

**UNIVERSIDAD DE LOS ANDES**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL**  
**MÉRIDA - VENEZUELA**

**ANÁLISIS HIDROLÓGICO - HIDRÁULICO DE LA QUEBRADA LA  
PEDREGOSA EN EL PUENTE DE LA URBANIZACIÓN LA LINDA DEL  
MUNICIPIO LIBERTADOR DEL ESTADO MÉRIDA**

Br. Fernández Arduino Ana Karina

Br. Guillen León Mariuska Del Valle

Tutor: Prof. Ada Moreno Barrios

Cotutor: Prof. Maritza Ramírez

Mayo, 2012

## **DEDICATORIA**

---

A Dios Todopoderoso y a la Virgen, por darnos la sabiduría e iluminarnos el camino a lo largo de este trabajo de grado, por no desampararnos en ningún momento.

A nuestros padres y hermanos (as), por darnos el cariño y el apoyo necesario.

A nuestra tutora Ada Moreno, a quien le agradecemos por su dedicación, constancia, disposición y guía en todo momento.

A los profesores Rafael Torres y Alejandro Delgadillo y al técnico del laboratorio de Topografía Javier Cerrada, por su importante colaboración y guía en este trabajo.

Y en general a todos aquellos que en cierta forma contribuyeron con la realización de este proyecto.

MUCHAS GRACIAS

***Ana Karina y Mariuska***

## INDICE GENERAL

---

Lista de Tablas	vii
Lista de Figuras	ix
Resumen	xi

### **CAPITULO I: INTRODUCCIÓN**

1.1. Planteamiento del Problema.	2
1.2. Objetivos de la Investigación.	6
1.2.1. Objetivo General.	6
1.2.2. Objetivos Específicos.	6
1.3. Justificación de la Investigación.	7

### **CAPITULO II: MARCO TEÓRICO**

2.1. Antecedentes de la Investigación.	9
2.2. Caracterización de la Quebrada La Pedregosa.	14
2.2.1. Localización de la Zona de Estudio.	14
2.2.2. Político – Territorial.	16
2.2.3. Vialidad.	16
2.2.4. Hidrografía.	17
2.2.5. Clima.	17
2.2.6. Precipitación.	18
2.2.7. Temperatura.	18
2.2.8. Geología.	19
2.2.9. Geología Estructural.	24
2.2.10. Geomorfología.	25

2.2.11. Vegetación y Uso Actual de la Tierra.	26
---	----

### **CAPITULO III: MARCO METODOLÓGICO**

3.1. Recopilación de Información.	30
3.1.1. Revisión Bibliográfica y Cartográfica.	30
3.1.2. Revisión de Información Pluviográfica.	30
3.2. Caracterización de Sedimentos y Pendiente Media del Cauce Principal.	31
3.2.1. Muestreo Superficial.	31
3.2.2. Pendiente Media del Cauce Principal.	31
3.3. Realización de los Análisis Hidrológicos.	32
3.3.1. Construcción de Curvas Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF).	32
3.3.2. Estimación de la Precipitación Efectiva.	34
3.3.2.1. Calculo del Número de Curva de Escorrentía (CN).	34
3.3.3. Estimación del Caudal Máximo.	38
3.3.4. Estimación del Caudal Formativo.	40
3.4. Realización de los Análisis Hidráulicos.	42
3.4.1. Estimación de Profundidades para Caudal Formativo y Caudal Máximo.	42
3.4.2. Estimación de la Estabilidad.	43
3.4.2.1. Grados de Libertad.	45
3.4.3. Estimación de la Socavación.	46
3.4.3.1. Socavación General y Transversal.	46
3.4.3.2. Socavación Local en Muros Longitudinales.	50

## CAPITULO IV: RESULTADOS

4.1.	Caracterización de Sedimentos y Pendiente Media del Cauce Principal.	51
4.1.1.	Muestreo Superficial.	51
4.1.2.	Pendiente Media del Cauce Principal.	54
4.2.	Realización de Análisis Hidrológicos.	55
4.2.1.	Construcción de Curvas Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF).	55
4.2.2.	Estimación de la Precipitación Efectiva.	57
4.2.3.	Estimación del Caudal Máximo.	65
4.2.4.	Estimación del Caudal Formativo.	67
4.3.	Realización de los Análisis Hidráulicos.	69
4.3.1.	Estimación de Profundidades para Caudal Formativo y Caudal Máximo.	71
4.3.2.	Estimación de la Estabilidad.	74
4.3.2.1.	Grados de Libertad.	75
4.3.3.	Estimación de la Socavación.	77
4.3.3.1.	Socavación General y Transversal.	77
4.3.3.2.	Socavación Local en Muros Longitudinales.	79
4.4.	Diseño de Muros de Enrocado y de Concreto Ciclópeo.	80
4.4.1.	Diseño de Muros de Enrocado.	80
4.4.2.	Diseño de Muros de Concreto Ciclópeo.	82

## **CAPITULO V: ANÁLISIS Y ALTERNATIVAS DE SOCAVACIÓN**

5.1.	Análisis de la Socavación de las Secciones Transversales.	85
5.2.	Alternativas para Corregir la Socavación de las Márgenes de la Quebrada.	87

## **CAPITULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

	Conclusiones.	94
	Recomendaciones.	96
	Bibliografía.	98
	Glosario.	102
	Anexos.	112

[www.bdigital.ula.ve](http://www.bdigital.ula.ve)

## ***Lista de Tablas***

---

- **Tabla 1.** Precipitación máxima y mínima registrada en la estación La Punta para el periodo 1960-1995. 18
- **Tabla 2.** Definición de la condición de humedad antecedente. 36
- **Tabla 3.** Grupos hidrológicos de suelos. 36
- **Tabla 4.** Velocidades máximas no erosionables. 45
- **Tabla 5.** Coeficiente  $\beta$ . 48
- **Tabla 6.** Valores de X y  $(1/1+X)$  para suelos no cohesivos. 49
- **Tabla 7.** Coeficiente de contracción Cc. 49
- **Tabla 8.** Resultado final del análisis granulométrico. 52
- **Tabla 9.** Intensidades máximas de precipitación en mm/h para diferentes frecuencias y duraciones de 1, 2, 3, 6, 12 y 24 horas. Estación santa Rosa. 56
- **Tabla 10.** Tipos de cobertura vegetal. 57
- **Tabla 11.** Valores de CN tomados de diferentes autores. 61
- **Tabla 12.** Valores de CN seleccionados. 62

- **Tabla 13.** Valores parciales del tiempo de concentración. 64
- **Tabla 14.** Áreas estimadas de las isócronas. 65
- **Tabla 15.** Cuadro comparativo entre dimensiones actuales y dimensiones estables. Enrocado 1. 76
- **Tabla 16.** Cuadro comparativo entre dimensiones actuales y dimensiones estables. Enrocado 2. 76
- **Tabla 17.** Cuadro comparativo entre dimensiones actuales y dimensiones estables. Enrocado 3. 77

[www.bdigital.ula.ve](http://www.bdigital.ula.ve)

## LISTA DE FIGURAS

---

<b>Figura 1.</b> Localización de la zona en estudio.	15
<b>Figura 2.</b> Curva combinada.	53
<b>Figura 3.</b> Perfil Longitudinal.	55
<b>Figura 4.</b> Curvas de Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF) para duraciones de 1, 2, 3, 6,12 y 24 horas y periodos de retorno de 25, 50 y 100 años. Estación Santa Rosa.	56
<b>Figura 5.</b> Cobertura vegetal.	59
<b>Figura 6.</b> Grupos hidrológicos de suelos.	60
<b>Figura 7.</b> Isócronas.	66
<b>Figura 8.</b> Hidrograma total para la estimación del caudal máximo.	67
<b>Figura 9.</b> Levantamiento topográfico del tramo en estudio.	70
<b>Figura 10.</b> Sección transversal progresiva 0+110.	72
<b>Figura 11.</b> Sección transversal progresiva 0+020.	73
<b>Figura 12.</b> Sección transversal progresiva 0+060.	74

<b>Figura 13.</b> Dimensiones del muro 1.	83
<b>Figura 14.</b> Dimensiones del muro 2.	85
<b>Figura 15.</b> Solape de secciones, progresiva 0+110.	86
<b>Figura 16.</b> Solape de secciones, progresiva 0+020.	87
<b>Figura 17.</b> Solape de secciones, progresiva 0+060.	87
<b>Figura 18.</b> Ubicación de recubrimiento marginal. Muros de enrocado.	89
<b>Figura 19.</b> Formas de proteger un recubrimiento marginal contra la erosión local.	91
<b>Figura 20.</b> Ubicación de recubrimiento marginal. Muro ciclópeo y de enrocado.	93
<b>Figura 21.</b> Progresivas de las secciones transversales en estudio.	113
<b>Figura 22.</b> Ubicación de los muros de concreto ciclópeo.	114

## RESUMEN

---

Las cuencas hidrológicas de montaña, se caracterizan por presentar en menor o mayor grado condiciones de torrencialidad, lo que depende de las características naturales y del abuso del ser humano a la naturaleza. Es por ello que cuando se realiza el estudio hidrológico e hidráulico de la quebrada La Pedregosa, es con la finalidad de proponer obras de corrección de cauces en zonas críticas, así como identificar las zonas de vulnerabilidad a efectos de erosión y socavación y realizar el estudio de validación de los muros longitudinales ubicados en las cercanías del puente de la urbanización La Linda. A lo largo de este estudio, se pudo obtener una estimación de caudales para periodos de retornos de 100 y 1,4 años, dando así 171,56 m<sup>3</sup>/seg y 1,75 m<sup>3</sup>/seg, respectivamente. A partir de estos datos, se pudieron estimar las socavaciones generales presentes en el tramo de estudio, dando alrededor de los 2 m. Una de las zonas más vulnerables se ubica en la margen derecha del río, provocada por la erosión; y en la margen izquierda donde se está presentando la formación de un meandro para las cuales se recomienda un diseño de un muro de enrocado. También se recomendó el diseño de dos muros de concreto ciclópeo, uno para la protección del puente y el otro como protección a las edificaciones adyacentes.

## **CAPITULO I**

---

### **INTRODUCCIÓN**

Durante los últimos años, los temas vinculados con el estudio y análisis de amenazas naturales, susceptibilidad a la ocurrencia de procesos geodinámicos, vulnerabilidad y riesgos socionaturales, han despertado el interés de muchos autores del mundo, político económico y social.

A partir del análisis de los factores que condicionan la ocurrencia de dichos procesos, del conocimiento del período de retorno de fenómenos naturales, del estudio de la vulnerabilidad social, estructural y económica y en algunos casos estudio de riesgos socionaturales conllevan al propósito de contribuir a un adecuado manejo y gestión de las cuencas hidrográficas.

El Estado Mérida cuenta con un gran potencial hídrico representado por diversos ríos, estos cursos de agua están caracterizados por drenar cuencas de altas pendientes y tiempos de viaje cortos.

La quebrada La Pedregosa, presenta un régimen torrencial muy marcado, lo cual ha inducido a la presentación de situaciones irregulares cuando ocurren crecidas de elevada magnitud, todos estos eventos han producido daños materiales a lo largo del curso de agua de dicha quebrada, presentando así riesgo constante en la población.

## 1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El agua es un recurso vital para el desarrollo de los seres vivos encontrándose disponible en la naturaleza en tres estados: sólido (hielo, nieve), líquido (lluvia, ríos, lagos, mares) y gaseoso (nubes, vapor en suspensión en la atmósfera). Los ecosistemas de agua dulce representan una porción relativamente pequeña de la superficie de la tierra, en comparación con los ecosistemas marinos y terrestres; sin embargo, su importancia para el hombre es considerable ya que constituyen la fuente más apropiada y económica de abastecimiento de agua para diferentes usos.

Así mismo, el agua es un importante factor en la economía de las sociedades y un elemento fundamental en la planificación de cualquier obra ingenieril. El estudio de sus propiedades, distribución y movimientos en el planeta, es decir, el campo de estudio de la hidrología, constituye un aspecto básico en la formación del ingeniero civil. Es difícil concebir algún tipo de obra cuyo diseño, construcción y operación no estén directa o indirectamente relacionados con el agua. Algunas estructuras, tales como puentes, pontones y cajones de paso fallan como consecuencia del escaso conocimiento sobre el comportamiento del mencionado elemento.

El análisis hidrológico es fundamental para el planeamiento, diseño y operación de las obras hidráulicas. Estas estructuras varían en dimensión, desde cunetas, alcantarillas, puentes, embalses, diques, entre otras, sin

embargo, el análisis hidrológico mantiene los mismos principios para la ejecución de cualquier obra de infraestructura.

Los fenómenos hidrológicos son muy complejos, por lo que nunca pueden ser totalmente conocidos. A falta de un conocimiento exacto de los procesos, cualquier fenómeno se puede representar de una manera simplificada mediante el concepto de sistema. Un sistema viene a ser un conjunto de partes que interactúan como un todo. El ciclo hidrológico puede considerarse como un sistema, cuyos principales componentes son: precipitación, evaporación y escorrentía. Estos componentes pueden reagruparse en subsistemas separadamente y combinar los resultados de acuerdo con las interacciones entre ellos (Chow, Maidment, & Mays, 1994).

Como resultado de la interacción entre los componentes del ciclo hidrológico, puede obtenerse la información necesaria para cuantificar la disponibilidad de agua, pero también se pueden conocer los valores extremos de caudal, para analizar el curso de agua como una amenaza natural.

En Venezuela existe la tendencia a subestimar el nivel de riesgo al que se puede exponer una determinada población frente a la ocurrencia de eventos extremos de precipitación o posibles inundaciones. Por lo general, la

confrontación amenaza-susceptibilidad es escasamente considerada durante el proceso de planificación del desarrollo nacional y regional.

Los diferentes momentos trágicos desatados por la ocurrencia de lluvias extremas en años anteriores en diferentes estados del país, tales como Vargas, Táchira, Aragua, Mérida, entre otros, con consecuencias catastróficas en las que cabe mencionar pérdidas de vidas humanas, de viviendas, damnificados, destrucción de obras civiles, socavación de diferentes puentes y el colapso de vías de comunicación han perjudicado la calidad de vida de los venezolanos y obligan al Estado a invertir grandes sumas de dinero para la recuperación de los daños causados por los cuerpos de agua.

El estado Mérida cuenta con un gran potencial hídrico representado principalmente por el río Mucujún, el Albarregas, el Chama, las quebradas La Pedregosa, Carvajal y Gavidia. Estos cursos de agua están caracterizados por drenar cuencas de altas pendientes y tiempos de viaje cortos, encontrándose dentro de la clasificación de ríos de montaña.

Todas las cuencas hidrológicas de montaña según López 2000 citado por (Dávila & Requena, 2004) se caracterizan por presentar en mayor o menor grado condiciones de torrencialidad. Tales condiciones dependen en primer lugar de las características naturales intrínsecas de la cuenca receptora, pero

también son consecuencias del grado y tipo de intervención que el hombre haya hecho de sus recursos naturales.

La quebrada La Pedregosa, al igual que muchos ríos y quebradas de la geografía meridiana, presenta un régimen torrencial muy marcado. El mismo está definido por sus características morfométricas, su régimen de precipitación y factores relacionados con el suelo. Aunado a estas características se debe mencionar el uso inadecuado de los suelos en esta quebrada, lo cual ha inducido a la presentación de situaciones irregulares cuando ocurren crecidas de elevada magnitud. En los últimos 30 años según datos de INPRADEM, se han presentado diferentes eventos de crecidas torrenciales, por ejemplo las de los años 1993, 1996, 1999, 2001, 2005, 2007, todos estos eventos han producido daños materiales específicamente a viviendas de la Vega de los Maitines, en estructuras como el puente La Pedregosa, en la urbanización La Linda y la vía principal de la Urbanización La Floresta provocando así que la población esté en un constante riesgo.

Por todo lo expuesto anteriormente, surge la necesidad de realizar una investigación dirigida a desarrollar un estudio de la hidráulica fluvial de la quebrada La Pedregosa y estimar la socavación local que pueden sufrir los muros longitudinales ubicados en el cauce cercanos a la urbanización La Linda del Municipio Libertador del estado Mérida.

## **1.2. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN**

### **1.2.1. Objetivo General:**

- Realizar un análisis Hidrológico – Hidráulico de la quebrada La Pedregosa, con la finalidad de proponer obras de corrección de cauces y protección de margen en zonas críticas.

### **1.2.2. Objetivos específicos:**

- Identificar zonas más vulnerables a efectos negativos de erosión y socavación provocados por crecidas en la quebrada La Pedregosa.
- Proponer y diseñar obras de corrección de cauces en zonas críticas.
- Evaluar el diseño de los muros longitudinales construidos en las cercanías del puente de la urbanización La Linda.

### 1.3. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

La cuenca de la quebrada La Pedregosa, al igual que muchos ríos de la geografía merideña presenta un régimen torrencial muy marcado, el cual está definido por sus características morfológicas, su régimen de precipitación así como los factores relacionados con el suelo. Las crecidas torrenciales, constituyen respuestas hidrológicas generadas por los ríos de montaña ante la ocurrencia de lluvias de cierta intensidad y duración, con flujos muy rápidos y gran poder de arrastre de materiales, lo que los hace sumamente destructivos cuando exceden la capacidad de transporte de sus secciones hidráulicas.

Se puede afirmar que las crecidas torrenciales son impredecibles por lo que deben aplicarse metodologías para la zonificación de los conos de deyección que tenga en cuenta el factor riesgo, con lo cual se contribuye a una planificación integral orientada a disminuir cuantiosas pérdidas económicas tanto del Estado como del sector privado y las perturbaciones sociales que estos fenómenos conllevan.

El aumento acelerado de la población, ha llevado al hombre a establecerse en zonas que pueden no ser las más seguras ante la ocurrencia de eventos extremos de precipitación. Los ríos, en especial los de montaña, con tiempos de respuesta muy rápidos, deben ser cuidadosamente

estudiados para conocer su comportamiento hidráulico y poder predecir si representan una amenaza natural para las viviendas y las obras que le rodean en el momento en que se presente una precipitación asociada a un periodo de retorno determinado.

La elaboración de este trabajo de investigación pretende realizar un estudio completo de la hidráulica fluvial de un río de montaña, específicamente la quebrada La Pedregosa. De igual manera, se busca definir las magnitudes de socavación en las distintas obras hidráulicas que ocupan el cauce en la cercanía de la urbanización La Linda, también es necesario evaluar la necesidad de proteger contra la socavación local los márgenes del río en la cercanía de la urbanización mencionada, y las obras de fundación del puente que sirve de comunicación a estas residencias.

A continuación se presentan las bases teóricas que dan sustento a esta investigación, enumerando en primer lugar los trabajos previos en el área de estudio, para luego dar una breve caracterización de la zona objeto de análisis.

### **2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN**

Hay que destacar que la hidráulica fluvial es la rama de la hidráulica que se dedica al estudio del comportamiento de los ríos. A través de ella es posible predecir cuál será la reacción y evolución de un río ante cualquier intervención del hombre, bien sea en el propio cauce y márgenes, en su espacio fluvial asociado e incluso a un nivel mayor, la cual trae alteraciones en la cuenca de aportación tales como reducción de la superficie forestal en favor de usos agrícolas y urbanos.

Los estudios y proyectos asociados a la hidráulica fluvial son muy diversos. Son especialmente significativos los relacionados con estudios de inundabilidad y defensa de poblaciones frente a inundaciones, delimitación del dominio público hidráulico así como los relacionados con la restauración

de ríos y riberas. La complejidad de la hidráulica fluvial hace necesarios los conocimientos en hidrología, hidráulica, geomorfología y transporte de sedimentos.

Las aguas fluviales constituyen un agente erosivo de primera magnitud. El agua continental fluye, en gran parte, en forma de ríos que discurren sobre la superficie, o de corrientes subterráneas, desgastando los materiales que hay por donde pasan y arrastrando los restos o sedimentos en dirección hacia las partes más bajas del relieve, dejándolos depositados en diversos lugares, formando terrazas, conos de deyección y, en definitiva, modelando el paisaje. El agua de las corrientes fluviales puede crear cascadas, grutas, desfiladeros, meandros, cañones, deltas, estuarios, entre otros. En ocasiones inunda determinadas regiones más o menos amplias del territorio causando desastres económicos y víctimas; a pesar de todo ello, los seres humanos casi siempre se han asentado en las márgenes de los ríos, lagos o manantiales, con el fin de garantizar un suministro adecuado de agua.

Mora (2004), realizó un estudio para mitigar riesgos de crecidas torrenciales en la cuenca de la Quebrada La Pedregosa, entre las medidas propuestas destacan: (1) Muro – espigón, (2) dos trampas de retención temporal del material sólido y (3) regulación y estabilización del cauce con enrocados. Además el autor resaltó que en los últimos años se han suscitado

crecidas de considerable magnitud que han afectado algunos sectores poblados cercanos al cauce de la quebrada La Pedregosa.

Dávila y Requena (2004), elaboraron un trabajo de investigación sobre la amenaza hidrológica en el cono de deyección donde se encuentra la quebrada La Pedregosa sector La Pedregosa, en dicha investigación los autores señalan que el riesgo hidrológico es la probabilidad de ocurrencia de un evento hidrometeorológico que exceda un valor específico de daños sociales, ambientales y económicos en un lugar y tiempo dado.

Además la amenaza hidrometeorológica referida a la ocurrencia de eventos de lluvias tiene un carácter incontrolable, pero su componente hidráulico, es decir la ocurrencia de crecidas destructivas puede ser controlable en el mediano y largo plazo si se aplican técnicas adecuadas de gestión hidrográficas y se implementan programas, acciones y obras de corrección de torrentes. Se desarrolló como una investigación de tipo documental y de campo. En dicha investigación los autores llegaron a la conclusión que las amenazas hidrológicas pueden ser controladas si se aplican las obras de estructura y canalización de quebradas o ríos.

Landaeta (2004), realizó un trabajo de investigación donde aplicó los modelos Caudal 3, HEC-HMS, SMADA y Métodos Empíricos para determinar Caudales máximos, para el evento de precipitación del 30-10-2001; mediante el empleo de los registros de la estación La Punta (serial 8055); se construyó

la curva Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF) considerando períodos de retorno de 20, 50 y 100 años. Los resultados indicaron que el evento ocurrido en Octubre del 2001, estuvo alrededor de los 250 m<sup>3</sup>/s. Además, mediante el uso de parámetros hidráulicos se estimó un caudal pico de 306,74 m<sup>3</sup>/s, valor bastante cercano al obtenido mediante el uso del modelo HEC - HMS el cual dio como resultado un caudal máximo para un periodo de retorno de 100 años de 299,7 m<sup>3</sup>/s para toda la cuenca. Por otro lado, señala que el modelo HEC – HMS, proporciona los resultados más aceptables de todos los modelos empíricos aplicados.

Moreira (2007), elaboró un trabajo de investigación donde determinó zonas de desborde en la cuenca de la quebrada la Pedregosa, en dicho documento el autor explica que el uso de modelos para calcular caudales máximos o fenómenos naturales excepcionales resulta ser de gran utilidad en la toma de decisiones para disminuir o controlar sus efectos sobre un territorio particular.

El autor aplicó el modelo de simulación Hec-Ras asistido por los sistemas de información geográfica, con la finalidad de obtener zonas de desborde dentro de un río con características torrenciales, el tipo de investigación fue un estudio cartográfico, documental y de campo. Entre los resultados del mencionado trabajo se utilizó un modelo de simulación hidrológico e hidráulica (Hec-GEORAS), en conjunto con el ArcView 3.2 y el software Envi

4.2, como herramienta que permitió obtener información necesaria para cuantificar, localizar y cartografiar los resultados del modelo de simulación.

Seminario de Estudios Regionales (2011), realizó un estudio sobre la zonificación de la cuenca de la quebrada La Pedregosa, según niveles de susceptibilidad, amenazas y vulnerabilidad social, debido a la problemática que existe a nivel regional y local. En la investigación realizada se estimaron los niveles de susceptibilidad y amenazas a la ocurrencia de procesos geodinámicos y los grados de vulnerabilidad social en la cuenca de la quebrada La Pedregosa, con el fin de generar información básica para la toma de decisiones por parte de los organismos encargados de la planificación y prevención del riesgo a nivel local.

Las estimaciones de caudales picos realizadas en el Seminario de Estudios Regionales, para periodos de retorno de 25, 50 y 100 años, con el uso del hidrograma unitario triangular a la altura del puente La Linda (cota 1320 m.s.n.m.) no superan en ninguno de los casos los 100 m<sup>3</sup>/s.

## **2.2. CARACTERIZACIÓN DE LA QUEBRADA LA PEDREGOSA**

### **2.2.1. Localización de la Zona de Estudio**

El área de estudio geográficamente se ubica al occidente del país, en Los Andes venezolanos, en el Estado Mérida; ocupando el sector montañoso al noroeste de la Ciudad de Mérida conocido como “Sierra de la Culata”.

Astronómicamente el área de estudio se ubica entre las coordenadas geográficas:

Latitud Norte: 8°34'00” y 8°41'10”

Longitud Oeste: 71°10'10” y 71°13'45”

Desde el punto de vista del ordenamiento urbano, el 30% de la cuenca pertenece al área metropolitana de Mérida, que corresponde al cono – terraza que se ubica desde la cota 1318 – 1800. El resto de la zona pertenece al parque nacional Sierra de la Culata. La cuenca de la quebrada La Pedregosa hasta el puente La Linda, tiene una superficie de 33.67 km<sup>2</sup> y está delimitada por el norte con el Páramo de Los Conejos, por el sur con la población de La Parroquia y el río Albarregas, al este por la microcuenca de la quebrada La Gavidia en su parte superior y la cuenca de la quebrada La Resbalosa en su parte inferior, al oeste por la cuenca de la quebrada Carvajal.

Se encuentra ubicada entre las latitudes Norte 947.500 – 960.500 y longitudes Este 255.500 – 260.000 en coordenadas UTM (Universal Transverse Mercator), tal y como se observa en la Figura 1.

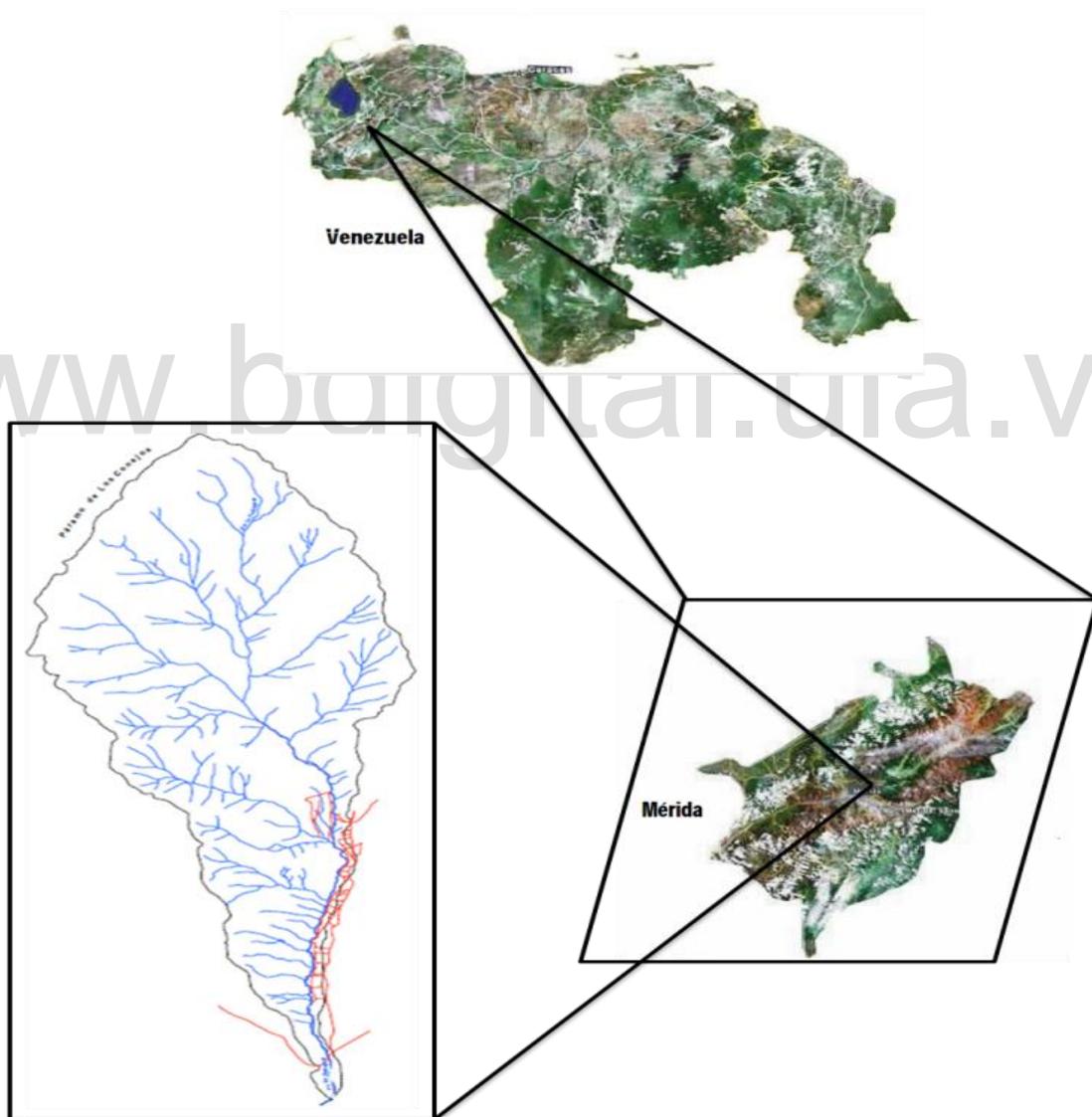


Figura 1. Localización de la zona en estudio.

### **2.2.2. Político – Territorial**

Dentro de la división Político - Territorial del Estado Mérida, la cuenca se encuentra en jurisdicción de la parroquia Lasso de La Vega del municipio Libertador del Estado Mérida.

### **2.2.3. Vialidad**

La cuenca posee una red vial suficiente y en buenas condiciones. Desde el punto de su confluencia con el río Albarregas, es recorrida en sentido longitudinal por una vía asfaltada dispuesta en forma paralela a la quebrada, en su parte media inferior es cruzada por la carretera Panamericana que comunica a Mérida con la Parroquia, Ejido, Jají, La Azulita y demás poblaciones circunvecinas.

Según (Peña, 1973), las vertientes están cruzadas por vías agrícolas y caminos principales y secundarios que comunican las diversas viviendas del lugar, y que al final conducen al Paramo de Los Conejos, atravesando zonas agrícolas, pastizales y bosques nublados.

#### **2.2.4. Hidrografía**

La quebrada se desplaza en dirección Nor - Oeste inicialmente hacia el Sur, y en su recorrido diferentes quebradas como La Borrachera y Los Alumbres, se incorporan a la red de drenaje de la cuenca (Infante, 2001).

#### **2.2.5. Clima**

El clima de la zona en estudio es templado, el cual se rige por los cambios altitudinales que producen variaciones climáticas de la cuenca.

La vegetación, obedece a los siguientes pisos climáticos:

Templado cálido isotérmico (parte baja)

Altitud: 1280 m.s.n.m hasta los 2000 m.s.n.m

Formación vegetal: Bosque húmedo.

Templado cálido isotérmico (parte media)

Altitud: 2000 m.s.n.m hasta los 3000 m.s.n.m

Formación vegetal: Bosque húmedo.

Templado cálido isotérmico (parte alta)

Altitud: 3000 m.s.n.m hasta los 4180 m.s.n.m

Formación vegetal: Nevosa tundra – pluvial.

## 2.2.6. Precipitación

En la cuenca de la quebrada La Pedregosa, la precipitación media anual es de 1397,6 mm tomando como referencia la estación La Punta, ubicada a 1300 m.s.n.m de altitud y en las coordenadas 08°33'49" de latitud Norte y 71°11'20" de longitud Oeste. Según (Infante, 2001), la cuenca presenta una mayor precipitación desde Abril hasta Noviembre y una mínima desde diciembre hasta marzo. Los datos mostrados en la Tabla 1, fueron suministrados por la División de Información Hidrológica y Meteorológica del MARN, para el período 1960 – 1995.

Meses	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Precipitación máxima (mm)				135,5	168,3	80,1	120,2	120,6	157,9	179,4	132,7	
Precipitación mínima (mm)	24,8	29,4	49,1									47,6

Tabla 1. Precipitación máxima y mínima registrada en la estación La Punta para el período 1960 – 1995

## 2.2.7. Temperatura

La temperatura promedio anual en la parte baja de la cuenca es de 19°C. (Ruiz, 2002).

### 2.2.8. Geología

Una variada litología, así como las características estructurales asociados a la falla de Boconó, constituyen los rasgos más importantes que se tienen en el área. Encontrándose en ella las siguientes formaciones:

- Formación Iglesias (Precámbrico).
- Formación Palmarito (Carbonífero Paleozoico Superior).
- Formación La Quinta (Triásico – Jurásico).
- Grupo del Terciario (Cenozoico).
- Grupo del Cuaternario.

El área de estudio presenta una litología heterogénea, sin embargo se tienen áreas con diferentes resistencias a la erosión y que por lo tanto condicionan las crecidas, el transporte y la acumulación de sedimentos.

En consecuencia la estructura geológica, naturaleza de la roca madre, resistencia a la erosión y los sistemas de fallas se consideran elementos a tratar cuidadosamente por su alta contribución en el proceso de crecidas. El hecho de que la zona estudiada en su totalidad esté atravesada por la falla de Boconó, ha originado un debilitamiento y fracturamiento del material sólido, un alto porcentaje de material rocoso inestable, propenso a ser removido y transportado al fondo del cono – terraza de La Pedregosa al momento de ocurrir crecidas extraordinarias.

Tal como lo afirma (Arellano & Castañeda, 1965), la presencia de material inestable afectado por el sistema de fallas, provoca en la zona infiltración, almacenamiento y transmisión de humedad, lo que conllevaría al aumento o disminución del caudal, jugando un papel importante las pendientes pronunciadas ya que favorecen el desarrollo de estos procesos, sobre todo cuando se tienen vertientes que están desprovistas de vegetación.

A continuación se presenta una breve descripción de las formaciones geológicas que conforman la cuenca en estudio:

***Precámbrico:*** Son las rocas más antiguas que se han encontrado en el área. Son metamórficas e ígneas, con edades alrededor de los seiscientos millones de años.

- Grupo Iglesias: complejo de instrucción granítica, rocas metamórficas con muchos afloramientos transicionales entre una y otra. Se localiza en el Cerro de las Iglesias, ubicado en la parte superior de la cuenca, formando parte del macizo de Los Conejos, el cual es el lugar de nacimiento de la quebrada La Pedregosa.

Este grupo tiene un espesor desconocido y se dice que puede ser de varios kilómetros, tiene componentes de varios tipos de rocas; ortogénesis de biótica, gneis magmáticas, gneis con granate, esquistos micáceos y cloritosos de color verde. (Léxico Estratigráfico de Venezuela, 1970).

**Paleozoico (Carbonífero Superior):** Se originó cuando ocurrieron actividades magmáticas plutónicas hace doscientos setenta y cinco millones de años, en este período ocurre el establecimiento de la cobertura sedimentaria.

- Formación Palmarito: es una capa de sedimentos formada por una secuencia marina dendrítica de poca profundidad, en contacto con la anterior. Está constituida por lutitas limolíticas, margas limolíticas y pizarras en capas delgadas de color gris claro; en su parte superior se encuentra caliza estratificada gris, intercaladas con estratos delgados de marcos blancos y fosilíferos, estando todas las capas muy delgadas. Esta roca en el área está muy meteorizada, lo cual juega un papel importante en la fractura de la roca, convirtiéndolo en un material fácilmente erodable por el agua de escurrimiento. (Léxico Estratigráfico de Venezuela, 1970).

**Triásico – Jurásico:** Es el período donde ocurre el plegamiento y levantamiento del terreno por efecto de tectónica – compresiva con actitudes ígneas, lo que ocasionó el intenso metamorfismo. Testigo de esta actividad tectónica, se tiene una serie de intrusiones ígneas graníticas con edades alrededor de los doscientos millones de años.

- **Formación La Quinta:** es una capacidad litológica de ambiente continental, producto de la erosión y representada en el área en forma dispersa y continúa, en ella se destaca el color rojo, vinotinto y raras veces verdosa, constituidas por lutitas, limotitas calcáreas y caliza.

Su propensión a la erosión se da a través de movimientos en masa, los cuales pueden ser altamente afectados por el elevado fracturamiento y agrietamiento de la estructura rocosa, lo que permite el proceso de infiltración que deteriora el material "in situ". El resultado de dicho proceso es la generación una alta proporción de arcilla; material altamente susceptible a desplazamientos, lo que afecta de manera sensible cualquier tipo de estructura, dada su propiedad de compactación y expansión según los niveles de humedad. Se compone en su parte inferior de clásico rojo conglomerático. Descansa sobre material volcánico. En la parte media son lutitas y limolitas calcáreas, en la parte superior tiene bancos espesos de areniscas. (Léxico Estratigráfico de Venezuela, 1970).

**Cenozoico:** Es un período de sedimentación que se extendió durante sesenta millones de años. El área de estudio durante este período tuvo varios eventos históricos geológicos, muestra de ello es que se observan tierras recientemente emergidas.

- Terciario: las rocas que presentan este período se localizan en la parte superior de la cuenca, hacia la margen derecha. La litología del área se caracteriza por ser predominantemente arenisca, limolítica, lutíticas. Las areniscas son de grano fino a medio en capas delgadas y en ocasiones laminar. (Léxico Estratigráfico de Venezuela, 1970).

**Cuaternario:** Los depósitos aluviales y aluviocoluviales son los que tienen mayor incidencia en la zona inferior del área de estudio. Ya que se encuentra conformada mayoritariamente por las acumulaciones de este tipo que rellenan las depresiones. El sector urbano de la Pedregosa, se encuentra emplazado sobre un cono - terraza del cuaternario, estando conformadas por cantos predominantes gneis, esquistos, granitos, provenientes de las Formaciones de Palmarito, La Quinta y Sierra Nevada recubiertas por abundante arena y grava, de diferentes procesos de sedimentación, no permitiéndole tener una sedimentación consolidada.

El cono – terraza de La Pedregosa se localiza en la parte media baja de la cuenca donde las condiciones geotécnicas de estos terrenos varían según su granulometría, permeabilidad, fracturación y grado de alteración, mientras que los rasgos estructurales y riesgos sísmicos del área están determinados por la falla de Boconó y donde fallas secundarias atraviesan y cortan el relieve en las zonas adyacentes.

### 2.2.9. Geología Estructural

En general la zona se caracteriza por un intenso fallamiento y plegamiento de las diferentes formaciones litológicas que la conforman. Las cuencas de las quebradas La Pedregosa y La Resbalosa, están atravesadas por cuatro sistemas principales de fallamiento, los cuales son:

1. Una primera falla recorre longitudinalmente las cuencas en dirección Norte – Sur en su primer tramo y posteriormente en sentido Sur – Oeste – Noreste el otro 43% de su recorrido. Su longitud es de 3.5 Km. Y atraviesa, en la margen derecha de la quebrada La Resbalosa, parte del lecho de deyección y el extremo inferior del afloramiento de la formación La Quinta; posteriormente penetra hacia la naciente de la quebrada La Resbalosa siguiendo la línea de contacto entre esta última formación el Complejo Iglesias.
2. La segunda falla tiene una dirección Suroeste – Noreste, con una longitud de 3.53 km. Y atraviesa la zona de contacto entre la formación La Quinta y el afloramiento del Terciario, en la margen izquierda de la quebrada La Resbalosa; posteriormente atraviesa los materiales del cuaternario depositados por las dos cuencas consideradas, penetrando en la margen derecha de la quebrada La Pedregosa, donde sigue la línea de contacto entre el Complejo Iglesias y el afloramiento Terciario.

3. A una altitud de 1750 m.s.n.m y con una dirección Suroeste – Noreste, se consigue la tercera falla, con una longitud de 0.76 Km. Alcanza la cota de 2070 m.s.n.m para luego continuar hacia la cuenca de La Gavidia. Sigue la línea de contacto entre el afloramiento del Terciario y la formación Palmarito.
4. La cuarta falla se localiza en la margen derecha de la quebrada La Pedregosa, la cual partiendo de la cota 1620 m.s.n.m penetra la vertiente con sentido Este – Oeste hasta la cota 1800 m.s.n.m, en donde se inclina en dirección Noreste – Suroeste hasta la cota 1950 m.s.n.m. Su longitud total es de 1.6 Km, de los cuales los primeros 120 m atraviesan sedimentos depositados en cuaternario, y el resto sigue la línea de unión entre la formación Palmarito y el afloramiento terciario (Peña, 1973).

#### **2.2.10. Geomorfología**

El fondo del valle se encuentra formado por depósitos aluviales que forman un cono – terraza, principalmente  $Q_1$  y depósitos recientes  $Q_0$ . En las laderas, de substratos arcillosos, predominan cicatrices indicadoras de un modelado de movimientos de masas, (desprendimientos, solifluxión, y otros) y procesos hídricos de escurrimiento débil, difuso e intenso, en función de la pendiente, hasta alcanzar algún cárcavamiento aislado, según Puig 1988 citado por (Mora, 2004).

En la vía que conduce a los Maitines (vertiente derecha de la quebrada La Pedregosa) existe la formación de cárcavas construidas sobre la formación Palmarito, las cuales presentan condiciones especiales que las hacen susceptibles a la erosión y a los deslizamientos, probablemente como consecuencia de la intervención humana que ha sido mayor en esta vertiente, además de que por su posición es la que recibe mayor cantidad de radiación solar, lo que hace pensar en una mayor meteorización (Peña, 1973).

En la actualidad poco más arriba del sector La Vega de Los Maitines, por la margen derecha casi frente a la Urbanización La Pedregosa, existen deslizamientos producto de la socavación lateral que la quebrada ejerce en ese punto.

#### **2.2.11. Vegetación y Uso actual de la tierra**

En la parte baja de la cuenca en una faja de montaña baja – subtropical, predomina un bosque húmedo. En la parte intermedia en una faja de montaña se encuentra un bosque húmedo. En la parte alta en una faja nevosa, la formación vegetal predominante es nevosa tundra pluvial. Entre las agrupaciones vegetales presentes en la cuenca se distinguen las siguientes:

**Páramo:** Se presenta a altitudes máximas pero con un límite inferior de aproximadamente 2300 m.s.n.m. Muestra un relieve muy irregular, gran parte de la vegetación es perennifolia sobrepasando excepcionalmente 1 m de altura logrando cubrir raramente gran parte del suelo. Entre las especies más resaltantes se encuentran el Frailejón (*Speletiaschultzii*) y varias especies de *Hypericum*.

**Bosque denso:** Esta formación vegetal se observa entre los 2000 y 3000 m.s.n.m, constituida por una formación boscosa, densa, alta, siempre verde, mixta, irregular, inerme o armada. Posee claramente tres pisos cerrados muy bien definidos, en donde el estrato mayor superior no excede los 18 m de altura, representados por 12 – 20 especies de árboles y una gran cantidad de lianas y epífitas, haciendo que el dosel esté más cerrado, presentándose así una fuerte competencia entre los individuos por alcanzar los rayos del sol. Entre las especies que se pueden encontrar están: Tambor (*Vochisiasp*), Fresno (*Fraxinus americano*), Bucare (*Eritrina poepigiana*), Say-Say (*Weinmaniajahni*), entre otros.

**Bosque ralo:** Es el bosque que ha sido más intervenido por el hombre para explotar y aprovechar sus especies valiosas y en el que actualmente no se desarrolla ningún tipo de actividad; además el sotobosque ha sido eliminado para incrementar las actividades agrícolas y pecuarias.

**Vegetación Herbácea:** Se encuentra ocupando gran parte de los terrenos utilizados para pastoreo extensivo, notándose en algunos sitios la acción de la concentración del escurrimiento superficial como consecuencia de haber eliminado la capa vegetal (Infante, 2001).

[www.bdigital.ula.ve](http://www.bdigital.ula.ve)

**MARCO METODOLÓGICO**

Para la realización del estudio hidrológico - hidráulico de la cuenca de la quebrada La Pedregosa, se tomaron en consideración una serie de métodos que permitieron cumplir los objetivos propuestos. Dicha metodología estuvo determinada por:

- Realización de visitas de campo para la toma de muestras y levantamiento de secciones transversales de la quebrada objeto de estudio.
- Análisis de la hidráulica fluvial del curso de agua, que incluye la estimación de sedimentos transportados por la corriente de la quebrada, así como también la determinación de la estabilidad del cauce y el cálculo de las magnitudes de socavación en los muros longitudinales.
- Elaboración de alternativas de medidas de protección para la estabilidad del cauce y la evaluación de los muros longitudinales existentes en la zona.

### **3.1. RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN**

#### **3.1.1. Revisión Bibliográfica y Cartográfica**

Se realizó una búsqueda de diferentes fuentes, tales como: trabajos de grado, libros, seminarios y mapas, con el propósito de obtener información detallada del área en estudio.

La información cartográfica, se obtuvo a través de la Corporación de Los Andes (CORPOANDES), sede Mérida, en el servicio de Planoteca donde fueron suministradas las hojas de Cartografía Nacional número 5942 II SO, 5941 I NO y 5941 I SO a escala 1:25.000, que se emplearon para la delimitación de la cuenca en estudio.

#### **3.1.2. Revisión de Información Pluviográfica**

Se buscaron los registros de precipitaciones máximas, de las estaciones con mayor influencia en el área de estudio: Jají (serial 3169), La Punta (serial 8049), Santa Rosa (serial 3101) y Mérida-Aeropuerto (serial 3047). Dicha

información se obtuvo a través de la base de datos del Ministerio del Poder Popular del Ambiente (MPPA).

### **3.2. CARACTERIZACIÓN DE SEDIMENTOS Y PENDIENTE MEDIA DEL CAUCE PRINCIPAL**

#### **3.2.1. Muestreo Superficial**

El muestreo superficial consiste en la extracción de la primera capa del lecho, es decir, todas las partículas expuestas en superficie al flujo de agua.

Dichas partículas pueden ser sedimentos finos, medios y gruesos, a los cuales se les debe realizar un análisis granulométrico con el objetivo de facilitar la representación gráfica de los tamaños de cada sedimento, y así con ello poder realizar la curva granulométrica y determinar el diámetro representativo de la muestra superficial.

#### **3.2.2. Pendiente Media del Cauce Principal**

Dado que la cuenca en estudio es un río de montaña y que su pendiente varía a lo largo de la misma, se aplicó el criterio Pendiente Equivalente Constante, para ello fue necesario trabajar sobre un mapa topográfico a escala 1:25.000 con curvas de nivel cada 100 m para estimar la pendiente

por tramos, generar un perfil longitudinal y finalmente calcular la pendiente media del cauce principal, siendo su ecuación:

$$S = \left[ \frac{\sum l_i}{\sum \sqrt{s_i}} \right]^2 \quad (3.1)$$

Donde:

S= Pendiente equivalente constante (%).

li= Longitud parcial para el tramo i (m).

Si= Pendiente correspondiente al tramo i (%).

www.bdigital.ula.ve

### **3.3. REALIZACIÓN DE LOS ANÁLISIS HIDROLÓGICOS**

#### **3.3.1. Construcción de Curvas Intensidad – Duración - Frecuencia (IDF)**

La realización de las curvas de Intensidad - Duración - Frecuencia (IDF), resultaron del ajuste a la distribución de Gumbel, utilizando el Método de los Momentos, para duraciones de 1, 2, 3, 6, 12, y 24 horas para períodos de retorno de 25, 50 y 100 años. Teniendo en cuenta las siguientes ecuaciones:

$$P(X \geq Xd) = \frac{1}{Tr} = 1 - e^{-e^{-\frac{Xd-\lambda}{\delta}}} \quad (3.2)$$

Donde:

P= Probabilidad de excedencia.

Tr= Período de retorno.

Xd= Intensidad de diseño.

$$\lambda = \bar{x} - 0.45 * \delta x \quad (3.3)$$

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (3.4)$$

$$\delta x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (3.5)$$

$$\delta = 0.7797 * \delta x \quad (3.6)$$

La selección de la estación para el cálculo de las curvas IDF, se realizó a través de la comparación de las áreas de influencia de las estaciones más cercanas a la quebrada La Pedregosa las cuales son: Mérida-Aeropuerto, La Punta, Jají y Santa Rosa. Estas áreas de influencia se obtuvieron por medio de los Polígonos de Thiessen, el cual puede ser aplicado en zonas con una distribución irregular de estaciones.

### 3.3.2. Estimación de la Precipitación Efectiva

Es necesario conocer la precipitación efectiva para la estimación del caudal máximo, la cual se obtendrá por el Método del Servicio de Conservación de Suelos de los EEUU, por ser este método el más detallado, y se obtiene por medio de la siguiente fórmula:

$$P_{ef} = \frac{(P - 0,2 * S)^2}{(P + 0,8 * S)} \quad (3.7)$$

Donde:

$P$  = Precipitación total (mm).

$S$  = Infiltración potencial (mm).

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (3.8)$$

$CN$  = Número de curva de escorrentía.

#### 3.3.2.1. Cálculo del Número de Curva de Esorrentía (CN)

El valor de  $CN$ , es un parámetro adimensional, teóricamente sus valores están entre 1 y 100. Se obtiene por medio de tablas que lo relacionan con la

condición hidrológica, la condición de humedad antecedente y el grupo hidrológico.

a) Condición Hidrológica:

Se basa en la cobertura vegetal, en este sentido cuanto más densa sea, mejor es su condición hidrológica, por lo que se considera lo siguiente:

- Cuando la cobertura vegetal es mayor al 75%, la condición hidrológica es buena.
- Cuando la cobertura vegetal está entre 50 y 75%, la condición hidrológica es regular.
- Cuando la cobertura vegetal es menor al 50%, la condición hidrológica es mala.

b) Condición de Humedad Antecedente:

Se refiere al estado de humedad del suelo, tomando en cuenta la cantidad de lluvia caída en un período de cinco días previos al evento que se va a considerar. En la Tabla 2 se presentan tres tipos de condición de humedad:

<b>CONDICIÓN DE HUMEDAD ANTECEDENTE (CHA)</b>	<b>PRECIPITACIÓN ACUMULADA DE LOS 5 DÍAS PREVIOS AL EVENTO EN CONSIDERACIÓN (mm)</b>
I	0.0 a 33,0
II	33,0 a 52,5
III	más de 52,5

**Tabla 2. Definición de la Condición de Humedad Antecedente.**  
Fuente: Duque, 2006.

c) Grupos hidrológicos de suelos:

Desde el punto de vista hidrológico, los suelos se clasifican en cuatro grupos de acuerdo a su potencial de escorrentía, estos son presentados en la Tabla 3.

<b>GRUPO A</b>	(Bajo potencial de escorrentía) Son los de menor escorrentía. Incluye los suelos que presentan gran permeabilidad, incluso, cuando están saturados, comprendiendo los terrenos profundos, sueltos, con predominio de arena o grava y muy poco limo o arcilla.
<b>GRUPO B</b>	(Moderadamente bajo potencial de escorrentía) Incluye los suelos con infiltración moderada cuando están saturados, presentan moderada permeabilidad aun cuando muy húmedos, comprenden los terrenos arenosos menos profundos que los del grupo A, aquellos otros de textura franco-arenosa de mediana profundidad y los francos profundos.
<b>GRUPO C</b>	(Moderadamente alto potencial de escorrentía) Incluye los suelos que ofrecen poca permeabilidad cuando están saturados, porque presentan un estrato impermeable que dificulta la infiltración o porque en conjunto su textura es franco-arcillosa o arcillosa.
<b>GRUPO D</b>	(Alto potencial de escorrentía) Incluye los suelos que presentan gran impermeabilidad, tales como los terrenos muy arcillosos y profundos, terrenos que presentan en la superficie o cerca de la misma una capa de arcilla muy impermeable y aquellos con subsuelo muy impermeable próximo a la superficie.

**Tabla 3. Grupos Hidrológicos de Suelos.** Fuente: Duque, 2006.

El cálculo del CN total se obtiene a través de la siguiente expresión:

$$CN = \frac{\sum(CN)_i * (Area)_i}{\sum(Area)_i} \quad (3.9)$$

Para obtener la precipitación efectiva se requiere de la precipitación total, la cual se obtiene como:

$$P = Id * Tc \quad (3.10)$$

Donde:

$Id$  = Intensidad de diseño (mm/h).

$Tc$  = Tiempo de concentración (h).

El tiempo de concentración en minutos se calculó por tramos con la siguiente fórmula:

$$Tc = 0,0195 * Li^{1,155} * Hi^{-0,385} \quad (3.11)$$

Donde:

$Li$  = Longitud entre curvas de nivel (m).

$Hi$  = Desnivel (m).

### 3.3.3. Estimación del Caudal Máximo

La estimación del caudal máximo se realizó por el Método de Clark, el cual está basado en el principio de que el hidrograma total de una creciente es la suma de todos los hidrogramas aportados por las distintas subcuencas, debidamente modificados por efecto de almacenaje en el río. El procedimiento a seguir es el siguiente:

- a) Conocida la cuenca y su área, ésta se divide en varias sub-cuencas, de tal manera que el tiempo de viaje a través de cada una de ellas sea constante, dichas líneas divisorias se denominan isócronas.
- b) Se miden las áreas de las diferentes sub-cuencas y se expresa como un porcentaje del área total.
- c) Puesto que se trata de un hidrograma unitario, la altura de precipitación efectiva es de 1mm, y como el volumen de escorrentía se obtiene al multiplicar la altura efectiva por el área, la figura obtenida en el paso anterior representa el hidrograma de entrada al embalse equivalente.
- d) Se realiza el tránsito de la creciente a través del hipotético embalse aplicando el método de Muskingum y su ecuación es:

$$O_2 = C_0 * I_2 + C_1 * I_1 + C_2 * O_1 \quad (3.12)$$

Donde:

O2= Ordenada del hidrograma de salida al finalizar el intervalo de tiempo  $\Delta t$ .

I1 e I2= Ordenada del hidrograma de entrada al inicio y fin del intervalo de tiempo  $\Delta t$ , respectivamente.

O1= Ordenada del hidrograma de salida al inicio del intervalo de tiempo  $\Delta t$ .

Los coeficientes de tránsito  $C_0$ ,  $C_1$  y  $C_2$  de la creciente se calculan de la siguiente manera:

$$C_0 = \frac{0,5 * \Delta t - k * x}{0,5 * \Delta t + k - k * x} \quad (3.13)$$

$$C_1 = \frac{0,5 * \Delta t - k * x}{0,5 * \Delta t + k - k * x} \quad (3.14)$$

e)

$$C_2 = \frac{k - 0,5 * \Delta t - k * x}{0,5 * \Delta t + k - k * x} \quad (3.15)$$

Donde:

K= Coeficiente que considera el efecto de almacenamiento de la cuenca, aproximadamente igual a 0.6 veces el tiempo de concentración.

x= 0 para este método.

- e) El hidrograma de salida obtenido en el punto anterior, está expresado en porcentaje de área, por lo tanto hay que multiplicar por un factor de corrección para obtener unidades de caudal (m<sup>3</sup>/seg).

El resultado es un hidrograma unitario instantáneo. (Ramírez, 2003)

### 3.3.4. Estimación del Caudal Formativo

El gasto o caudal formativo es aquel asociado a la estabilidad del cauce, el que representa la hidrografía de la cuenca. Es evidente que bajo condiciones de crecida nunca habrá estabilidad de ningún tipo. Para definirlo se utilizaron los siguientes procedimientos:

1. Caudal correspondiente a un período de retorno de 1,4 años, en el ajuste de una distribución tipo Gumbel, utilizando curvas IDF y con el método del hidrograma triangular se obtiene dicho caudal, utilizando la siguiente fórmula:

$$Q_{1,4} = \frac{1,91 * P_{efec} * A}{T_c} \quad (3.16)$$

Donde:

Q<sub>1,4</sub>= Caudal formativo (lts/seg).

Pefec= Precipitación efectiva (mm).

A= Área de la cuenca (Ha).

Tc= Tiempo de concentración (h).

2. Caudal correspondiente a un período de retorno de 1,4 años, en el ajuste de una distribución tipo Gumbel, utilizando un coeficiente de transferencia de caudales máximos, el cual se define mediante la siguiente ecuación:

$$T_{cp} = \left(\frac{A_e}{A_p}\right)^{0,5} \quad (3.17)$$

Donde:

Tcp= Coeficiente de transferencia de caudales máximos.

Ae= Área de la cuenca en estudio (km<sup>2</sup>).

Ap= Área de la cuenca patrón (km<sup>2</sup>).

Seguidamente se procede a multiplicar el Tcp por el caudal pico de la cuenca patrón, lo que permite generar la información de las descargas máximas para diferentes períodos de retorno en el sitio de interés. (Tahal Consulting Enginners LTD, 1998).

### 3.4. REALIZACIÓN DE LOS ANÁLISIS HIDRÁULICOS

#### 3.4.1. Estimación de profundidades para caudal formativo y caudal máximo

En los ríos de montaña no se hace diferencia entre la resistencia al flujo generada por las partículas y la producida por las formas de fondo. En primer lugar porque las formas de fondo en este tipo de río no están claramente definidas, y en segundo lugar porque es la resistencia generada por el material de fondo la que resulta ser decisiva. Por ser un flujo torrencial, Bathurst presenta la siguiente relación:

$$\frac{q}{\sqrt{g \cdot Y_n^3 \cdot S}} = 5,62 * \log \left( \frac{Y_n}{d_{84}} \right) + 4 \quad (3.18)$$

Donde:

q= Caudal unitario (m<sup>3</sup>/seg\*m).

g= Gravedad (m/seg<sup>2</sup>).

Y<sub>n</sub>= Profundidad media (m).

d84= Diámetro de tamiz que corresponde al 84% del material pasante (m).

### 3.4.2. Estimación de la estabilidad

Las dimensiones de estabilidad se obtienen por medio del método de Altunin, el cual fue desarrollado a partir de observaciones realizadas en cauces con material granular grueso, como gravas y cantos rodados. En este método no se toma en cuenta el transporte de sedimentos y se analiza la estabilidad con velocidades cercanas a la crítica de arrastre, por lo que en ocasiones se obtienen secciones teóricas mayores que las reales cuando se aplica y extrapola a cauces arenosos. Este método es el que se aplica para la condición de río de montaña, siendo sus expresiones las siguientes:

$$Y_n = \left( \frac{a \cdot V \varphi}{11 \cdot S^X} \right)^{\frac{1}{Z - \alpha}} \quad (3.19)$$

$$T = \frac{A \cdot Q_{1,4}^{0,5}}{S^{0,2}} \quad (3.20)$$

$$A = \frac{1}{\sqrt{V \varphi}} \quad (3.21)$$

$$S = \left( \frac{V\varphi^{\frac{5+2*\alpha}{4}} * a^{3/2}}{11^{\alpha+1} * Q_{1,4}^{\frac{0,5-\alpha}{2}}} \right)^{1/E} \quad (3.22)$$

$$E = 0,2 * (Z - \alpha) + X * (\alpha + 1) \quad (3.23)$$

Donde:

$\alpha = 1/3$  si  $Y_n \leq 1,5$  m.

$\alpha = 1/4$  si  $1,5$  m  $< Y_n < 2,5$  m.

$\alpha = 1/5$  si  $Y_n \geq 2,5$  m.

$Z = 1/2$

$X = 1/3$

$a =$  Coeficiente que depende de la zona en la que se encuentre el cauce.

$a = 1.0$  Si se trata de un río de montaña y de piedemonte

$a = 1.15$  Si se trata de un río de planicie

$V\varphi =$  Velocidad máxima no erosiva (m/seg) y depende del diámetro medio de las partículas. Tabla 4.

$Y_n =$  Tirante de agua estable (m).

$T =$  Ancho estable (m).

$S =$  Pendiente estable (m/m).

VELOCIDADES MAXIMAS NO EROSIONABLES					
d50 (mm)	V $\phi$ (m/seg)	d50 (mm)	V $\phi$ (m/seg)	d50 (mm)	V $\phi$ (m/seg)
1	0,60	38	0,29	60	1,65
2,5	0,75	40	1,35	65	1,69
5,0	0,80	42	1,38	70	1,73
10	0,83	44	1,41	75	1,76
15	0,86	46	1,44	80	1,80
20	0,90	48	1,47	85	1,84
25	0,98	50	1,50	90	1,88
30	1,04	52	1,54	95	1,91
32	1,11	54	1,56	100	1,95
34	1,17	56	1,59	150	2,40
36	1,24	58	1,62	200	2,60

Tabla 4. Velocidades Máximas no Erosionables. Fuente: Flores & Aguirre, 2006.

#### 3.4.2.1. Grados de libertad

El grado de libertad de un río, se define como el número de parámetros que se pueden ajustar libremente con el tiempo, al pasar gastos líquidos y sólidos preestablecidos.

En flujos con un grado de libertad, el ancho es fijo y no hay transporte de sedimentos. Lo único que puede cambiar al variar el caudal es la profundidad.

En flujos con dos grados de libertad, hay transporte de sedimentos y en consecuencia, tanto la profundidad como la pendiente, pueden cambiar.

En flujos con tres grados de libertad, no solo hay transporte de sedimentos, sino que el material de las márgenes es erosionable. Ya que la profundidad, la pendiente y el ancho pueden cambiar.

Es importante, sin embargo, recordar que un río tiende a formar meandros cuando la pendiente de estabilidad del río, es menor que la pendiente general del valle.

Para que haya grados de libertad, al realizar la comparación de dimensiones estables con las dimensiones actuales, se deben cumplir cualquiera de las siguientes condiciones:

:

$$Y_{n \text{ actual}} < Y_{n \text{ estable}}$$

$$B_{\text{ actual}} < T_{\text{ estable}}$$

$$S_{\text{ actual}} > S_{\text{ estable}}$$

Si estas tres condiciones se cumplen el río no tendrá estabilidad alguna y además si se cumple la tercera, el río tiene la capacidad de formar meandros.

### **3.4.3. Estimación de la socavación**

#### **3.4.3.1. Socavación general y transversal**

En la mayoría de los casos, la socavación general y la transversal se estiman en forma conjunta, ya que se producen simultáneamente, el método más completo es el de Lischtvan - Levediev. El cual considera en primer

lugar la forma del cauce, esto es, si se trata de un cauce bien definido o no; en segundo lugar toma en cuenta la textura del material de fondo ya que el método hace una marcada diferencia entre los materiales cohesivos y no cohesivos y por último considera la distribución del material en el terreno.

Para el cálculo de la socavación general y transversal se hizo uso de las siguientes ecuaciones que corresponden a cauces definidos y material no cohesivo:

$$H_s = \left( \frac{\alpha' * Y_n^{5/3}}{0,68 * d^{0,28} * \beta} \right)^{\frac{1}{1+X}} \quad (3.24)$$

Donde:

$H_s$ = Tirante luego de ocurrida la socavación (m).

$Y_n$ = Profundidad normal (m).

$d$ = Diámetro medio (mm).

$\beta$ = Coeficiente función del período de retorno. Tabla 5.

$\frac{1}{1+X}$ = Valor en función del diámetro medio del material de fondo. Tabla 6.

$$\alpha' = \frac{Qd}{Y_n^{5/3} * C_c * B_e} \quad (3.25)$$

Donde:

$Q_d$ = Caudal de diseño ( $m^3/seg$ ).

$C_c$ = Coeficiente de contracción, función de la velocidad media del río y la longitud libre entre estructuras. Tabla 7.

$B_e$ = Ancho efectivo (m).

COEFICIENTE $\beta$	
Período de retorno (años)	$\beta$
1	0,77
2	0,82
5	0,86
10	0,90
20	0,94
50	0,97
100	1,00
333	1,03
500	1,05
1000	1,07

Tabla 5. Coeficiente  $\beta$ . Fuente: Flores & Aguirre, 2006.

VALORES DE X Y DE (1/1+X) PARA SUELOS NO COHESIVOS					
d (mm)	X	1/1+X	d (mm)	X	1/1+X
0,05	0,45	0,70	40	0,30	0,77
0,15	0,42	0,70	60	0,29	0,78
0,50	0,41	0,71	90	0,28	0,78
1,00	0,40	0,71	140	0,27	0,79
1,50	0,39	0,72	190	0,26	0,79
2,50	0,38	0,72	250	0,25	0,80
4,00	0,37	0,73	310	0,24	0,81
6,00	0,36	0,74	370	0,23	0,81
8,00	0,35	0,74	450	0,22	0,83
10,00	0,34	0,75	570	0,21	0,83
15,00	0,33	0,75	750	0,20	0,83
20,00	0,32	0,76	1000	0,19	0,84
25,00	0,31	0,76			

Tabla 6. Valores de X y de (1/1+X) para suelos no cohesivos. Fuente: Flores & Aguirre, 2006.

COEFICIENTE DE CONTRACCIÓN Cc						
Velocidad media (cm/seg)	Longitud libre entre estructuras (m)					
	10	13	16	18	21	25
Menor de 1	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
1,00	0,96	0,97	0,98	0,98	0,99	0,99
1,50	0,94	0,96	0,97	0,97	0,97	0,98
2,00	0,93	0,94	0,95	0,96	0,97	0,97
2,50	0,9	0,93	0,94	0,95	0,96	0,96
3,00	0,89	0,91	0,93	0,94	0,95	0,96
3,50	0,87	0,9	0,92	0,93	0,94	0,95
4,00 o mayor	0,85	0,89	0,91	0,92	0,93	0,94

Tabla 7. Coeficiente de Contracción Cc. Fuente: Flores & Aguirre, 2006.

### 3.4.3.2. Socavación local en muros longitudinales

Según Borges (2008), la socavación local en muros longitudinales puede ser estimada a través de la siguiente ecuación:

$$\frac{Y_s}{Y_n} = 0,267 * F^{1,95} * \left(\frac{Y_n}{d_{50}}\right)^{0,60} * \left(\frac{L}{E}\right)^{-0,09} \quad (3.26)$$

Donde:

$Y_s$ = Socavación (m).

$Y_n$ = Tirante de agua (m).

$F$ = Numero de Froude.

$d_{50}$ = Diámetro de tamiz que corresponde al 50% del material pasante (m).

$L$ = Longitud del muro (m).

$E$ = Espesor del muro (m).

**4.1. CARACTERIZACIÓN DE SEDIMENTOS Y PENDIENTE MEDIA  
DEL CAUCE PRINCIPAL**

**4.1.1. Muestreo superficial**

Se visitó la zona en estudio, a la altura del puente de la Urb. La Linda para la recolección de las muestras. Se tomaron tres muestras de sedimentos: fino, medio y grueso, y para ello se ubicó el sitio donde se encontró la mayor cantidad de estos materiales por separado, observando que el material presente en el lecho del río consta aproximadamente de un 45% de rocas con diámetro promedio de 700mm y un 55% del muestreado; el cual fue llevado al Laboratorio de Suelos de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Los Andes, donde se hicieron los diferentes análisis granulométricos necesarios para el posterior cálculo del transporte de sedimentos en la quebrada La Pedregosa.

Cada sub-muestra fue secada y tamizada para su análisis granulométrico con la siguiente serie de tamices: 3", 2½", 2", 1½", 1", ¾", 3/8", #4, #10, #20, #40, #60, #100 y #200, el objetivo de esta clasificación es facilitar la

representación grafica de los tamaños de los sedimentos finos, medios y gruesos, teniendo un peso total de cada muestra de 692,5 gr, 11799 gr y 17518 gr respectivamente. El resultado final de estos análisis es una curva combinada la cual se muestra en la Figura 2 y sus valores en la siguiente tabla:

Tamiz (mm)	% Más fino
101,6	100
75,000	73,24
63,000	59,59
50,000	42,74
37,500	34,13
25,000	26,08
19,000	22,46
9,500	17,24
4,750	13,71
2,000	10,12
0,850	6,47
0,425	3,25
0,250	1,61
0,150	0,68
0,075	0,00

Tabla 8. Resultado final del análisis granulométrico.

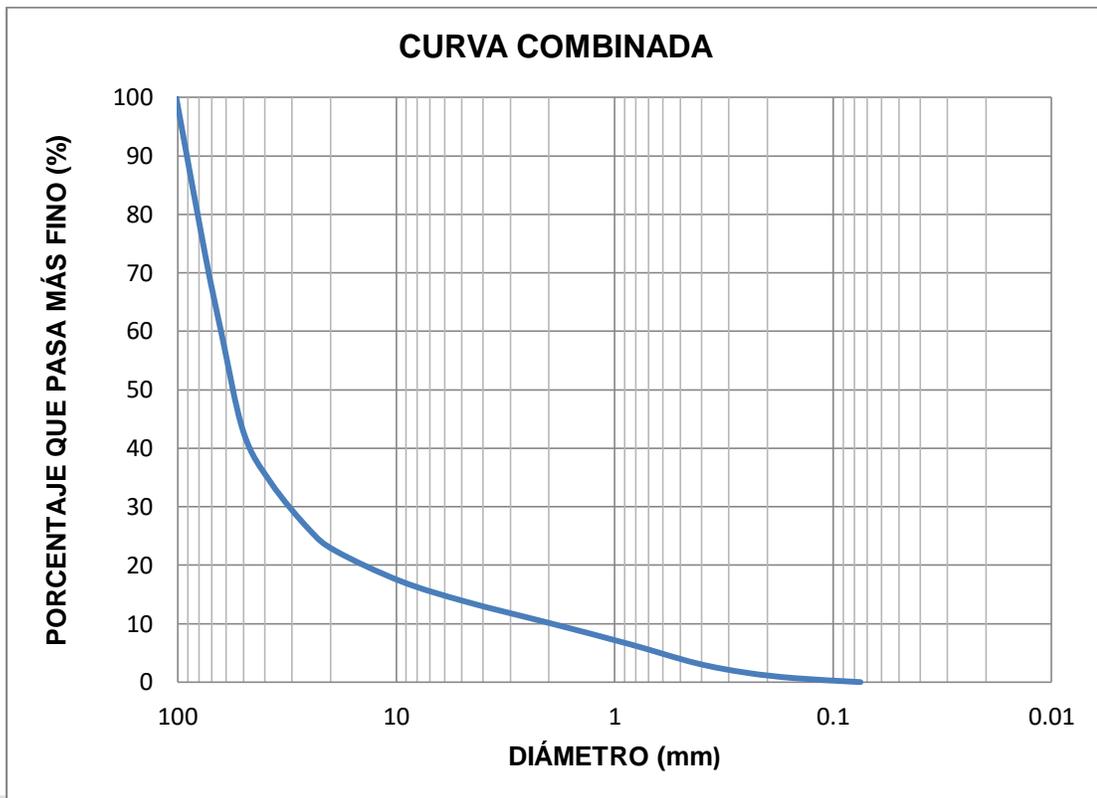


Figura 2. Curva combinada.

El diámetro representativo por ser un río de montaña, se obtiene de la curva combinada dando un valor de 56mm. El promedio general de diámetro de la quebrada será:

$$D_p = (700 * 0,45) + (56 * 0,55)$$

$$D_p = 346 \text{ mm} \cong 35 \text{ cm}$$

#### **4.1.2. Pendiente media del cauce principal**

Utilizando como información de entrada la hojas cartográficas 5941-I-NO, 5941-I-SO, 5942-II-SO a escala 1:25000, y con ayuda de software CAD se pudieron obtener las longitudes entre las curvas de nivel principales con una equidistancia de 100 m. Y aplicando el criterio Pendiente Equivalente Constante se pudo estimar que la pendiente media del cauce es 13.9%, confirmándose el supuesto de que la quebrada La Pedregosa es un río de montaña.

En la Figura 3, se presenta el perfil longitudinal de la cuenca de la quebrada en estudio, donde se observa que el drenaje inicia a los 4200 msnm y termina a los 1318 msnm a la altura del puente de la Urbanización La Linda.

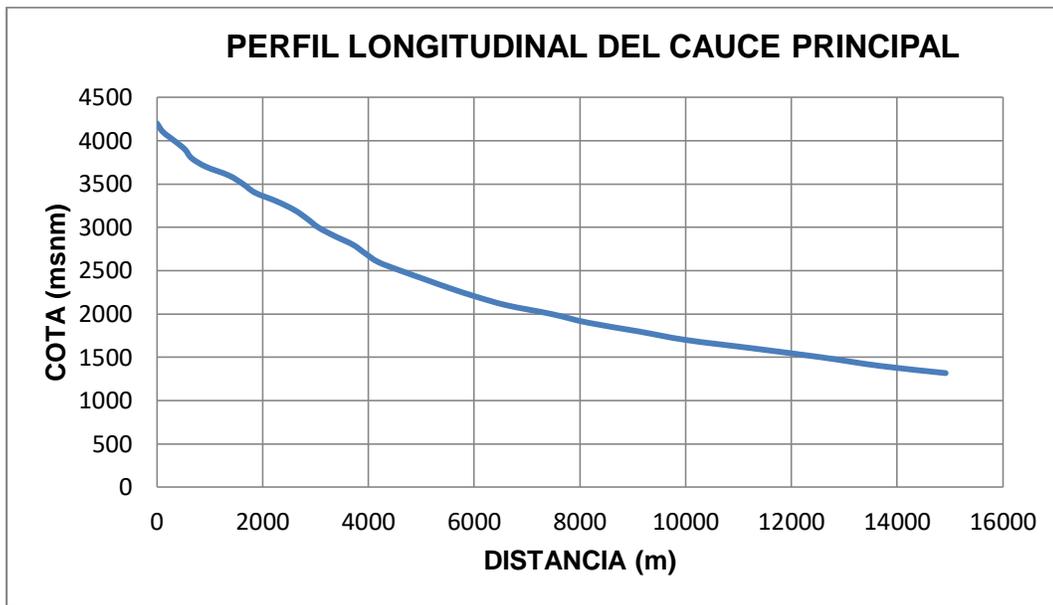


Figura 3. Perfil Longitudinal.

## 4.2. REALIZACIÓN DE ANÁLISIS HIDROLÓGICOS

### 4.2.1. Construcción de curvas de Intensidad – Duración – Frecuencia

La realización de las curvas de Intensidad - Duración - Frecuencia mostrada en la Figura 4, resultaron del ajuste a la distribución de Gumbel de los datos de intensidad máxima de la estación Santa Rosa (Tabla 9), utilizando el Método de los Momentos, para duraciones de 1, 2, 3, 6, 12, y 24 horas para periodos de retorno de 25, 50 y 100 años. La selección de la estación se realizó a través de la comparación de las áreas de influencia, estas áreas de influencia se obtuvieron por medio de los Polígonos de

Thiessen dando como resultado la estación de mayor influencia a la cuenca, la de Santa Rosa.

Tr(años)	Duración (minutos)					
	60	120	180	360	720	1440
25	48,6	35,9	28,4	15,5	8,6	4,7
50	53,5	39,6	31,2	16,9	9,4	5,1
100	58,3	43,1	34,0	18,2	10,1	5,6

Tabla 9. Intensidades máximas de precipitación en mm/h para diferentes frecuencias y duraciones de 1, 2, 3, 6, 12 y 24 horas. Estación Santa Rosa.

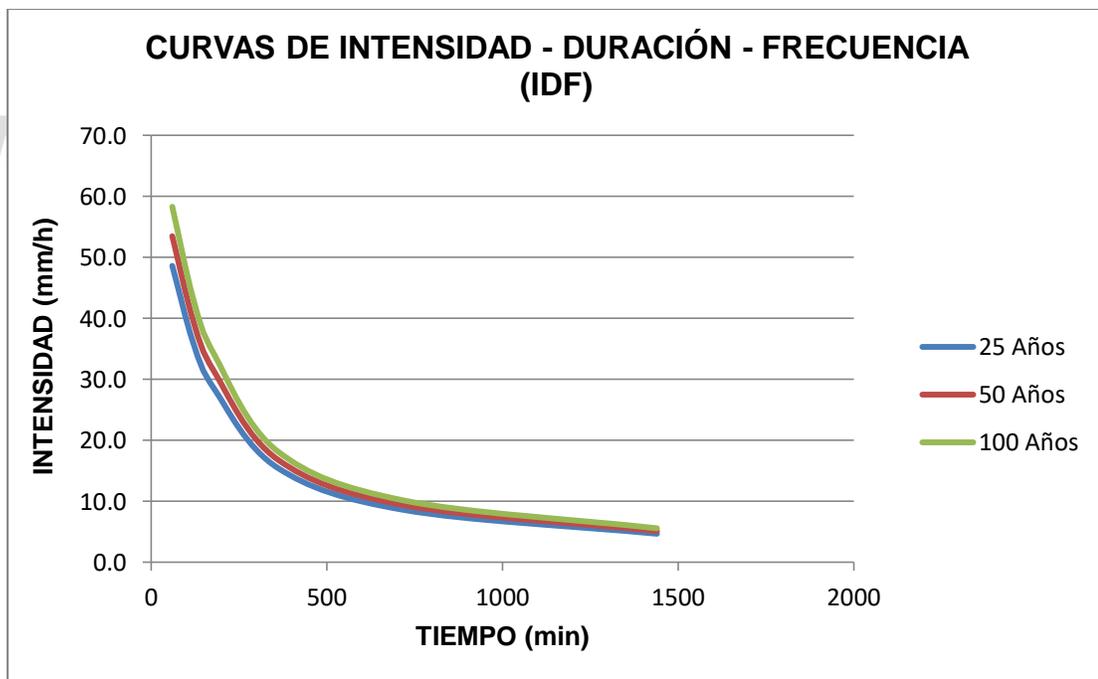


Figura 4. Curvas de Intensidad - Duración - Frecuencia (IDF) para duraciones de 1, 2, 3, 6, 12 y 24 horas y periodos de retorno de 25, 50 y 100 años. Estación Santa Rosa.

#### 4.2.2. Estimación de la Precipitación Efectiva

Para la estimación de la precipitación efectiva es necesario conocer el Número de Curva de Escorrentía, el cual se calculó de la siguiente manera:

- a) De acuerdo a su condición hidrológica, el resultado se llevo a cabo con la digitalización del mapa de Cobertura Vegetal obtenido por el Seminario de Estudios Regionales dictado en la Escuela de Geografía de la Universidad de Los Andes, para la cuenca en estudio presentando ocho tipos de cobertura, las cuales se muestran en la Tabla 10, con relación al área total.

Tipo de cobertura	Área (%)
Bosque denso	57,0
Paramo	22,4
Bosque ralo	8,0
Pastizales y arbustales	7,9
Construcciones	2,3
Pastizales	1,4
Bosque plantado	0,7
Pastos implantados	0,3

Tabla 10. Tipos de cobertura vegetal.

Se puede observar en la Figura 5, que en la cuenca de la quebrada La Pedregosa predominan coberturas vegetales asociadas a bosque denso y páramo las cuales ocupan la mayor parte con un valor de 79,4% del área total. También se tienen bosques plantados, bosque ralo, construcciones, pastizales y arbustales, pastos implantados, que cubren el resto del área con una superficie de 20,6%.

b) De acuerdo a la condición de humedad antecedente, se seleccionó tipo III por tratarse de estimación de caudales máximos para diseño de obras.

c) De acuerdo a los grupos hidrológicos de suelo, como puede observarse en la Figura 6, se obtuvo suelos que corresponden a los grupos A, B y D; siendo el suelo del grupo B el que tiene la mayor parte del área de la cuenca con un 85,9%.

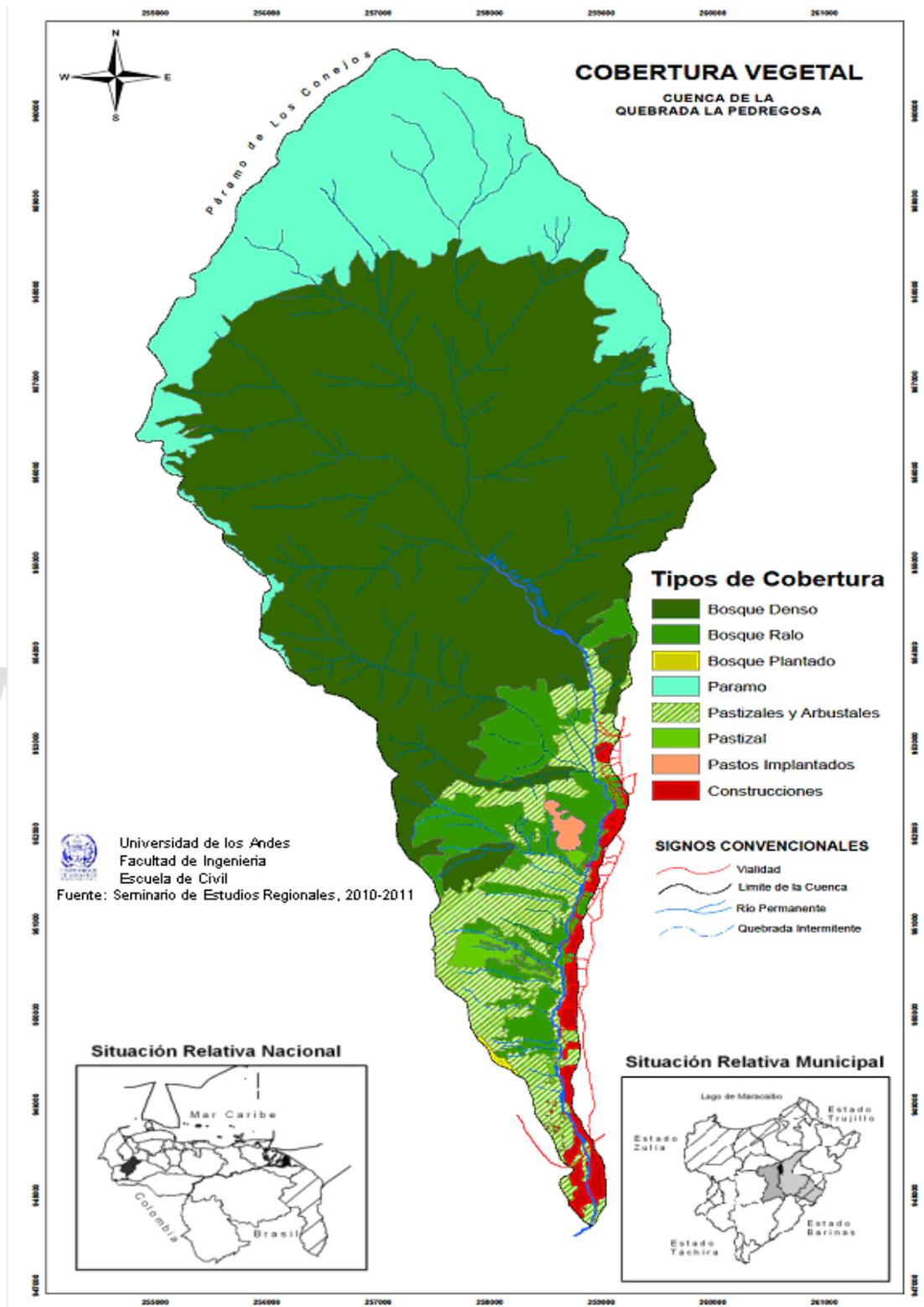


Figura 5. Cobertura Vegetal. Fuente (Seminario de Estudios Regionales, 2011)

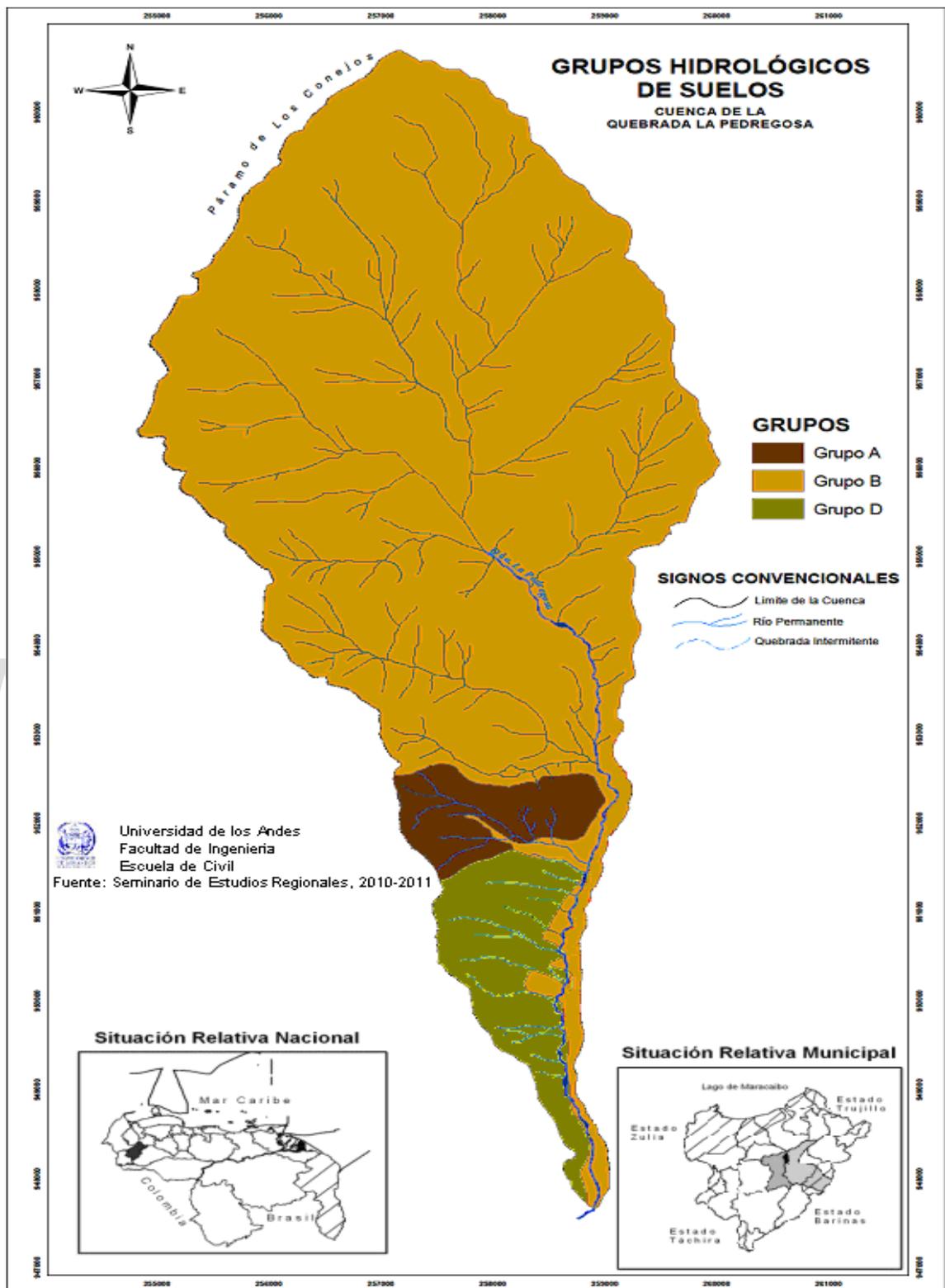


Figura 6. Grupos Hidrológicos de Suelos.  
Fuente: Seminario de Estudios Regionales, 2011.

Conociendo todos los parámetros antes mencionados ya se puede obtener el valor de CN. En la Tabla 11 que se presenta a continuación, se encuentran valores de CN que fueron tomados de Chow (1994), Duque (2006), Guevara (1991) y Fattorelli y Fernández (2007).

Tipo de cobertura	Grupo	Condición Hidrológica	Chow	Duque	Guevara	F y F	Área (%)
Pastos implantados	A	Regular	39	-	49	49	0,3
Bosque denso	A	Buena	25	25	25	30	1,5
Bosque ralo	A	Mala	45	45	45	45	2,4
Pastizales	A	Regular	68	49	68	49	0,2
Pastizales y arbustales	A	Regular	68	49	68	49	0,8
Pastos implantados	B	Regular	69	-	69	69	4,8 E-04
Bosque denso	B	Buena	55	55	55	55	55,2
Bosque ralo	B	Mala	66	66	66	66	3,8
Construcciones	B	Regular	-	74	-	98	1,7
Paramo	B	Regular	-	-	-	-	22,4
Pastizales	B	Regular	79	69	79	69	0,3
Pastizales y arbustales	B	Regular	79	69	79	69	2,5
Bosque plantado	D	Regular	83	-	-	82	0,7
Bosque denso	D	Buena	77	77	77	77	0,3
Bosque ralo	D	Mala	83	83	83	83	1,8
Construcciones	D	Regular	-	86	-	98	0,6
Pastizales	D	Regular	89	84	89	84	0,9
Pastizales y arbustales	D	Regular	89	84	89	84	4,6

Tabla 11. Valores de CN tomados de diferentes autores.

Tomando en cuenta estos cuatro autores, se pudo concluir que los valores más acertados para el número de curva de escorrentía para cada tipo de cobertura son los que aparecen en la Tabla 12.

Tipo de cobertura	Grupo Hidrológico	CN
Pastos implantados	A	49
Bosque denso	A	25
Bosque ralo	A	45
Pastizales	A	68
Pastizales y arbustales	A	68
Pastos implantados	B	69
Bosque denso	B	55
Bosque ralo	B	66
Construcciones	B	98
Paramo	B	79
Pastizales	B	79
Pastizales y arbustales	B	79
Bosque plantado	D	79
Bosque denso	D	77
Bosque ralo	D	83
Construcciones	D	98
Pastizales	D	89
Pastizales y arbustales	D	89

**Tabla 12. Valores de CN seleccionados.**

Por lo tanto el valor del número de curva de escorrentía es 64. Con este valor se tiene que la infiltración potencial es 142,9 mm.

Debido a la variación de la pendiente a lo largo del cauce principal de la quebrada La Pedregosa, se hizo necesario estimar el tiempo de concentración utilizando tramos más cortos, con el propósito de tomar en cuenta las características locales y particulares del perfil longitudinal. Cada uno de los tiempos de concentración parciales estimados son posteriormente sumados para obtener un solo  $T_c$  como se muestra en la Tabla 13:

[www.bdigital.ula.ve](http://www.bdigital.ula.ve)

<b>L(m)</b>	<b>H(m)</b>	<b>Tc(min)</b>
116	100	0,80
212	100	1,61
200	100	1,51
125	100	0,87
272	100	2,15
433	100	3,67
271	100	2,14
229	100	1,76
409	100	3,44
334	100	2,72
238	100	1,84
212	100	1,61
309	100	2,49
347	100	2,85
230	100	1,77
247	100	1,92
424	100	3,59
460	100	3,94
461	100	3,95
506	100	4,40
585	100	5,20
843	100	7,93
686	100	6,25
953	100	9,14
907	100	8,63
1310	100	13,20
1250	100	12,50
1119	100	11,00
1230	82	13,25

**Tabla 13. Valores parciales del tiempo de concentración.**

La sumatoria del tiempo de concentración es aproximadamente de 135 min, lo que equivale a 2,25 horas.

La intensidad de diseño se obtiene de las curvas IDF, entrando con el tiempo de concentración 135 min, para un periodo de retorno de 100 años, obteniendo así un valor de 40,68 mm/h. Por consiguiente la precipitación total es 91,5 mm y la precipitación efectiva es de 19,3 mm.

#### 4.2.3. Estimación del Caudal Máximo

La estimación del caudal máximo se realizó por el Método de Clark, se dividió la cuenca en 5 subcuencas como se observa en la Figura 7, con una diferencia de tiempo para cada una de las isócronas de 27 min.

A partir de este mapa se pudo estimar las áreas para cada una de las sub-cuencas, las cuales se presentan en la Tabla 14.

Isócronas	Área (Km <sup>2</sup> )	Área (Ha)	Área (%)
0 - 0,45h	0,693	69,3	2,06
0,45h - 0,9h	2,089	208,9	6,21
0,9h - 1,35h	4,089	408,9	12,15
1,35h - 1,8h	11,389	1138,9	33,83
1,8h - 2,25h	15,406	1540,6	45,76
	33,666	3366,6	100,00

Tabla 14. Áreas estimadas de las isócronas.

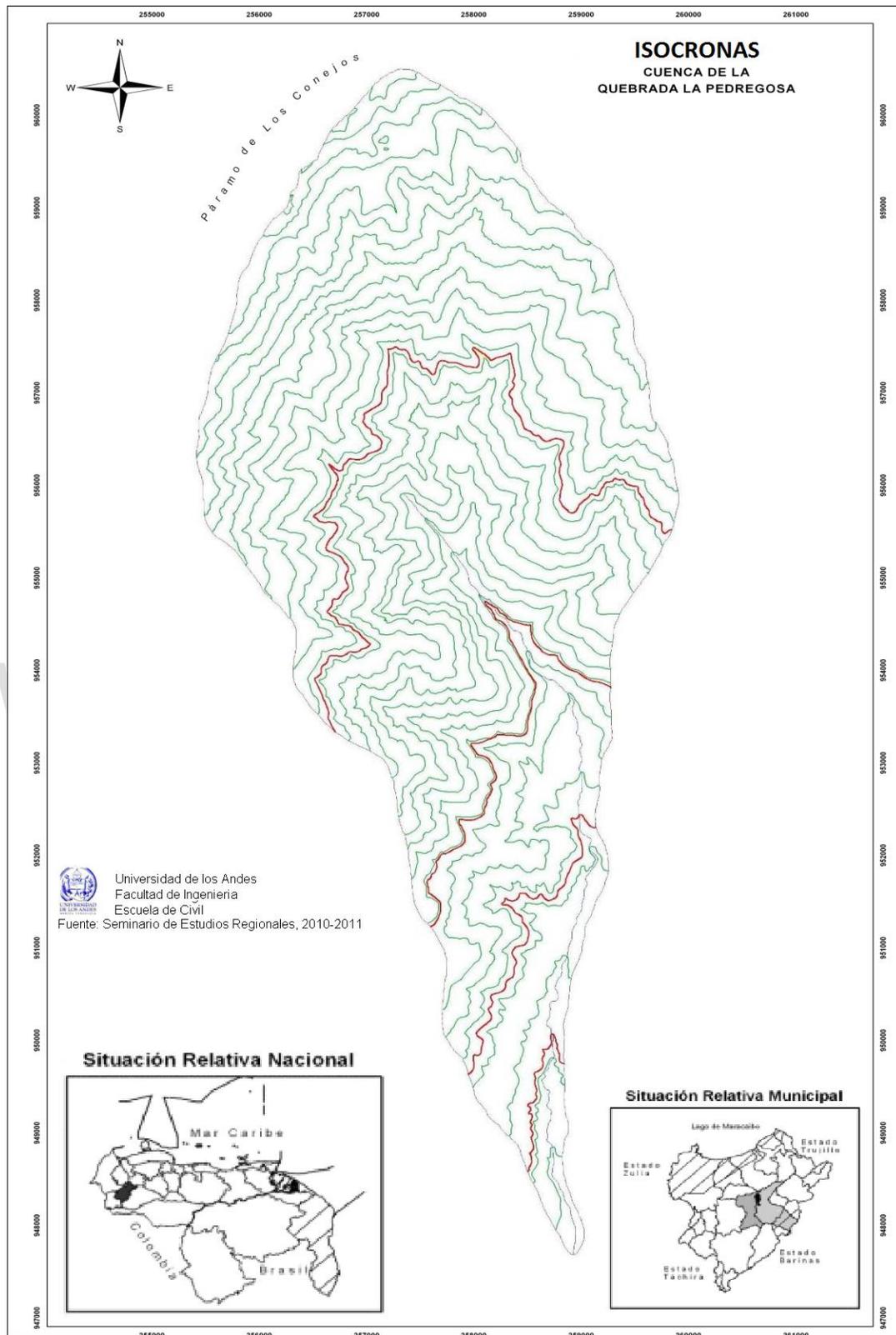


Figura 7. Isócronas.

El caudal máximo podrá estimarse a partir de la Figura 8, obteniendo una magnitud de  $171,56 \text{ m}^3/\text{seg}$ , dando así un valor dentro del rango comparado con los resultados de trabajos anteriores.

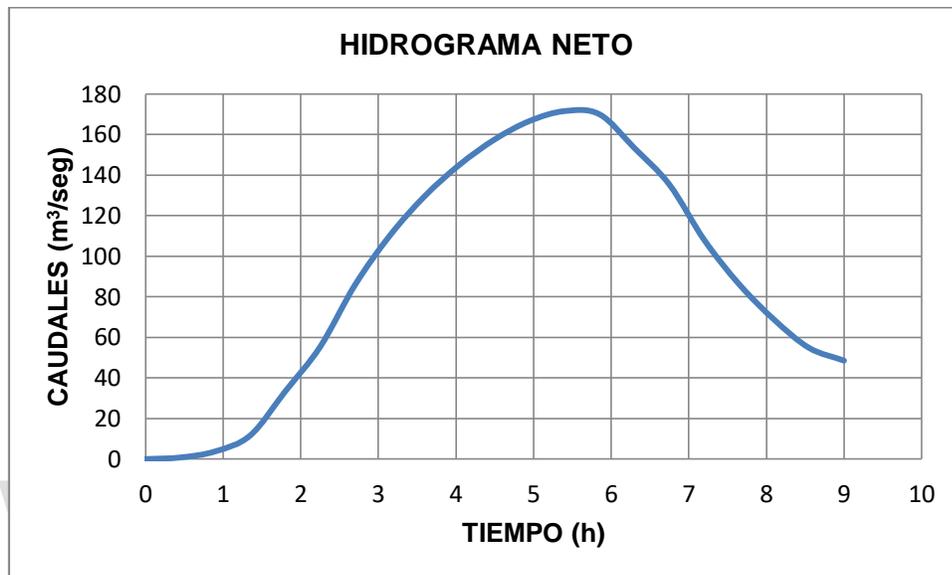


Figura 8. Hidrograma total para la estimación del caudal máximo.

#### 4.2.4. Estimación del Caudal Formativo

La estimación del caudal formativo se realizó de dos maneras:

1. Utilizando las curvas de Intensidad - Duración - Frecuencia, que resultan del ajuste a la distribución de Gumbel con los datos de intensidad máxima de la estación Santa Rosa, usando el Método de

los Momentos, para duraciones de 1, 2, 3, 6, 12, y 24 horas para un período de retorno de 1,4 años, obteniendo así una intensidad de diseño de 17,0 mm/h. El caudal se obtuvo con el método del hidrograma triangular dando como resultado 1751,6 lts/seg (1,75 m<sup>3</sup>/seg).

2. Utilizando el ajuste a la distribución de Gumbel con datos de caudales máximos de la cuenca del río Chama (cuenca patrón), usando el Método de los Momentos obteniendo así un caudal formativo de 4,69 m<sup>3</sup>/seg, cabe destacar que la fórmula para calcular el coeficiente de transferencia se le realizó una modificación para minimizar el valor de dicho caudal, quedando ésta de la siguiente manera:

$$T_{cp} = \frac{A_e}{A_p} \quad (4.1)$$

Ambos resultados son aceptables, pero se considera el primero como el más favorable por tomar en cuenta la precipitación, por lo tanto el caudal formativo es 1,75 m<sup>3</sup>/seg.

### **4.3. REALIZACIÓN DE LOS ANÁLISIS HIDRÁULICOS**

Para efectos de este trabajo, se realizó la evaluación del diseño de tres protecciones de enrocado, localizados en las márgenes derecha e izquierda del cauce del río en el tramo de estudio como se muestra en la Figura 9.

[www.bdigital.ula.ve](http://www.bdigital.ula.ve)

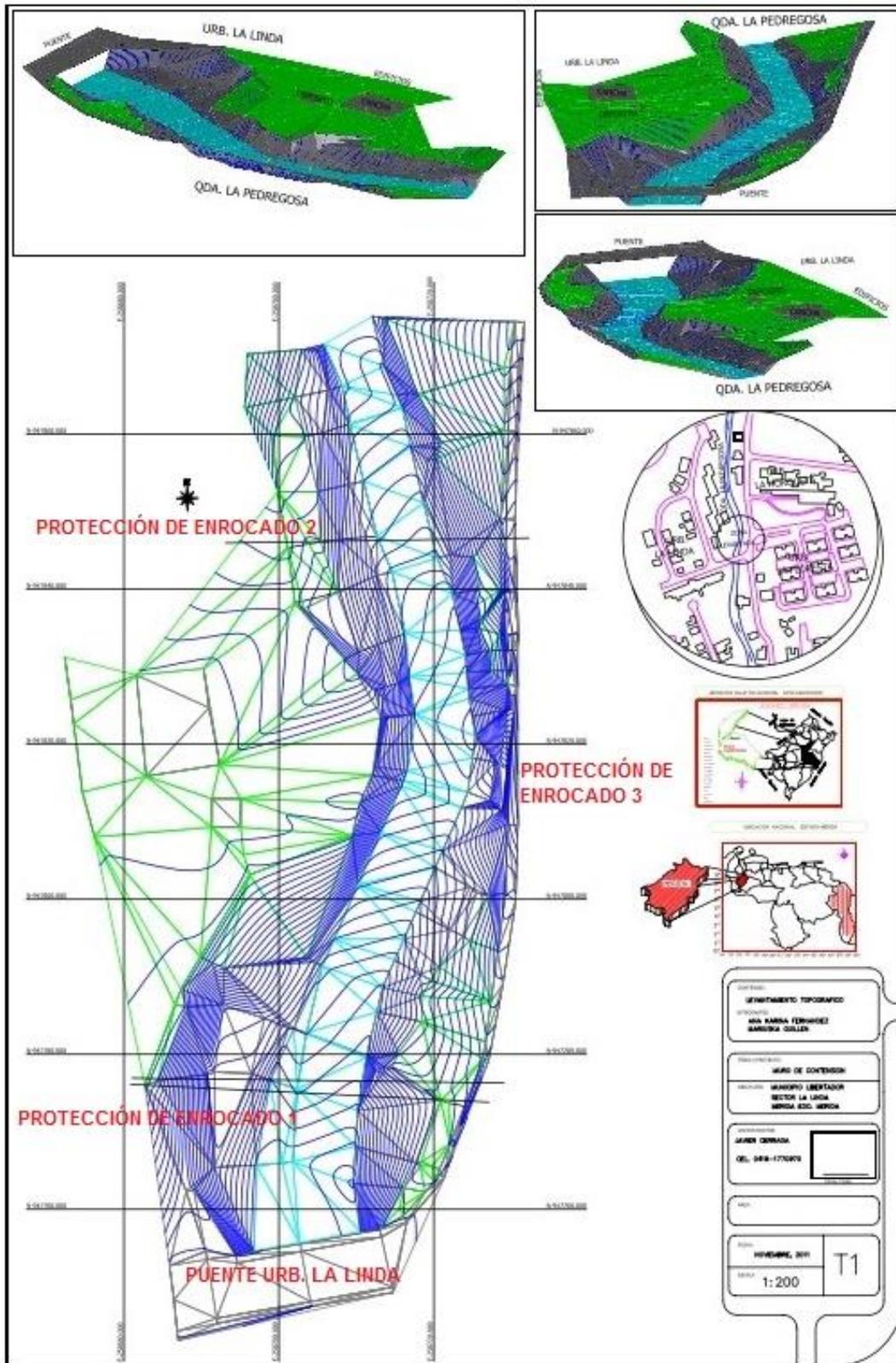


Figura 9. Levantamiento topográfico del tramo en estudio.

#### **4.3.1. Estimación de profundidades para caudal formativo y caudal máximo**

La estimación se realizará para cada una de las protecciones mostradas en la Figura 9.

- ***Protección de enrocado 1***

Con la ayuda del perfil longitudinal, se pudo obtener la sección transversal ubicada en la progresiva 0+110 (ver ANEXOS Figura 20), de donde se obtiene el ancho efectivo realizando un promedio entre el valor del ancho (B) y el espejo de agua (T), tal como se muestra en la Figura 10.

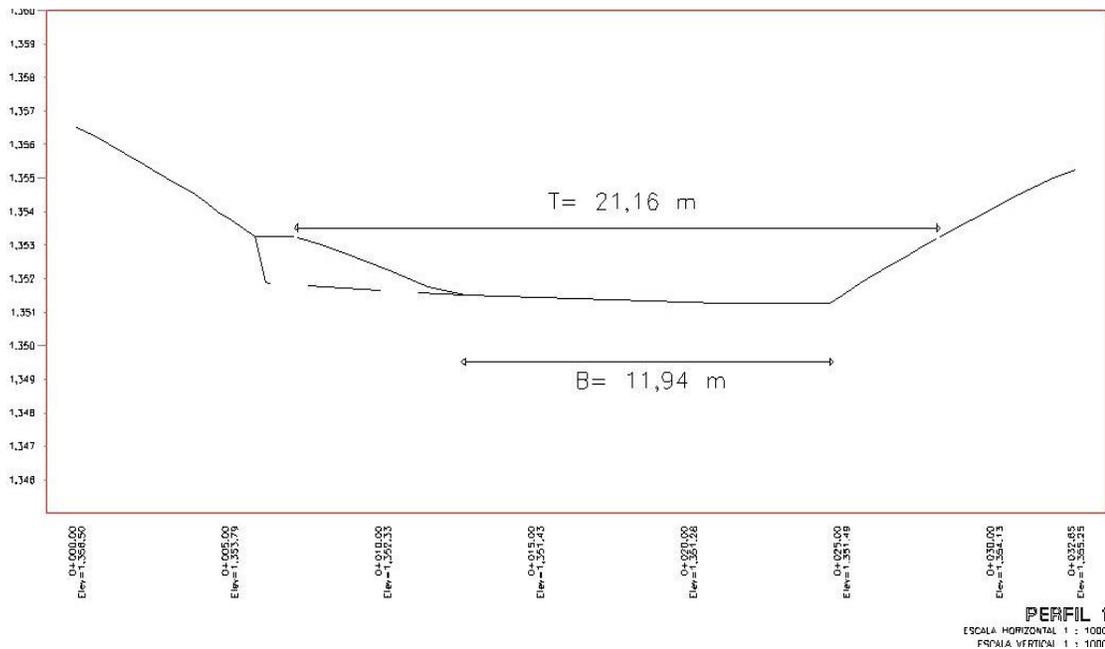


Figura 10. Sección transversal progresiva 0+110.

El cálculo de la resistencia hidráulica se hizo por medio del método de Bathurst, obteniendo como resultado una altura de agua de 1,58m para un período de retorno de 100 años y una altura de agua de 0,2 m para un período de retorno de 1,4 años.

- **Protección de enrocado 2**

Realizando el mismo procedimiento descrito anteriormente, pero con la progresiva 0+020 (ver ANEXOS Figura 20), se obtuvo la sección transversal tal como se muestra en la Figura 11.

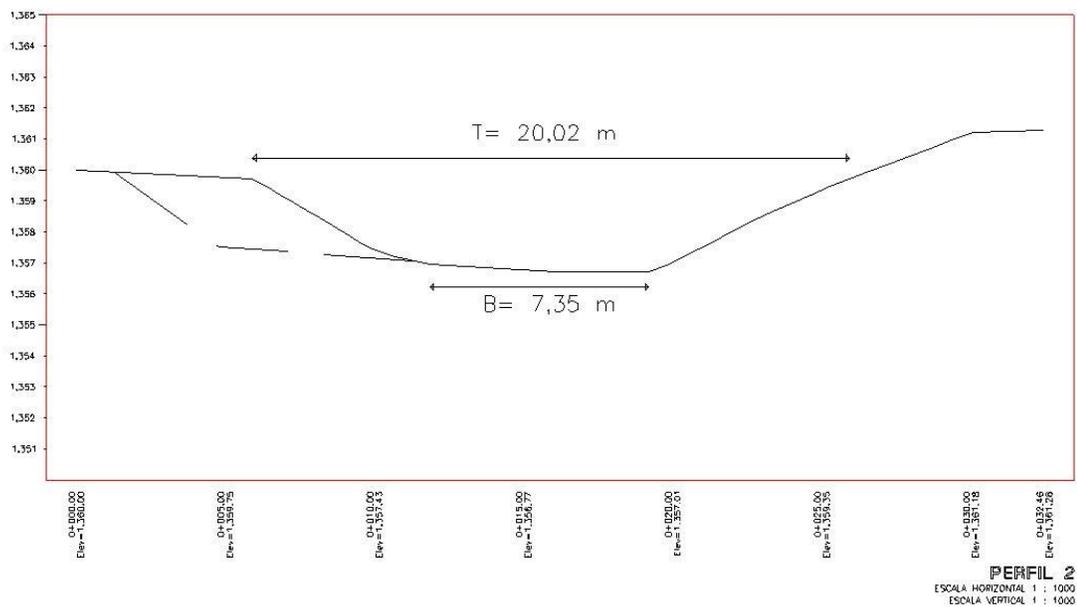


Figura 11. Sección transversal progresiva 0+020.

Donde se pudo obtener un tirante de agua de 1,75 m para un período de retorno de 100 años y una altura de agua de 0,21m para un período de retorno de 1,4 años.

- **Protección de enrocado 3**

Realizando el mismo procedimiento utilizado en la protección de enrocado 1, ahora con la progresiva 0+060 (ver ANEXOS Figura 20), se obtuvo la sección transversal tal como se muestra en la Figura 12.

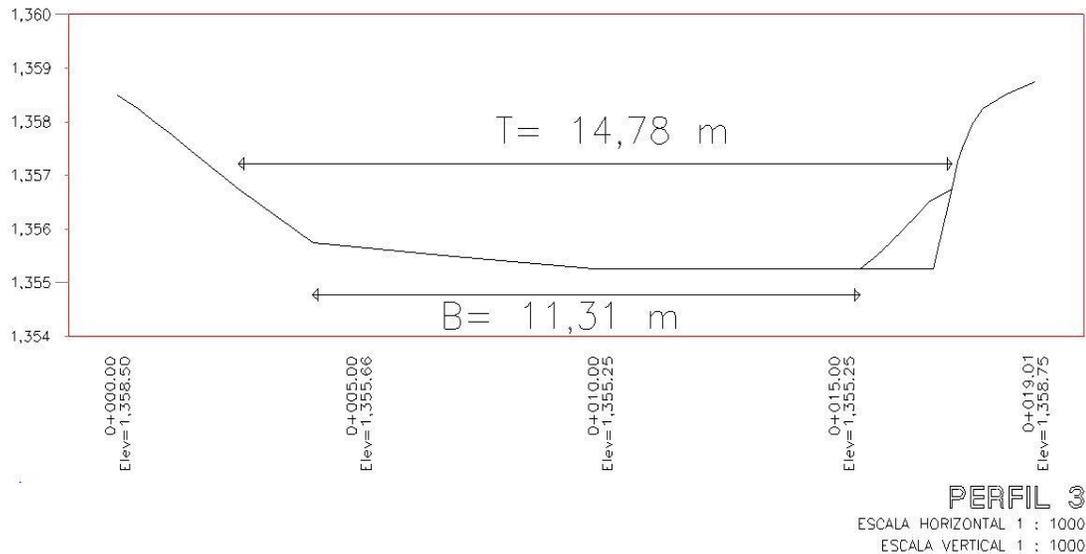


Figura 12. Sección transversal progresiva 0+060.

Dando como resultado un tirante de agua de 1,79 m para un período de retorno de 100 años y una altura de agua de 0,21m para un período de retorno de 1,4 años.

#### 4.3.2. Estimación de la Estabilidad

La estabilidad se calculó a través de las ecuaciones de Altunin, utilizando los siguientes parámetros:

Como  $Y_{n1,4} \leq 1,50$  m entonces se trabajo con  $\alpha = 1/3$  y con ello se obtuvo un valor de  $E = 0,48$ .

Para calcular la velocidad máxima no erosiva, se entró a la Tabla 4 con un diámetro medio de 35 cm, obteniendo así una velocidad de 2,60 m/seg.

Por lo tanto el tirante de agua estable arrojó un valor de 0,48 m, el ancho estable dio como resultado un valor de 1,81 m y finalmente la pendiente estable es de 1,9 %.

#### **4.3.2.1. Grados de Libertad**

Se calcularon los grados de libertad para cada protección de enrocados presentes en el cauce:

- ***Protección de enrocado 1***

La Tabla 15 presenta un cuadro comparativo, para determinar los grados de libertad presentes en el cauce:

	Dimensiones Actuales	Dimensiones Estables
<b>Yn (m)</b>	0,2	0,48
<b>B (m)</b>	16,55	1,81
<b>S (%)</b>	6,40	1,9

Tabla 15. Cuadro comparativo entre dimensiones actuales y dimensiones estables.

- **Protección de enrocado 2**

La Tabla 16 presenta un cuadro comparativo, para determinar los grados de libertad presentes en el cauce:

	Dimensiones Actuales	Dimensiones Estables
<b>Yn (m)</b>	0,21	0,48
<b>B (m)</b>	13,69	1,81
<b>S (%)</b>	6,40	1,9

Tabla 16. Cuadro comparativo entre dimensiones actuales y dimensiones estables.

- **Protección de enrocado 3**

La Tabla 17 presenta un cuadro comparativo, para determinar los grados de libertad presentes en el cauce:

	Dimensiones Actuales	Dimensiones Estables
Yn (m)	0,21	0,48
B (m)	13,05	1,81
S (%)	6,40	1,9

Tabla 17. Cuadro comparativo entre dimensiones actuales y dimensiones estables.

Por lo tanto, el río tiene 2 grados de libertad y a su vez la capacidad de formar meandros, para cada una de las protecciones.

### 4.3.3. Estimación de la Socavación

#### 4.3.3.1. Socavación General y Transversal

Esta socavación se realiza para las fórmulas de cauces definidos y material no cohesivo, para ello se calculan primero los siguientes parámetros:

- **Protección de enrocado 1**

Para hallar el coeficiente de contracción se debe entrar a la Tabla 7 con la velocidad media de 6,60 m/seg y la longitud libre entre estructuras 21 m, dando así un coeficiente de contracción de 0,93 y con esto  $\alpha' = 4,07$ .

Entrando a la Tabla 5 con un período de retorno de 100 años, se pudo obtener el coeficiente  $\beta = 1$  y entrando a la Tabla 6 con el diámetro medio de 35 cm se obtuvo que  $1/1+X = 0,81$ .

Calculados estos parámetros se pudo obtener que el tirante de agua luego de ocurrida la socavación es de 2,09 m, así la socavación es de 0,51 m.

- **Protección de enrocado 2**

De la misma manera que se realizó en la protección de enrocado 1, pero con una velocidad media de 7,20 m/seg y una longitud libre entre estructuras 20 m, se obtuvo un coeficiente de contracción de 0,927 y con esto  $\alpha' = 3,63$ . De igual manera el coeficiente  $\beta = 1$  y el valor  $1/1+X = 0,81$ .

Con estos parámetros se pudo obtener que el tirante de agua luego de ocurrida la socavación es de 2,19 m, por la tanto la socavación es de 0,44 m.

- **Protección de enrocado 3**

Utilizando el mismo procedimiento descrito anteriormente, se obtuvo que el coeficiente de contracción de 0,902 para una velocidad media de 7,34 m/seg y una longitud libre entre estructuras 14,8 m y con esto obtener  $\alpha' = 4,88$ . De igual manera el coeficiente  $\beta = 1$  y el valor  $1/1+X = 0,81$ .

Calculados estos parámetros se pudo obtener que el tirante de agua luego de ocurrida la socavación es de 2,87 m, así la socavación es de 1,08 m.

www.bdigital.ula.ve

#### **4.3.3.2. Socavación Local en Muros Longitudinales**

Esta socavación local se estimó mediante la ecuación 3.26, en la cual fue necesario calcular el número de Froude, que para el caso de la protección de enrocado 1 dio como resultado 1,68 y la socavación local un valor de 1,48 m, para un largo de 35 m y un espesor de 4 m.

Para el caso de la protección de enrocado 2, el número de Froude dio un valor de 1,74 y con un espesor de 4,7 m y una longitud de 40 m la socavación local dio un valor de 1,70 m.

De igual forma se realizó para la protección de enrocado 3, donde el número de Froude arrojó un valor de 1,75 y esta protección con un espesor de 3 m y una longitud de 30 m dio una socavación local de 1,73 m.

#### **4.4. DISEÑO DE MUROS DE ENROCADO Y DE CONCRETO CICLÓPEO**

##### **4.4.1. Diseño de Muros de Enrocado**

La forma más simple de proteger las márgenes de un río, una pila o un estribo, consiste en rodearlo con un enrocamiento que tenga, en el contacto con la estructura un mínimo de tres capas. El tamaño de los elementos del enrocamiento depende de su peso específico ( $\gamma_s$ ), del tirante ( $d_o$ ) y de la velocidad media de la corriente ( $u_o$ ). La fórmula para obtener el diámetro mínimo ( $D_{min}$ ) de las rocas es la propuesta por Maza (Mejía & Lara, 1998):

$$D_{min} = \frac{135 * u_o}{\gamma_s^{1,03} * (d_o^a - 0,15 * u_o)}$$

Donde:

$$a = 1/(2+d_0) \quad \text{Si } d_0 \leq 4 \text{ m}$$

$$a = 1/6 \quad \text{Si } d_0 > 4 \text{ m}$$

Obteniendo como resultado para el diseño de este tipo de muro un diámetro mínimo de 3,30 m.

Otra manera de obtener el diámetro mínimo de las partículas es a través de la siguiente expresión citada por (Flores & Aguirre, 2006):

$$\frac{d_{30}}{Y_n} = 0,36 * \left[ \left( \frac{\gamma}{\gamma_s - \gamma} \right)^{0,5} * \left( \frac{V}{\sqrt{g * Y_n}} \right) \right]^{2,5}$$

Donde:

$d_{30}$  = Diámetro que corresponde al 30% del material pasante (m).

$\gamma_s$  = Peso específico del enrocado ( $\text{kg/m}^3$ ).

$\gamma$  = Peso específico del agua ( $\text{kg/m}^3$ ).

$V$  = Velocidad media de la corriente (m/seg).

Obteniendo un promedio para las tres protecciones de 1,50 m como diámetro mínimo.

Ambos resultados son aceptables, pero se considera el segundo ya que la fórmula propuesta por Maza se considera para ríos con pendientes bajas, por lo tanto el diámetro mínimo de las partículas es de 1,50 m y con un espesor de 4,5 m. con estos resultados se puede afirmar que el espesor en los muros existentes en la zona de estudio no es válido, ya que en dichos muros el valor de los mismos es inferior. En cuanto al diámetro de las partículas, este enrocado tiene valores inferiores al mínimo obtenido. Esto quiere decir que se debe aumentar tanto el diámetro como el espesor.

www.bdigital.ula.ve

#### **4.4.2. Diseño de muros de Concreto Ciclópeo**

De acuerdo al estudio realizado y según (Torres, 2008), se puede tomar en consideración la construcción de muros de gravedad en las márgenes críticas del río, ya que estos muros resisten el empuje mediante su propio peso y no requieren de refuerzo. Se propone colocar muros de concreto ciclópeo, en la margen izquierda aguas arriba del puente como protección al mismo y en la margen derecha aguas arriba como protección a las edificaciones adyacentes (Muro 1 y Muro 2 respectivamente; ver ANEXOS Figura 21), con las siguientes características:

$$\gamma_{\text{concreto}} = 2300 \text{ kg/m}^3$$

$$\gamma_{\text{suelo}} = 1920 \text{ kg/m}^3$$

$$\varphi = 32^\circ$$

- MURO 1

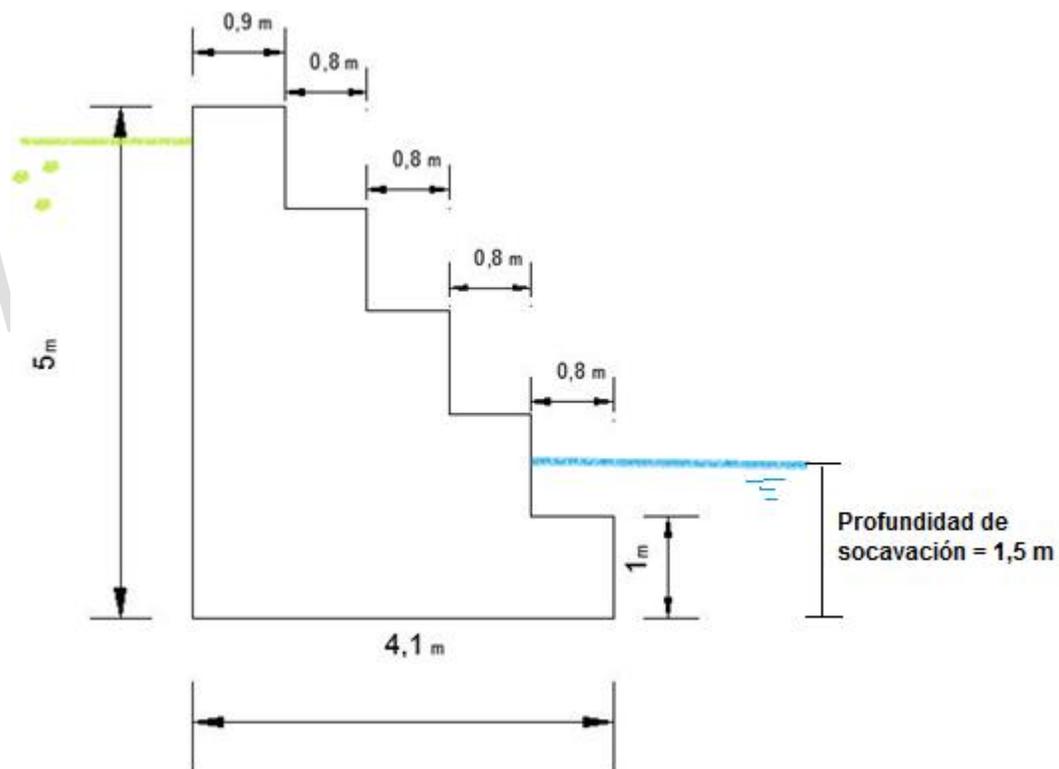


Figura 13. Dimensiones del Muro 1.

El muro consta de una base de 4,1 m y una altura de 5 m con escalones de 1 m cada uno, como se muestra en la Figura 13; con estas dimensiones, se procedió a realizar los cálculos necesarios para determinar si las mismas

son aceptables o no. Para ello, se calculó el factor de seguridad al deslizamiento, que es la relación entre las fuerzas resistentes y las actuantes o deslizantes (empuje), el cual debe ser mayor de 1,5. Para este caso, el factor de seguridad dio un valor de 1,5 el cual cumple. El factor de seguridad al volcamiento, es la relación entre los momentos estabilizantes, producidos por el peso propio del muro y los momentos de volcamiento, producidos por los empujes del terreno, de igual manera debe ser mayor a 1,5 el cual dio como resultado 6 por lo tanto, cumple. Chequeando las presiones en el suelo, se pudo obtener la máxima con un valor de 8141 Kg/m<sup>2</sup> y la mínima con un valor de 5883 Kg/m<sup>2</sup>. Debido a los resultados obtenidos se puede decir que las dimensiones del muro son aceptables.

www.bdigital.ula.ve

- Muro 2

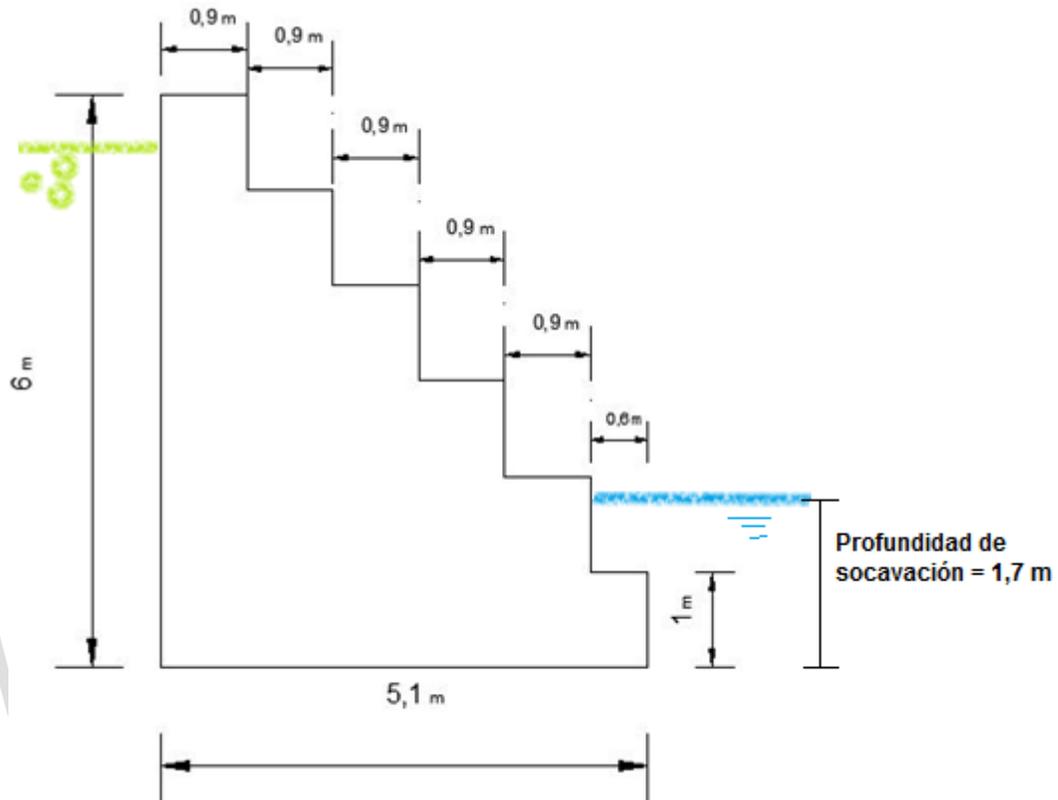


Figura 14. Dimensiones del Muro 2.

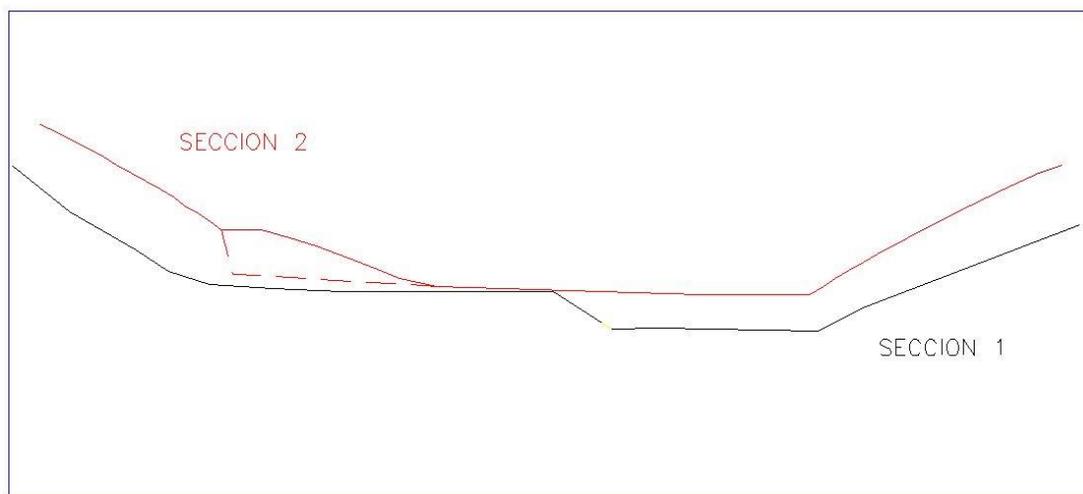
Para el diseño de este muro, se tiene una base de 5,1 m y una altura de 6 m con escalones de 1 m cada uno. Realizando el mismo procedimiento anterior, se obtuvo un factor de seguridad al deslizamiento de 1,6 y un factor de seguridad al volcamiento de 6,4 siendo ambos aceptables. La presión máxima en el suelo dio un valor de 9869 kg/m<sup>2</sup> y la mínima de 6908 kg/m<sup>2</sup>, lo que quiere decir que las dimensiones son válidas.

**ANÁLISIS Y ALTERNATIVAS DE LA SOCAVACIÓN**

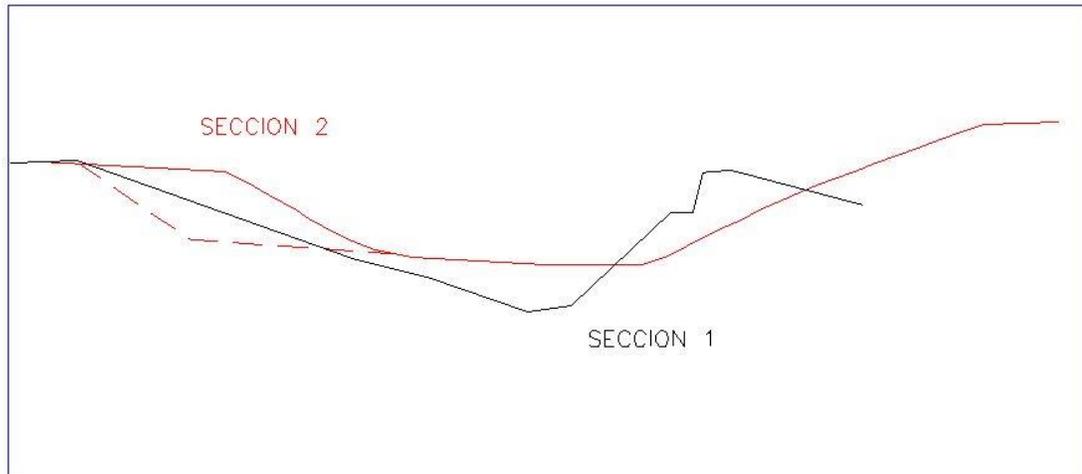
**5.1. ANÁLISIS DE LA SOCAVACIÓN DE LAS SECCIONES TRANSVERSALES**

Con el transcurrir del tiempo, se puede observar en las Figuras 15, 16 y 17, como el río ha sufrido cambios a consecuencia de las fuertes crecidas en los últimos años.

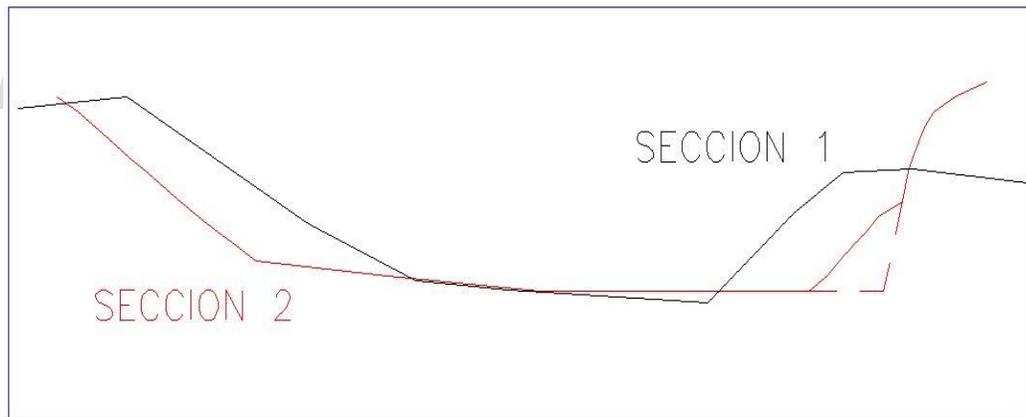
Se presentan dos secciones transversales, donde la SECCION 1 corresponde al levantamiento topográfico realizado en el año 2009 y la SECCION 2 correspondiente al levantamiento realizado para efectos de este trabajo.



**Figura 15. Solape de secciones, progresiva 0+110.**



**Figura 16. Solape de secciones, progresiva 0+020.**



**Figura 17. Solape de secciones, progresiva 0+060.**

Como se puede observar en las figuras mostradas, las partes más afectadas han sido las márgenes del río (Figura 17); del fondo del cauce de la SECCION 2, no se obtuvo mayor información debido al difícil acceso al mismo, por lo que no se puede realizar una comparación directa.

## 5.2. ALTERNATIVAS PARA CORREGIR LA SOCAVACIÓN DE LAS MARGENES DE LA QUEBRADA

- **Alternativa 1**

### **Muros de enrocado**

Son recubrimientos marginales, que evitan completamente o reducen la posibilidad de que las partículas sean movidas de la margen. El recubrimiento marginal para este caso es de tipo semi-impermeable, los cuales cubren la margen y evitan el contacto directo de la corriente con el material que la forma, aunque no evitan que el agua pueda fluir entre sus huecos, perpendicularmente a la protección. Este tipo de protección requiere de la colocación de un filtro entre el material de la orilla y el material de la protección. Dicho filtro detiene el material de la orilla y evita que pase a través de los huecos que forman los elementos del recubrimiento (Mejía & Lara, 1998). El recubrimiento marginal debe ser paralelo al eje del río, podría ser colocado tal como se muestra en la Figura 18, para corregir la socavación. La recomendación para el diámetro de las rocas para este muro es de 1.50 m y espesor de 4.5 m. Se recomienda ésta alternativa porque son económicos, por ser flexibles y tienden a permitir cambios luego de que haya asentamiento de material, no requieren de procedimientos constructivos complejos y es de fácil mantenimiento.

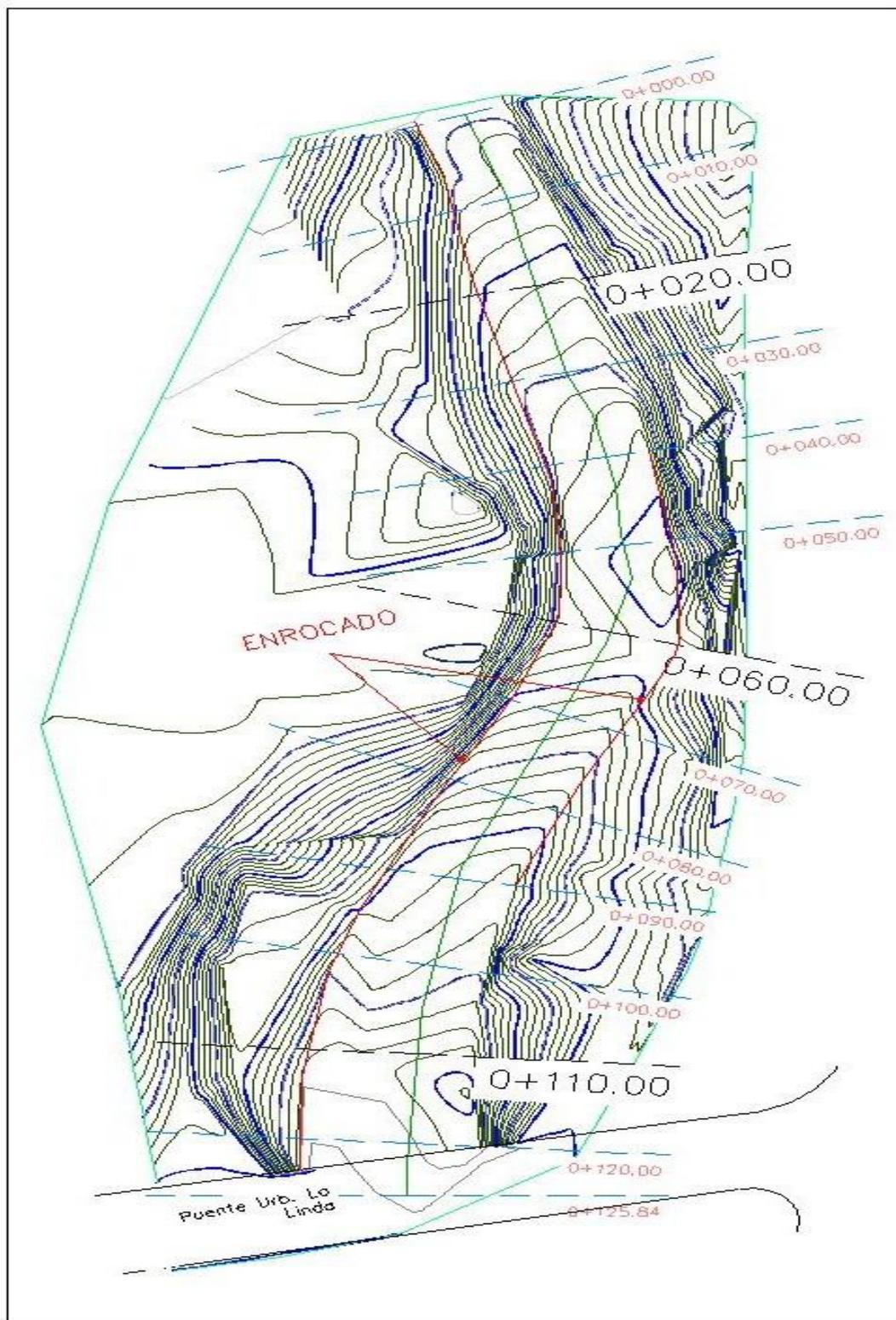
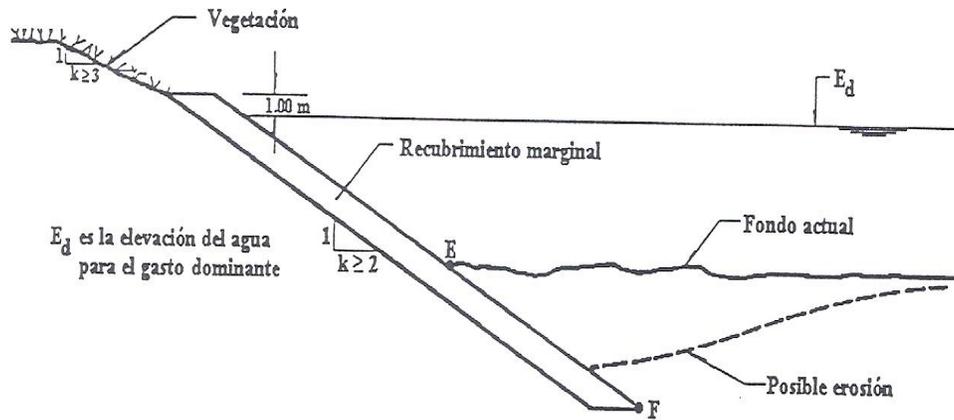


Figura 18. Ubicación de recubrimiento marginal. Muros de enrocados.

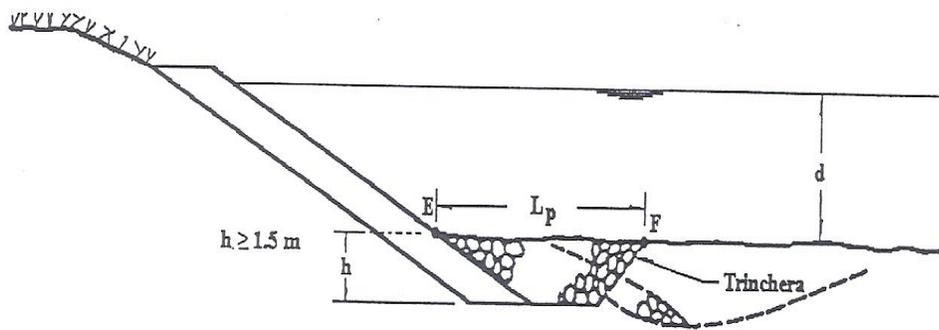
## Protecciones contra la erosión local

La causa principal de la falla de los recubrimientos marginales es la erosión local que se produce al pie de los mismos, dicha erosión se debe a la erosión general del cauce o a la erosión en curvas. A continuación se mencionarán tres procedimientos para evitar que el recubrimiento sea socavado, cualquiera de ellos puede ser aplicado en el muro recomendado:

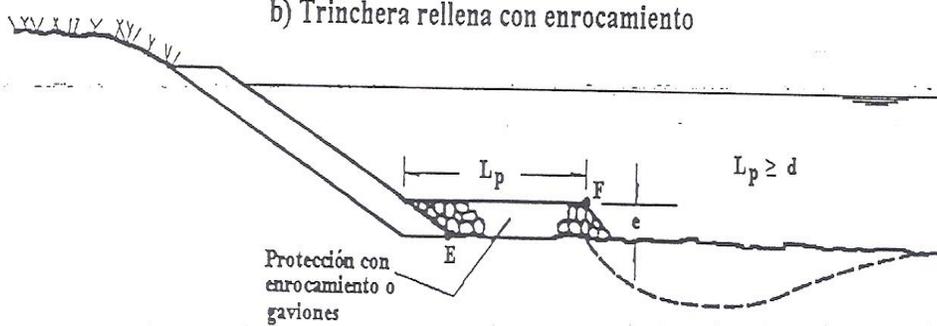
- a) Se debe desplantar la protección a una profundidad mínima de 1,5 m, esta recomendación es útil en ríos pequeños cuyo ancho no sea mayor de 30 m. En ríos mayores las socavaciones indicadas deben ser calculadas y se debe proteger, dragando o excavando el fondo hasta alcanzar las profundidades calculadas. Ver Figura 19.a.
- b) Se puede excavar una trinchera al pie del recubrimiento la cual se rellena con material pétreo que no pueda ser arrastrado por la corriente, la profundidad de ésta puede variar entre 1 y 1,5 m. Si se produce erosión y el fondo desciende se producirá un deslizamiento y reacomodo de algunos elementos de la trinchera, pero el recubrimiento marginal permanecerá. Ver Figura 19.b.
- c) Colocar un delantal a base de enrocamiento sobre el fondo del cauce, con elementos que no sean arrastrados por la corriente, cuyo espesor sea igual o mayor a tres capas de roca y con un ancho que como mínimo sea igual a una vez el tirante de la corriente correspondiente al caudal formativo o al que llena el cauce. Ver Figura 19.c.



a) Recubrimiento desplantado a una elevación inferior que la de la posible erosión



b) Trinchera rellena con enrocamiento



c) Delantal de protección

Figura 19. Formas de proteger un recubrimiento marginal contra la erosión local.  
Fuente: Mejía & Lara, 1998.

- **Alternativa 2**

### **Combinación de muro ciclópeo y muro de enrocado**

También es buena opción colocar muros de concreto ciclópeo en las zonas más críticas, que para este caso sería de protección aguas arriba del puente y como protección en la margen derecha aguas arriba a las edificaciones adyacentes; y el resto de la margen ser protegido con enrocado, tal y como se muestra en la Figura 20. Esta alternativa es presentada debido a que la capacidad de arrastre de sedimentos que presenta la quebrada La Pedregosa es bastante alta, y el hecho de construir pesados muros monolíticos representaría una mejor alternativa que la simple colocación de material de enrocado susceptibles de ser arrastrados por la corriente.

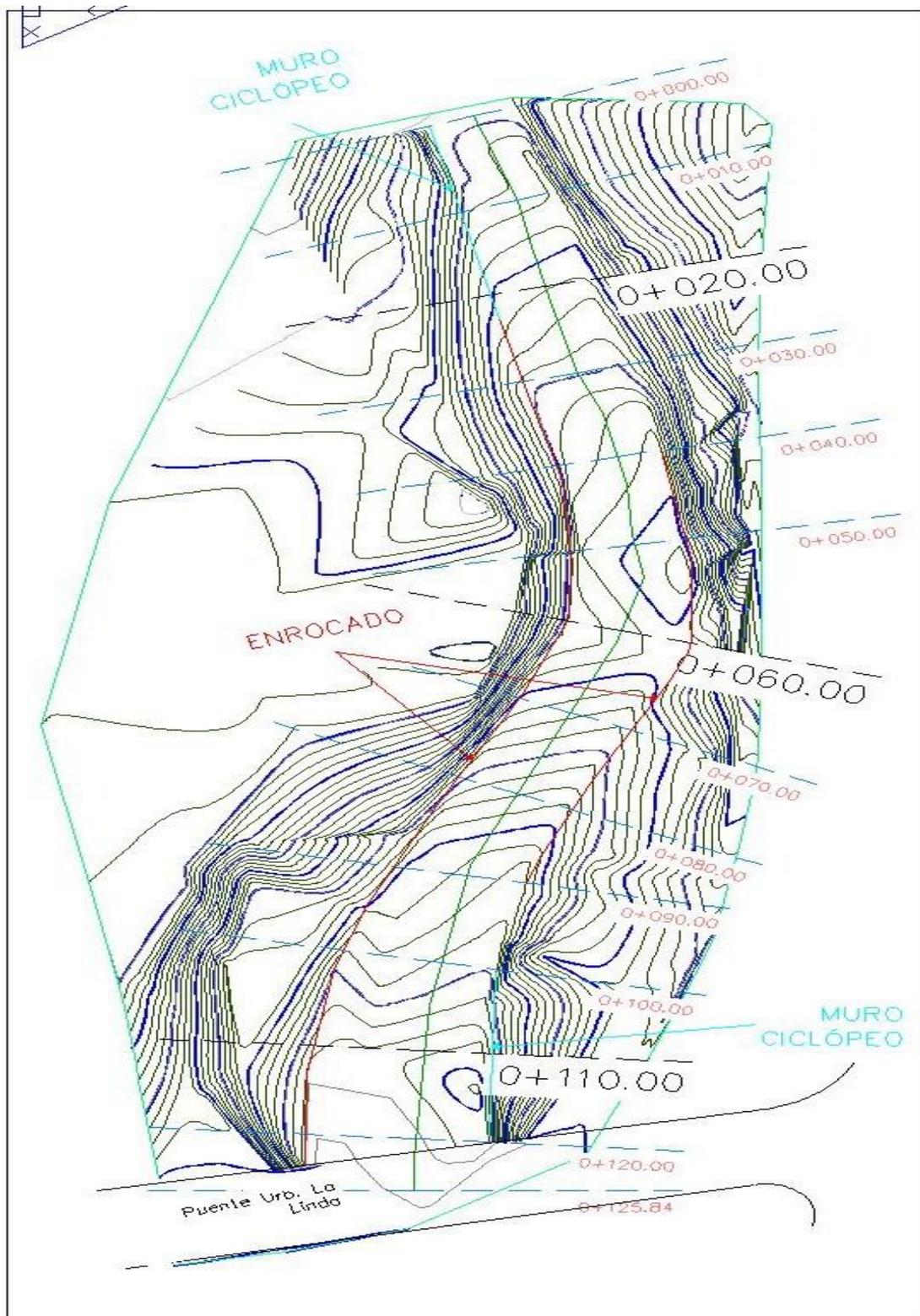


Figura 20. Ubicación de recubrimiento marginal. Muro ciclópeo y de enrocado.

**CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

**CONCLUSIONES**

Al realizar el estudio hidrológico e hidráulico de la quebrada La Pedregosa, para lo cual fue necesaria la búsqueda de información bibliográfica y pluviográfica, así como la toma de muestras de campo, trabajos de laboratorio, se pudo notar que esta quebrada, al igual que muchos ríos de la geografía merideña presentan un régimen torrencial muy marcado.

Los resultados del presente trabajo, sirven de información básica para una planificación integral orientada a disminuir cuantiosas pérdidas económicas tanto del estado como del sector privado y las perturbaciones sociales que las crecidas de la quebrada en estudio conlleven.

Se observó que las zonas más vulnerables a efectos negativos de erosión y socavación están ubicadas en la margen derecha e izquierda de la quebrada, siendo ésta última donde se está presentando la formación de un meandro, por lo que se consideró la colocación de un muro de enrocado como protección para evitar la continua socavación.

Con respecto a la protección del puente, se considera la realización de un muro de concreto ciclópeo para evitar el tropiezo de sedimentos que conllevan al aislamiento del estribo, evitando así que éste llegase a sufrir daños irreparables.

De igual manera se considera la construcción de un muro de concreto ciclópeo para la zona aguas arriba del puente en la margen derecha que se encuentra adyacente a las edificaciones existentes, con lo que se evitarán las inundaciones de las zonas adyacentes, registradas en el pasado.

En el tramo de la zona en estudio, se encontraron unos muros longitudinales de enrocado, los cuales fueron validados por medio del cálculo de la estabilidad y de sus grados de libertad donde se observó que el ancho estable es menor que el ancho actual lo que significa que los muros se encuentran bien ubicados. De la misma manera, se hizo una evaluación del diámetro requerido en la construcción de los mismos, llegando a la conclusión de que no cumplen con el diámetro mínimo recomendado.

## RECOMENDACIONES

- Es importante sugerir a los organismos gubernamentales y no gubernamentales competentes encargados de la seguridad ciudadana, del mantenimiento de los muros longitudinales de enrocado encontrados en las márgenes de la quebrada La Pedregosa.
- Es fundamental involucrar a la ciudadanía residente alrededor de la quebrada La Pedregosa en mantener y evitar la contaminación y depósito de desechos sobre éste, también concientizar a la misma población del riesgo que puedan sufrir al construir sus viviendas inapropiadamente en zonas vulnerables al río.
- Consideración por parte de la alcaldía que es el organismo encargado de la permisología de viviendas, con respecto a la planificación y urbanismo a futuro en zonas que pueden ser afectadas por la ocurrencia de crecidas de la quebrada La Pedregosa.
- La colocación de muros de concreto ciclópeo aguas arriba del puente en la margen izquierda del mismo, con la finalidad de proteger el puente de la urbanización La Linda.
- La prolongación del muro de concreto ciclópeo hacia aguas abajo del puente en la margen izquierda con la finalidad de proteger la vía a causa de la falla de borde que se está generando.
- La colocación de un muro de concreto ciclópeo aguas arriba del puente en la margen derecha con la finalidad de darle protección a las

edificaciones que allí se encuentran, ya que en crecidas anteriores éstas han sido afectadas a causa del agua.

- Realizar un levantamiento topográfico más exhaustivo con el propósito de estudiar cabalmente la sección transversal en el fondo del cauce
- Colocación de filtros entre el material de la margen del curso fluvial y el enrocado, ya que éste detiene el lavado de finos a través del material grueso y evita que pase a través de los huecos que forma el enrocado. Dichos filtros pueden ser de material granular o geotextil.
- Tomar en cuenta la protección contra la erosión local, ya que ésta es la causa principal de la falla de los recubrimientos marginales. Seleccionar la protección más adecuada por los equipos de construcción disponibles y por motivos económicos.
- Para la construcción de los muros a futuro, se recomienda realizar una excavación o remoción del material existente, porque el ancho actual es mayor que el ancho estable y debemos recordar que el río tiene la capacidad de formar meandros porque la pendiente es inestable.
- Como en la literatura no existen estructuras para la protección contra la socavación general y transversal, se recomienda que la protección contra la socavación local considere una mayor profundidad.
- La colocación de diques transversales a lo largo del cauce principal, con la finalidad de disminuir la pendiente.

[www.bdigital.ula.ve](http://www.bdigital.ula.ve)

## BIBLIOGRAFÍA

---

- Arellano, G., & Castañeda, J. (1965). *Estudio de Reconocimientos de Suelos de la Cuenca del Río La Pedregosa*. Tesis de Grado, Universidad de Los Andes, Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales, Mérida.
- Bolinaga, J. (1999). *Proyectos de Ingeniería Hidráulica* (Vol. II). Caracas, Venezuela: Fundación Polar.
- Borges, M. E. (2008). *Socavación al Pie de Muros Longitudinales*. Tesis de Grado, Universidad de Los Andes, Escuela de Ingeniería Civil, Mérida.
- Camacho, F. (2006). *Actualización de Criterios Para el Diseño Hidráulico - Fluvial de Puentes* (Vol. II). Caracas: Fundación Juan José Aguerreverre.
- Chow, V., Maidment, D., & Mays, L. (1994). *Hidrología Aplicada*. Santa Fe de Bogotá, Colombia: Mc - Graw Hill.
- Dávila, M., & Requena, M. (2004). *Zonificación de la Amenaza Hidrológica en un Cono de Deyeccion Usando Modelos de Simulación Hidrológica e Hidráulica: Aplicación a la Quebrada La Pedregosa, Sector La Pedregosa, Estado Mérida*. Tesis de Grado, Universidad de Los Andes, Escuela de Ingeniería Forestal, Mérida.

- Duque, R. (2006). *Relaciones Lluvia- Escorrentía. Material de Enseñanza. Maestría en Ingeniería de Riego y Drenaje*. Universidad de Los Andes. CIDIAT, Mérida.
- Fattorelli, S., & Fernández, P. (2007). *Diseño Hidrológico* (Primera ed.). Mérida: Zeta Editores.
- Flores, I., & Aguirre, J. (2006). *Hidráulica Fluvial*. Mérida, Venezuela.
- Guevara, E., & Cartaya, H. (1991). *Hidrología: una Introducción a la Ciencia Hidrológica Aplicada*. Valencia, Venezuela.
- Infante, E. (2001). *Caracterización Físico - Natural y Calidad de Agua de la Cuenca La Pedregosa del Estado Mérida*. Tesis de Grado, Universidad de Los Andes, Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales, Mérida.
- Landaeta, Y. (2004). *Aplicación de los Modelos: Caudal 3, HEC - HMS, SMADA y Métodos Empíricos Para la Determinación de Caudales Máximos. Caso Cuenca Río La Pedregosa, Mérida Estado Mérida Evento 30/10/2001*. Tesis de Grado, Universidad de Los Andes, Escuela de Ingeniería Forestal, Mérida.
- Martín, F., & García, C. (2001). Muestreo Superficial. *Acta Geológica Hispánica*, 36(1-2), 137-147.
- Mejía, R., & Lara, B. (1998). *Manual de Diseño de Obras Fluviales*. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, Coordinación de Tecnología Hidrológica.

- Mora, M. (2004). *Determinación de Medidas para Mitigar Riesgos de Crecidas Torrenciales en la Cuenca de la Quebrada La Pedregosa. Municipio Libertador, Estado Mérida.* Trabajo especial de grado, Universidad de Los Andes, Facultad de Ciencias Forestales Y Ambientales, Mérida.
- Moreira, C. (2007). *Determinación de Zonas de Desborde en la Cuenca Quebrada La Pedregosa Mérida Edo. Mérida.* Trabajo de grado, Universidad de Los Andes, Escuela de Geografía, Mérida.
- Peña, G. (1973). *Análisis Hidrológico Forestal de la Cuenca del Río La Pedregosa y la Quebrada la Resbalosa, Estado Mérida.* Tesis de Grado, Universidad de Los Andes, Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales, Mérida.
- Ramírez, M. (2003). *Hidrología Aplicada.* Trabajo de ascenso, Universidad de Los Andes, Facultad de Ingeniería, Mérida.
- Rocha, A. (1998). *Introducción a la Hidráulica Fluvial.* Universidad Nacional de Ingeniería, Facultad de Ingeniería Civil, Lima.
- Ruiz, J. (2002). *Estudio de las Características Hidrológicas de la Cuenca La Pedregosa Con Fines de Proponer Sistemas Preventivos Contra Inundaciones.* Tesis de Grado, Universidad de Los Andes, Escuela de Geografía, Mérida.
- Seminario de Estudios Regionales. (2011). *Zonificación de la Cuenca de la Quebrada La Pedregosa Según Niveles de Susceptibilidad, Amenazas y Vulnerabilidad Social.* Universidad de Los Andes, Escuela de Geografía, Mérida.

- Tahal Consulting Enginners LTD. (1998). *Estudio Hidrológico e Hidrogeológico*. Hidroandes, Mérida.
- Torres, R. (2008). *Análisis y Diseño de Muros de Contención de Concreto Armado*. Universidad de Los Andes, Facultad de Ingeniería, Mérida.

[www.bdigital.ula.ve](http://www.bdigital.ula.ve)

**Agua:**

Es una sustancia abiótica, la más importante de la tierra y uno de los principales constituyentes del medio en que vivimos y de la materia viva. Un gran porcentaje de la superficie terrestre está cubierta por agua que se distribuye por cuencas saladas y dulces, las primeras forman los océanos y mares; lagos y lagunas, etc.; como gas constituye la humedad atmosférica y en forma sólida la nieve o el hielo. El agua conforma lo que llamamos hidrósfera y no tiene límites precisos con la atmósfera y la litósfera porque se compenetran entre ella.

**Cauce:**

El cauce (también llamado lecho fluvial) es la parte del fondo de un valle por donde discurren las aguas en su curso: es el confín físico normal de un flujo de agua, siendo sus confines laterales las riberas.

**Caudal:**

Es el volumen por unidad de tiempo que pasa por una sección transversal de la corriente de un río. También se le conoce como esorrentía y se visualiza como el agua que se mueve por un cauce definido.

**Caudal Formativo:**

Es el caudal que está asociado con la estabilidad de un río, y ocurre para un período de retorno de 1,4 años (Flores & Aguirre, 2006).

**Crecida:**

Es la elevación del nivel de un curso de agua significativamente mayor que el flujo medio de éste. Durante la crecida, el caudal de un curso de agua aumenta en tales proporciones que el lecho del río puede resultar insuficiente para contenerlo. Entonces el agua lo desborda e invade el lecho mayor, también llamado llanura aluvial.

**Encauzamiento:**

Su cauce, normalmente seco, puede ser destructor en época de fuertes lluvias debido al tamaño de su cuenca y a las pendientes fuertes de su curso. De las últimas riadas son especialmente destacables las de 1949 y 1957. Además debido a su nulo caudal existe una gran cantidad de caminos de huerta entre diversas localidades de la comarca que lo cruzan a nivel lo que provoca que los vados sean impracticables y muy peligrosos en cuanto el barranco lleva algo de agua.

**Erosión:**

La erosión es la degradación y el transporte de material o sustrato del suelo, por medio de un agente dinámico, como son el agua, el viento o el hielo.

Puede afectar a la roca o al suelo, e implica movimiento, es decir, transporte de granos y no a la disgregación de las rocas, fenómeno conocido como meteorización. La erosión es uno de los principales actores del ciclo geográfico.

### **Geología:**

(Del griego γεια, geo "Tierra" y λογος, logos "Estudio") es la ciencia y el estudio de la materia física y energía que constituyen la Tierra. El campo de la geología comprende el estudio de la composición, estructura, propiedades, y la historia de la materia física del planeta, los procesos por los que se forma, se trasladó y cambió la historia de la vida en la Tierra, y las interacciones humanas con la Tierra.

### **Hidrograma:**

Es la representación de la variación de las descargas de una corriente con respecto al tiempo, en una sección determinada del curso de agua (Ramírez, 2003).

### **Hidrología:**

Se denomina hidrología (del griego (hidro): agua, (logos): estudio) a la ciencia geográfica que se dedica al estudio de la distribución, espacial y temporal, y las propiedades del agua presente en la atmósfera y en la

corteza terrestre. Esto incluye las precipitaciones, la escorrentía, la humedad del suelo, la evapotranspiración y el equilibrio de las masas glaciares.

### **Hidrología Fluvial:**

Es la rama de la hidráulica que se dedica al estudio del comportamiento de los ríos. A través de ella es posible predecir cuál será la reacción y evolución de un río ante cualquier intervención del hombre, bien sea en el propio cauce y márgenes, en su espacio fluvial asociado (llanuras de inundación y franja de ribera con las que el río mantiene un constante intercambio de materia y energía) e incluso a un nivel mayor, la cual trae alteraciones en la cuenca de aportación tales como reducción de la superficie forestal en favor de usos agrícolas y urbanos.

### **Inundaciones:**

Una Inundación es la ocupación por parte del agua de zonas que habitualmente están libres de ésta, bien por desbordamiento de ríos y ramblas por lluvias torrenciales o deshielo, o mares por subida de las mareas por encima del nivel habitual o por avalanchas causadas por maremotos.

### **Inundación Fluvial:**

Son procesos naturales que se han producido periódicamente y que han sido la causa de la formación de las llanuras en los valles de los ríos, tierras

fértiles donde tradicionalmente se ha desarrollado la agricultura en vegas y riberas.

### **Isócrona:**

Las isócronas son líneas divisorias que dividen una cuenca en varias sub-cuencas, con el fin de que el tiempo de viaje a través de cada una de ellas sea constante (Ramírez, 2003).

### **Muros Longitudinales:**

Son obras de protección que se apoyan en las márgenes de los ríos para evitar la erosión y así que la corriente este en contacto directo con el material de las orillas al cual se intenta proteger. Los muros pueden ser de distintos materiales, tales como: enrocado, prefabricados de concreto, arcilla, entre otros (Borges, 2008).

### **Obras de Protección:**

Son las obras adicionales, que se diseñan y construyen para proteger las estructuras del camino o de las obras de arte; entre otras están:

- Los propios estribos de apoyo de los puentes con sus aletones, que pueden ser de concreto reforzado o de concreto ciclópeo, para sostener el material de relleno de los accesos al puente o los taludes aledaños

- Muros de concreto ciclópeo, para evitar deslaves de las orillas y taludes hacia el lado bajo del camino.
- Gaviones, estructuras construidas a base de malla metálica galvanizada, llenas de piedra, muy resistentes a los efectos de deslaves y el agua, por lo que se utilizan con mejor resultado que las anteriores y especialmente para proteger las subestructuras de puentes y obras similares.

**Período de Retorno:**

Es una medida de probabilidad, definiéndose como el número de años que tiene un evento en ocurrir (Flores & Aguirre, 2006).

www.bdigital.ula.ve

**Precipitación:**

Se define precipitación a la caída y llegada a la superficie terrestre de gotas de agua que se encuentran en las nubes.

**Río:**

Un río es una corriente natural de agua que fluye con continuidad. Posee un caudal determinado, rara vez constante a lo largo del año, y desemboca en el mar, en un lago o en otro río, en cuyo caso se denomina afluente. La parte final de un río es su desembocadura.

**Sedimentación:**

Es el proceso por el cual el material sólido, transportado por una corriente de agua, se deposita en el fondo de un río, embalse, canal artificial, o dispositivo construido especialmente para tal fin. Toda corriente de agua, caracterizada por su caudal, tirante de agua, velocidad y forma de la sección tiene una capacidad de transportar material sólido en suspensión. El cambio de alguna de estas características de la corriente puede hacer que el material transportado se sedimente; o el material existente en el fondo o márgenes del cauce sea erosionado.

**Sedimento:**

El sedimento es un material sólido, acumulado sobre la superficie terrestre (litosfera) derivado de las acciones de fenómenos y procesos que actúan en la atmósfera, en la hidrosfera y en la biosfera (vientos, variaciones de temperatura, precipitaciones meteorológicas, circulación de aguas superficiales o subterráneas, desplazamiento de masas de agua en ambiente marino o lacustre, acciones de agentes químicos, acciones de organismos vivos).

**Socavación:**

Se denomina socavación a la excavación profunda causada por el agua, uno de los tipos de erosión hídrica. Puede deberse al embate de las olas contra un acantilado, a los remolinos del agua, especialmente allí donde encuentra

algún obstáculo la corriente, y al roce con las márgenes de las corrientes que han sido desviadas por los lechos sinuosos. En este último caso es más rápida en la primera fase de las avenidas. La socavación provoca el retroceso de las cascadas y de los acantilados que, al ser privados de apoyo en su base, se van desplomando progresivamente. También representa un papel esencial en la formación y migración de los meandros.

### **Socavación General y Transversal:**

Se denomina socavación general al descenso del nivel del fondo a lo largo del cauce a través de su sección transversal, este descenso puede ser variable o uniforme a través de dicha sección. Esta socavación resulta de la contracción del flujo, el cual al aumentar su velocidad arrastra el sedimento del fondo. Mientras que la socavación transversal, es aquella que se produce por el aumento en la capacidad de arrastre de los sólidos que adquiere una corriente cuando su velocidad aumenta por efecto de la reducción del área del cauce. Ambas socavaciones se producen al mismo tiempo (Borges, 2008) y (Camacho, 2006).

### **Socavación Local:**

La socavación local es aquella que se da en las cercanías de las estructuras que se encuentran ubicadas dentro del cauce, dichas estructuras pueden ser las pilas y los estribos de los puentes, siendo una de las socavaciones que causan más daño en las estructuras ya que siendo un obstáculo en el río

provocan la desviación de las líneas de corriente, lo que a su vez origina un sistema de vórtices de alta velocidad que genera una marcada erosión en la parte frontal del obstáculo (Borges, 2008) y (Camacho, 2006).

### **Transporte de Sedimento:**

El transporte de sedimentos es un fenómeno complejo que responde a dos funciones, una que representa las características de la hoya y otra las del río; una de las funciones indica la cantidad, naturaleza y propiedades físicas de los materiales disponibles para el transporte, y la otra, la capacidad del sistema hidráulico para hacerlo.

Esta complejidad hace que el problema del transporte de sedimentos sea imposible de resolver por la aplicación simple de la teoría de la mecánica de los fluidos. La presencia de partículas en el flujo altera el comportamiento hidráulico muchas veces motivado por la presencia de elementos artificiales, como son apoyos de puentes o estructuras hidráulicas, que hacen que se rompa el equilibrio del flujo.

### **Vegetación:**

Es la cobertura de plantas (flora) salvajes o cultivadas que crecen espontáneamente sobre una superficie de suelo o en un medio acuático. Hablamos también de una cubierta vegetal. Su distribución en la Tierra depende de los factores climáticos y de los suelos. La relación entre la vegetación y el clima es muy grande. Tiene tanta importancia que inclusive

se llega a dar nomenclatura a los climas según el tipo de vegetación que crece en la zona donde ellos imperan. Por eso se habla de un clima de selva, de un clima de sabana, de un clima de taiga, entre otros.

[www.bdigital.ula.ve](http://www.bdigital.ula.ve)

**ANEXOS**  
www.bdigital.ula.ve

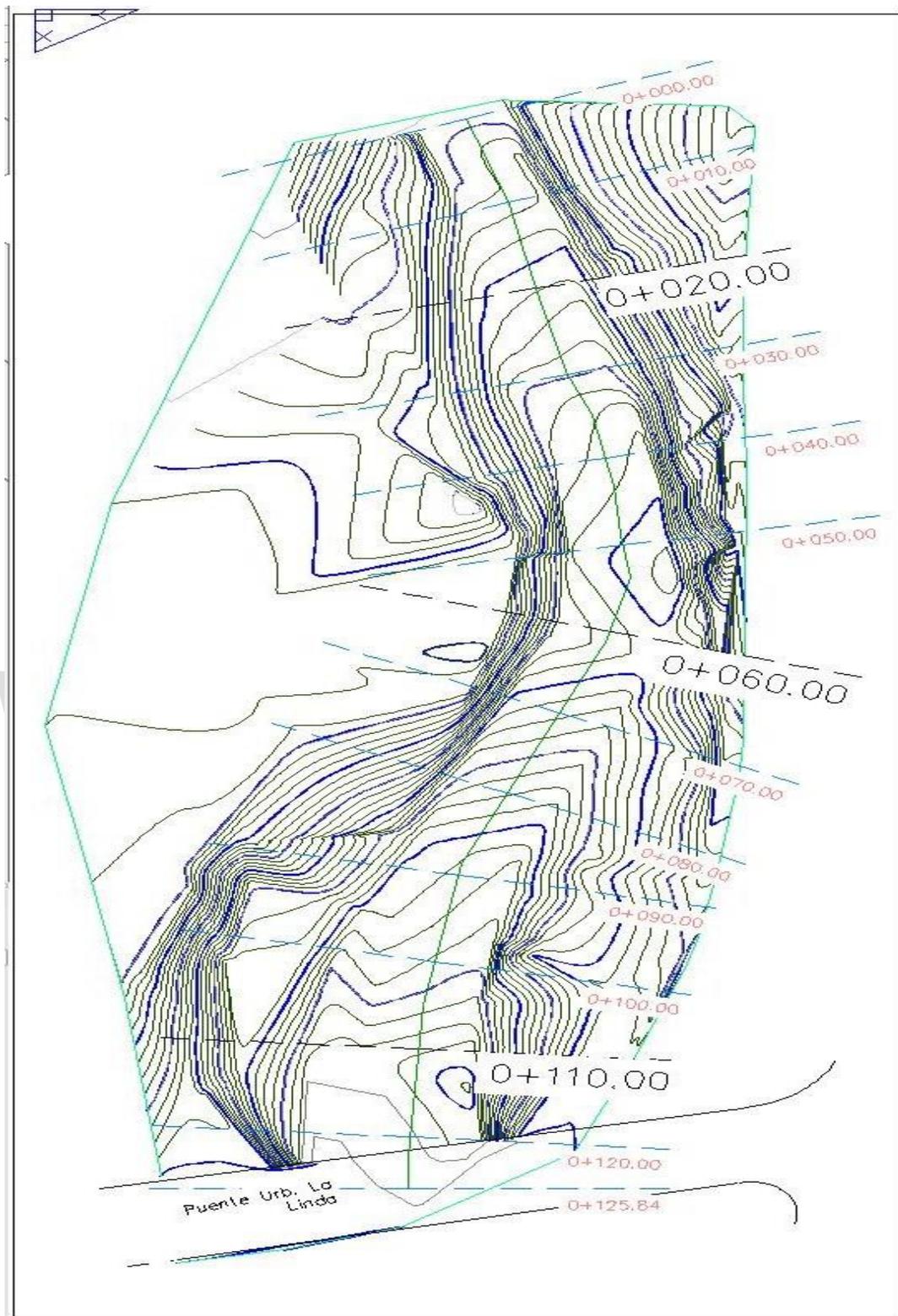


Figura 21. Progresivas de las secciones transversales en estudio.

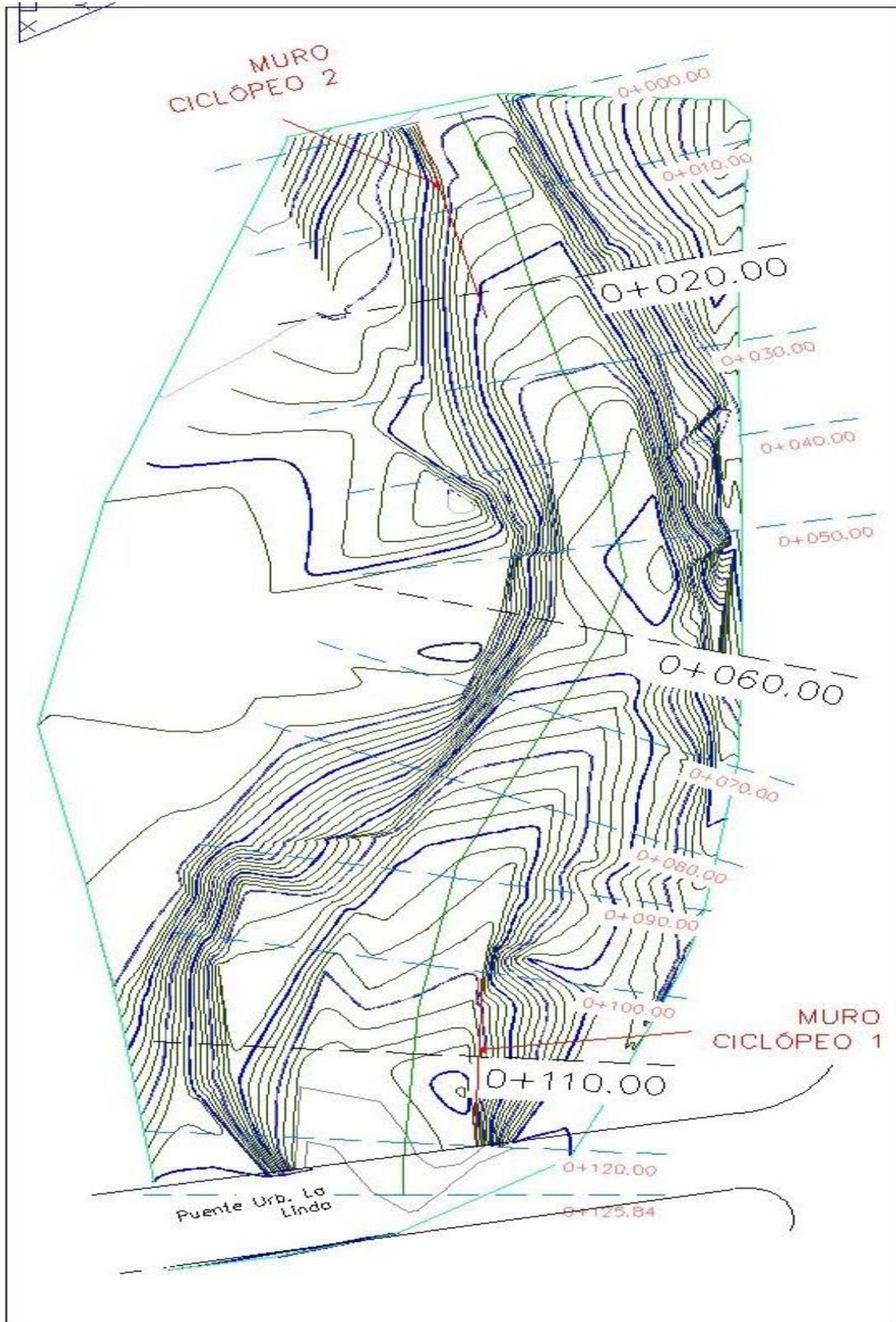


Figura 22. Ubicación de los muros de concreto ciclópeo.