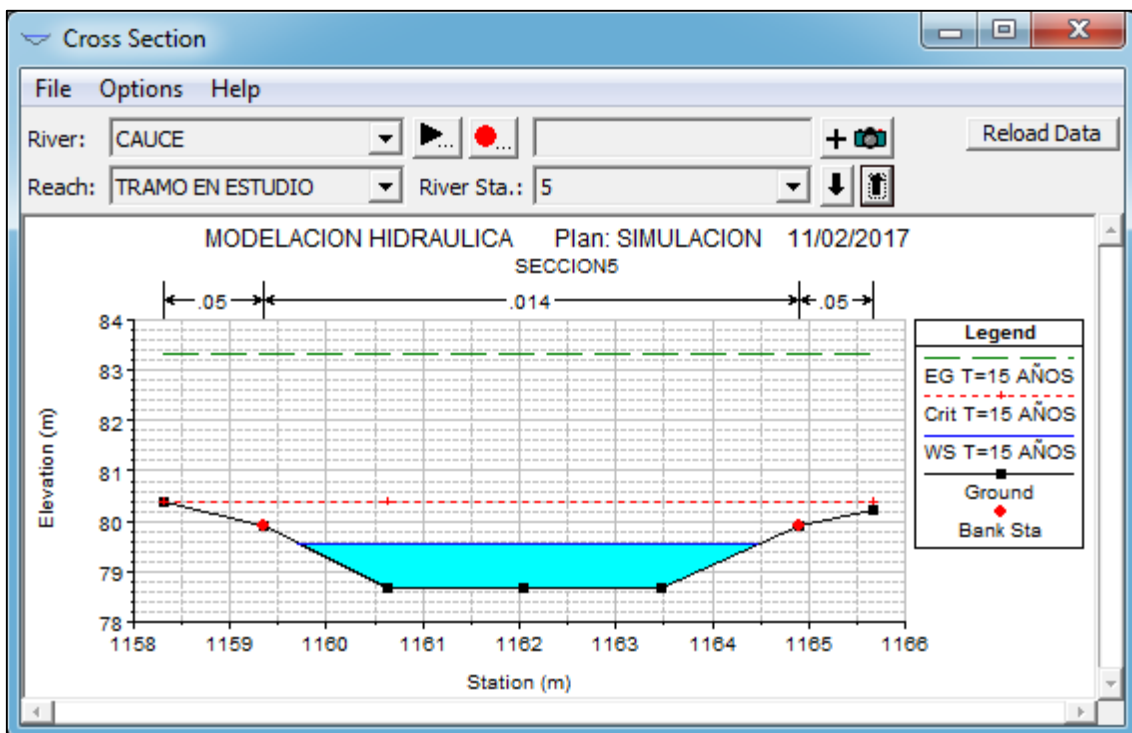
Grafica 9.10. Estación 0+035



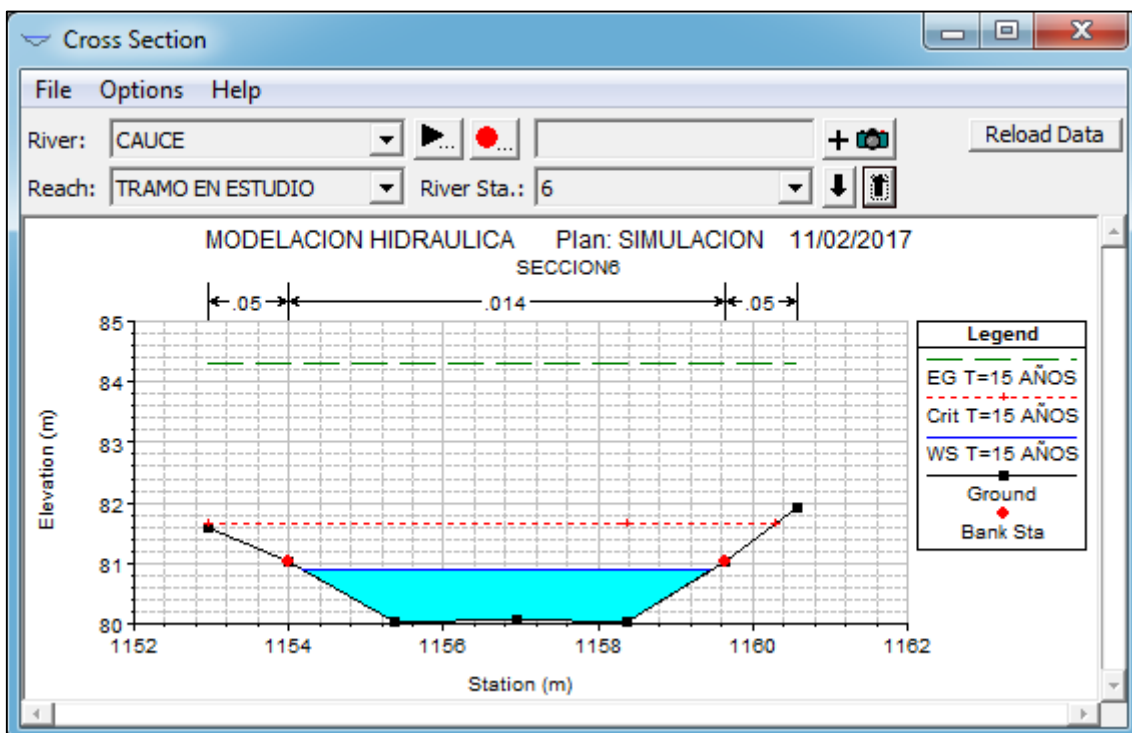
Grafica 9.11. Estación 0+070



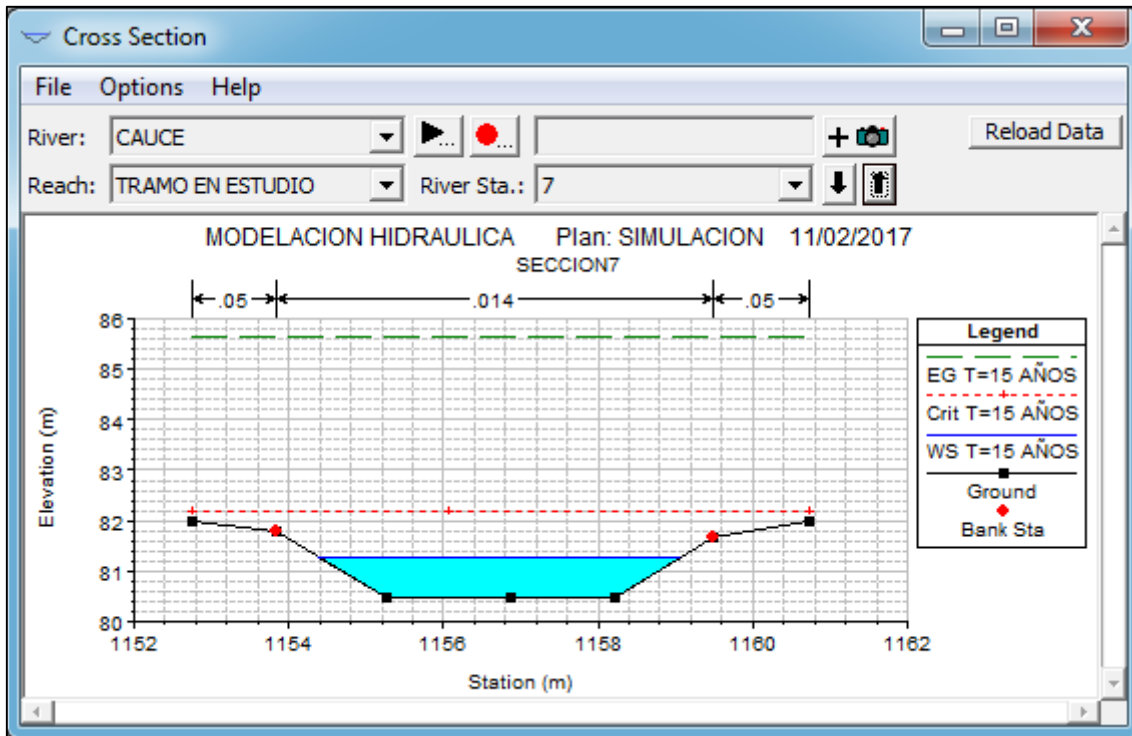
Grafica 9.12. Estación 0+105



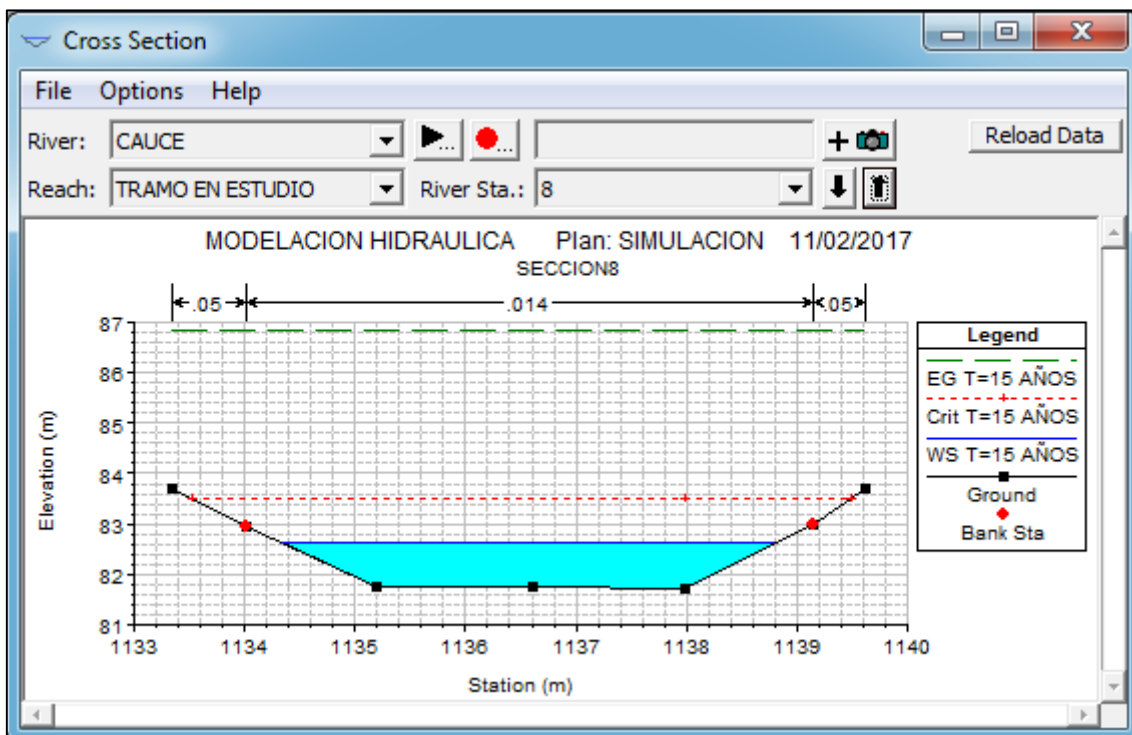
Grafica 9.13. Estación 0+140



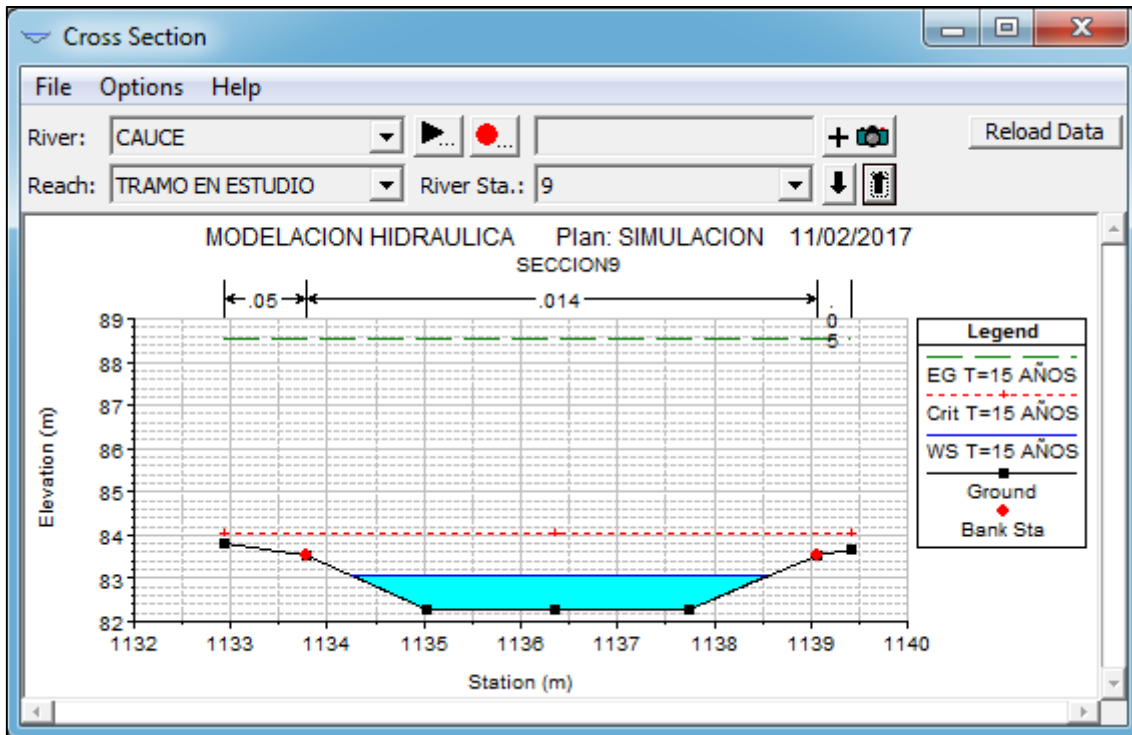
Grafica 9.14. Estación 0+175



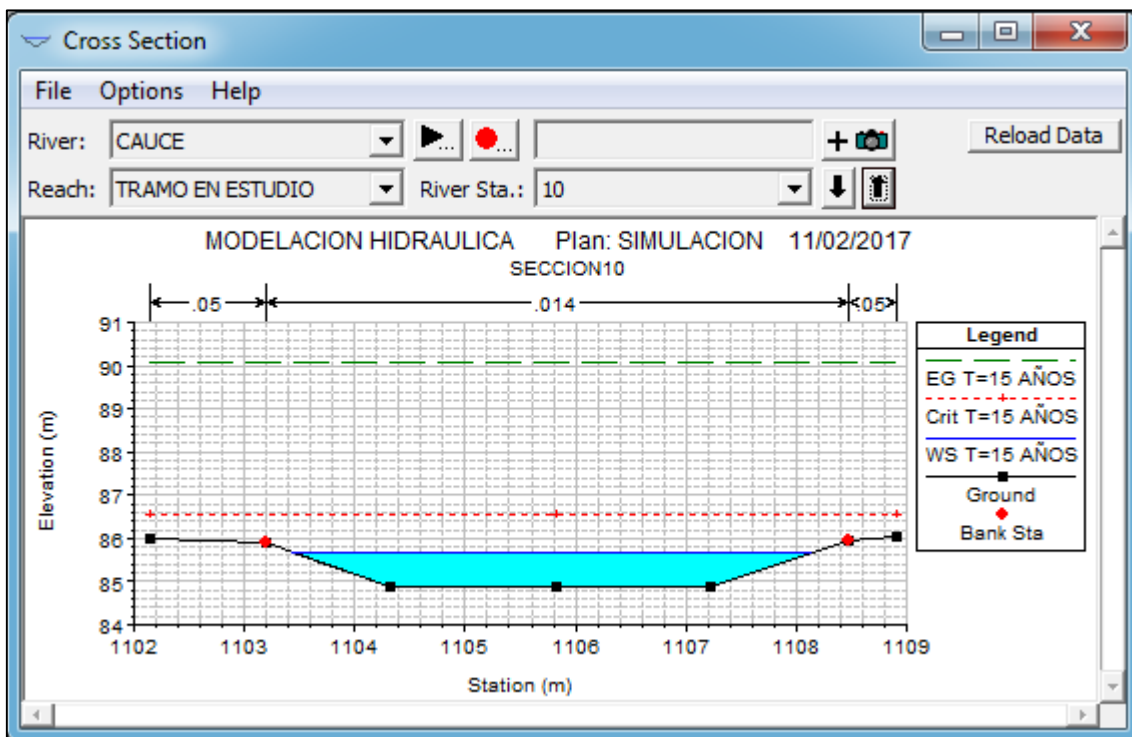
Grafica 9.15. Estación 0+210



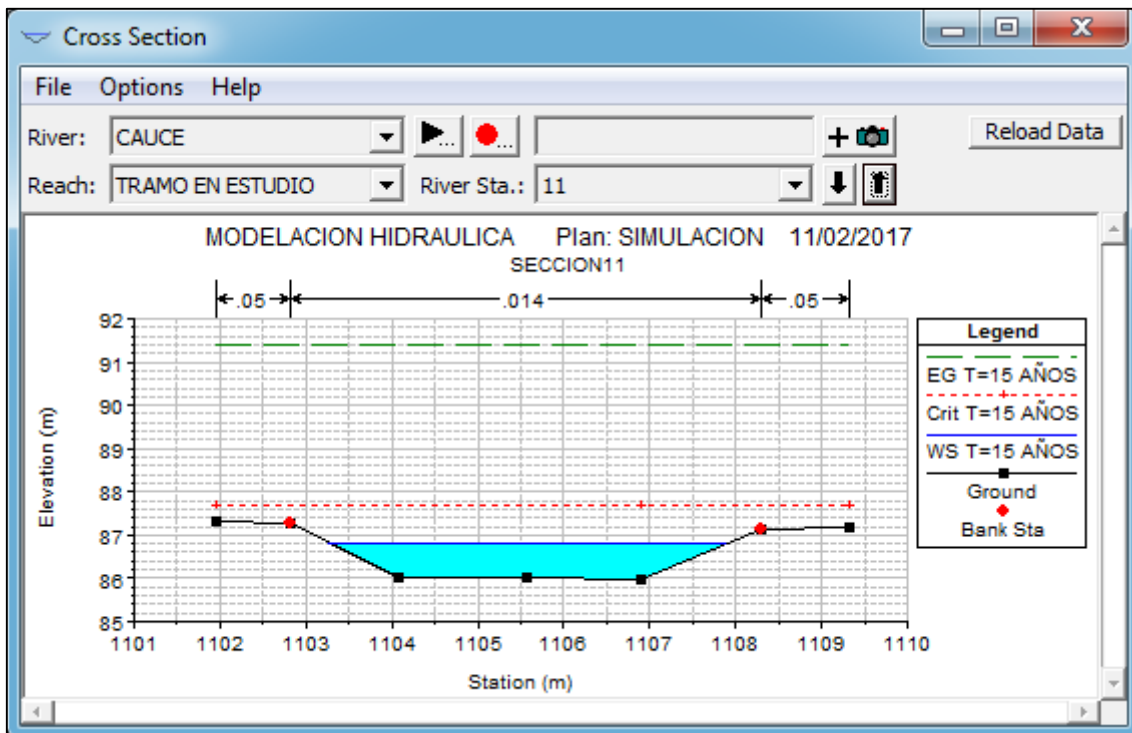
Grafica 9.16. Estación 0+245



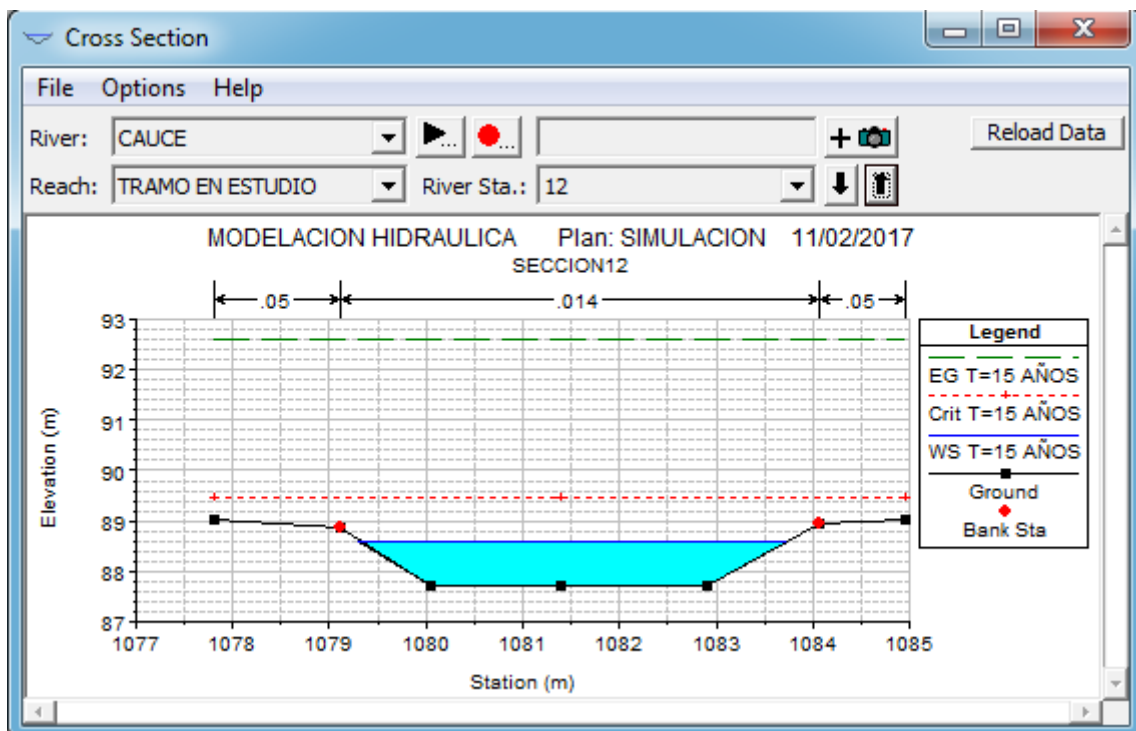
Grafica 9.17. Estación 0+280



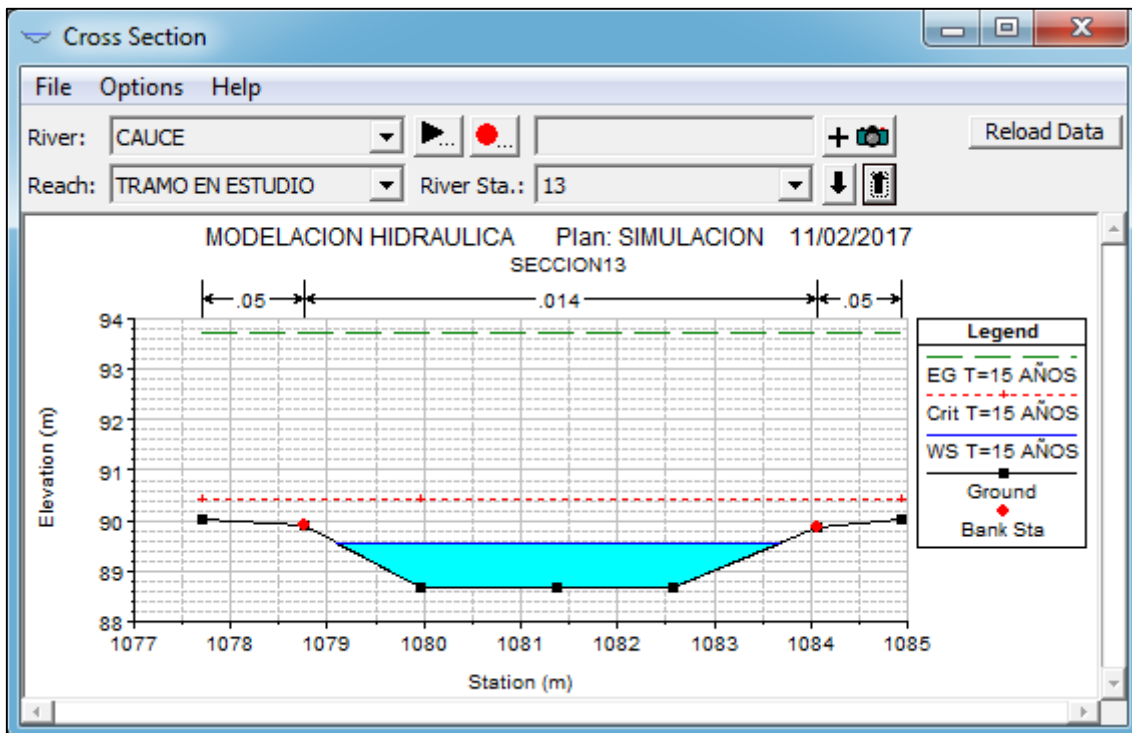
Grafica 9.18. Estación 0+315



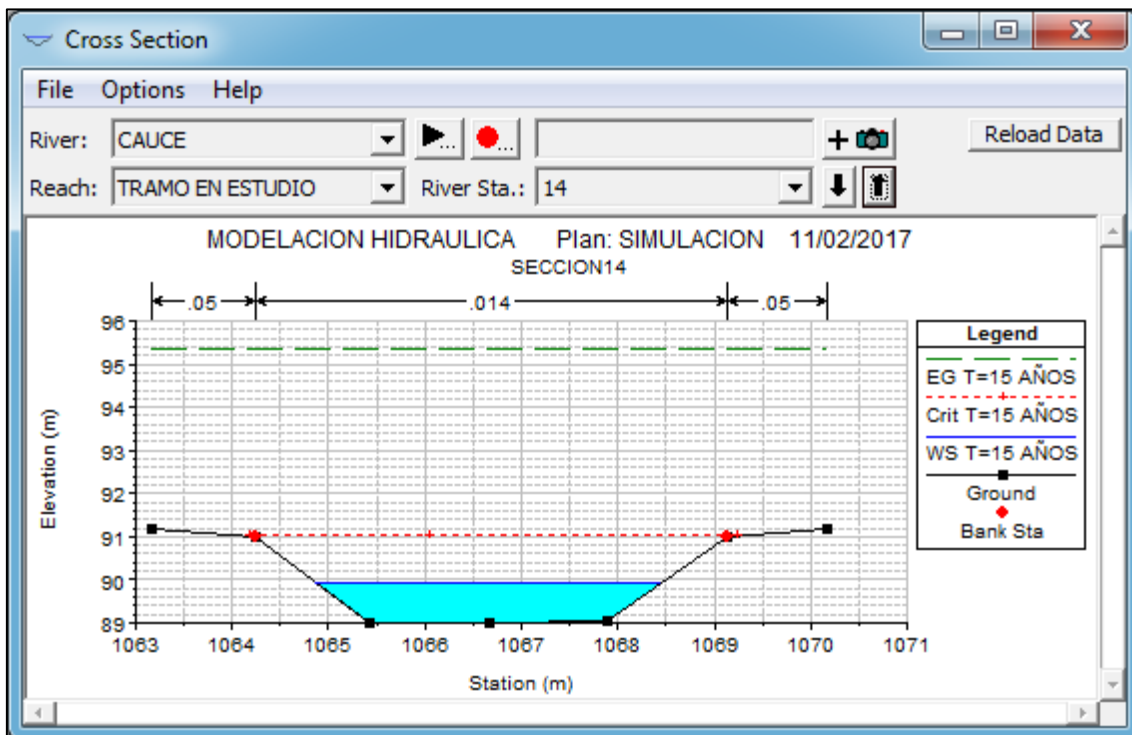
Grafica 9.19. Estación 0+350



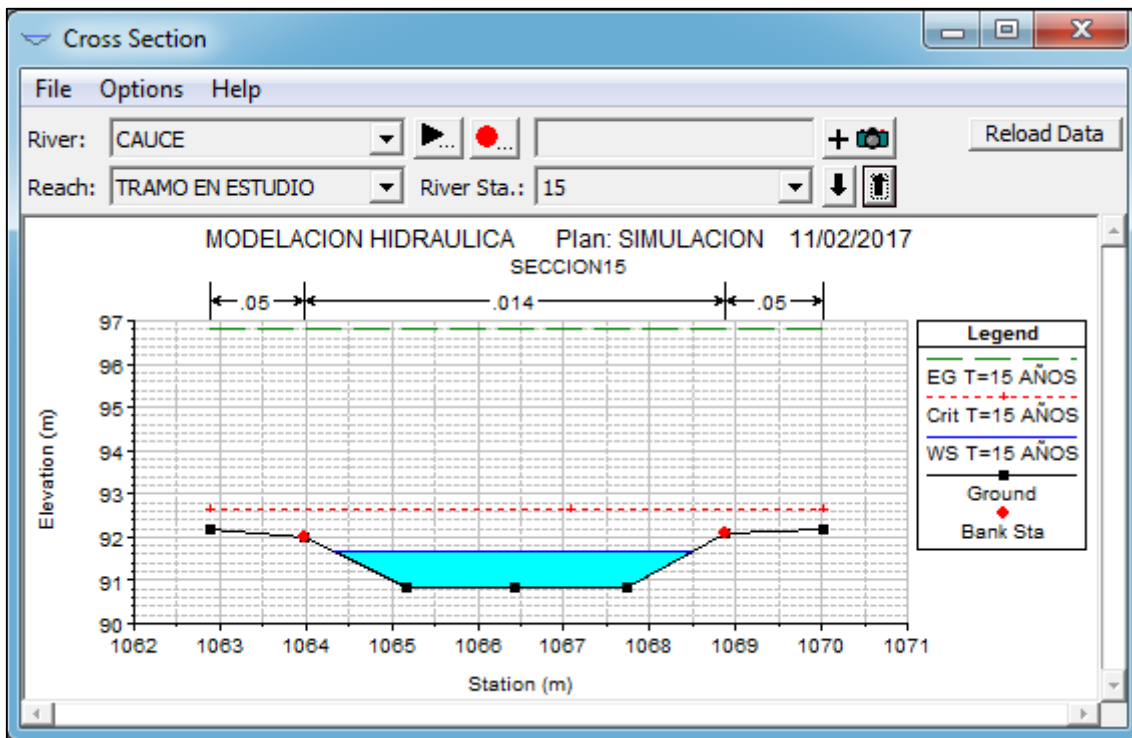
Grafica 9.20. Estación 0+385



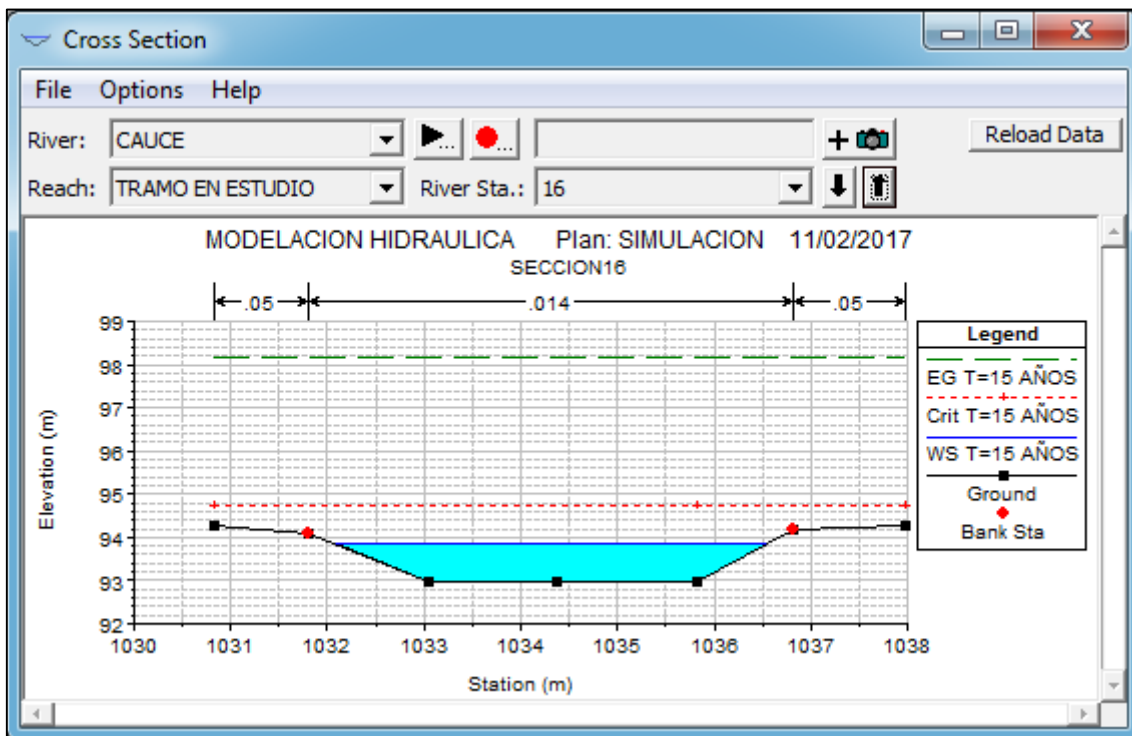
Grafica 9.21. Estación 0+420



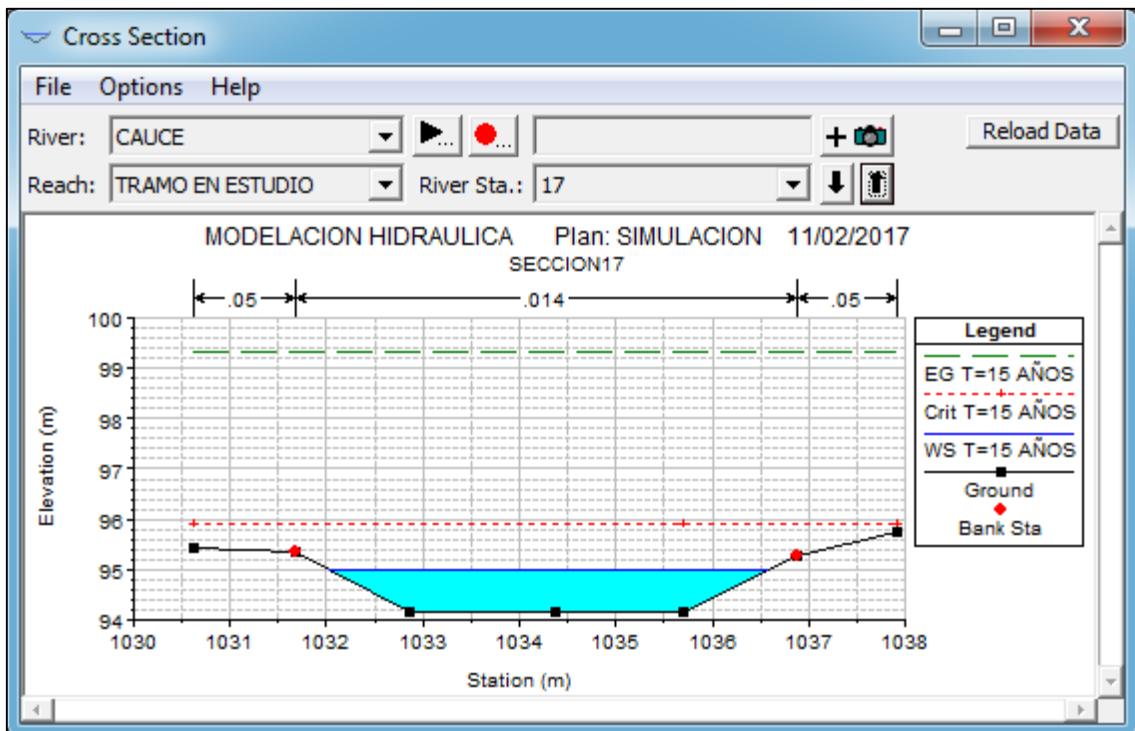
Grafica 9.22. Estación 0+455



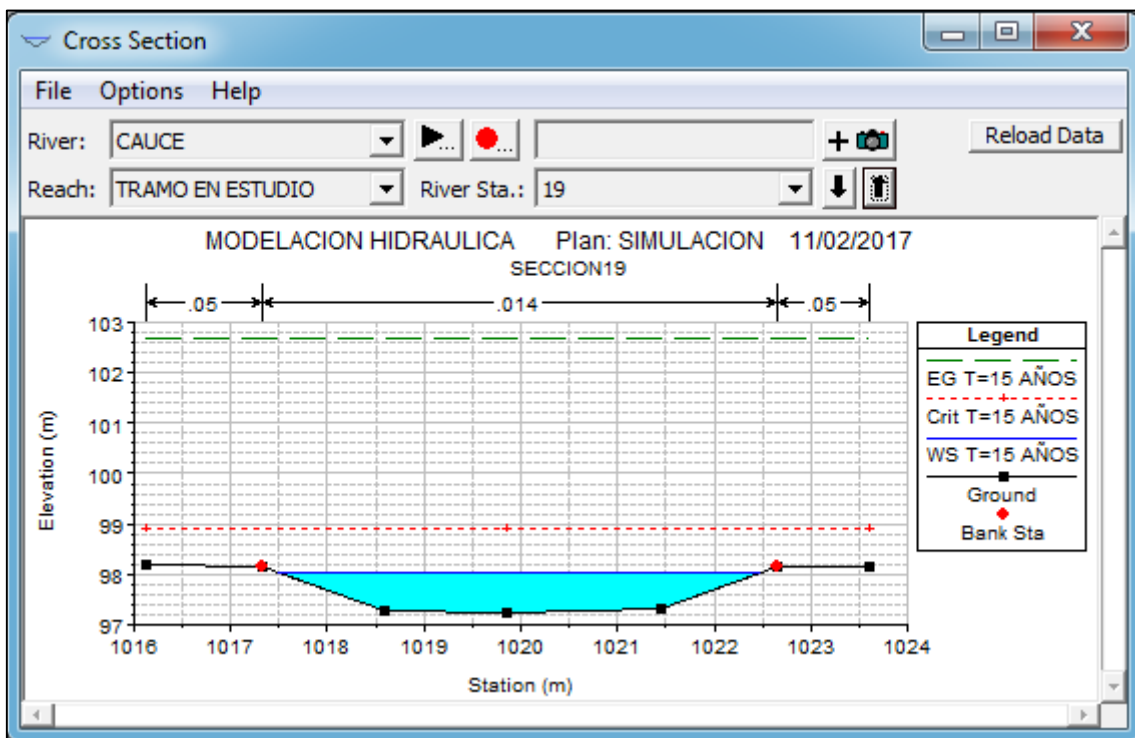
Grafica 9.23. Estación 0+490



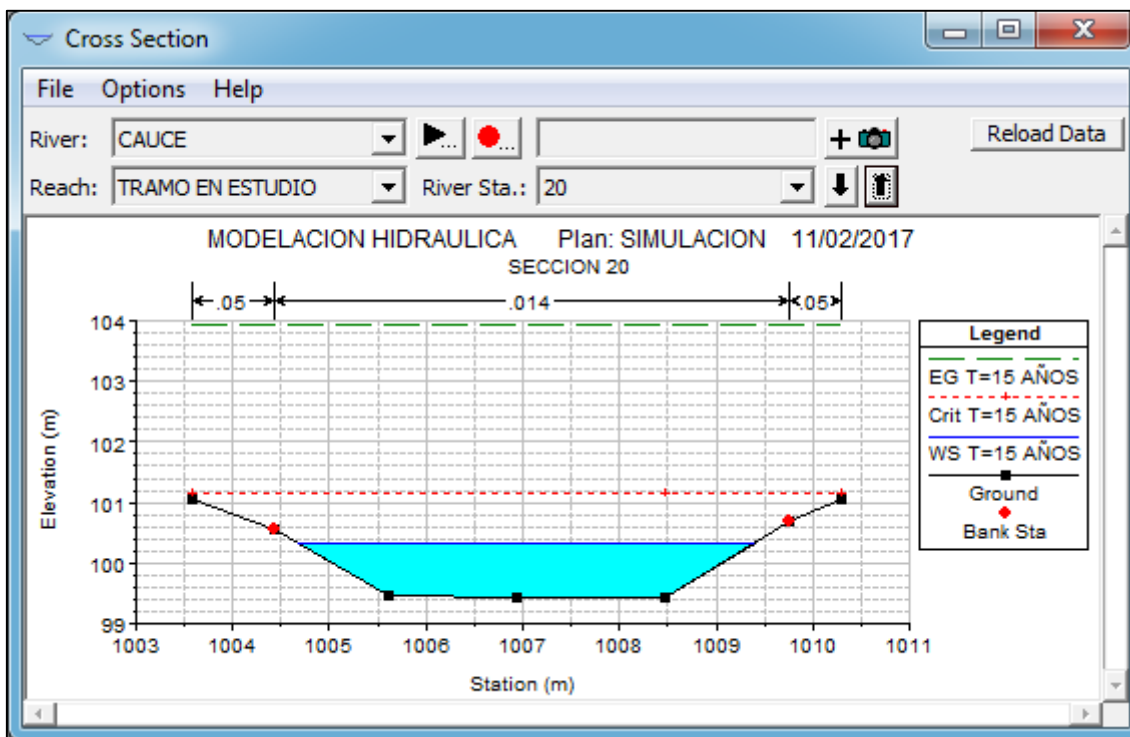
Grafica 9.24. Estación 0+525



Grafica 9.25. Estación 0+560



Grafica 9.26. Estación 0+595



Grafica 9.27. Estación 0+630

Anexo 5: Secciones transversales del tramo puente peatonal Miguel Bonilla – UNICIT en AutoCAD.

Anexo 6: Delimitación de la Cuenca Jocote Dulce en ArcGis 10.3