

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

1.1. GENERALIDADES

El agua, como elemento vital ha obligado al hombre a vivir cerca de donde encontrarla; principalmente a la orilla de ríos y arroyos, lagos y junto a manantiales. Por ser los ríos más numerosos y extensos, una mayor parte de la humanidad ha vivido en sus riberas. La relación histórica entre el hombre y los ríos ha sido una constante lucha para aprovechar sus beneficios y evitar o reducir sus daños o desventajas.

Entre los beneficios y usos de los ríos se puede citar:

- Fuente de agua para uso humano.
- Fuente de agua para consumo animal.
- Fuente de agua y fertilizantes para la agricultura.
- Vías de navegación y medio de transporte.
- Fuente de energía mecánica y eléctrica.
- Fuentes de materiales pétreos: principalmente, grava y arena.
- Lugar de recreo y esparcimiento.

Y entre sus principales daños o desventajas es posible mencionar:

- Presentan un obstáculo para su cruce.
- Tienden a destruir constantemente las obras hidráulicas que se construyen para aprovecharlos; ya sea por erosión o azolvamiento.
- Destruyen las construcciones y cultivos que están sobre sus márgenes cuando ocurren corrimientos Laterales o se desarrollan meandros.
- En época de secas pueden dejar de conducir el mínimo de agua demandada.
- En época de lluvias pueden producir inundaciones.

En éste trabajo se hará referencia el último aspecto mencionado: las inundaciones, así como las acciones que el hombre puede emprender para evitarlas.

La mayor parte de cada año, la corriente de agua en los tramos del curso bajo de casi todos los ríos discurre por cauces aluviales bien delimitados. Cuando son así las llanuras aluviales por las que fluyen los ríos ofrecen muchos atractivos para vivir en ellas. Son ricas para la agricultura lo que estimula el desarrollo de los cultivos, y la proximidad de un cauce fluvial ha proporcionado tradicionalmente una fuente fácilmente accesible para el abastecimiento de agua, un medio adecuado para la evacuación de afluentes y, sobretodo en tiempos pasados, brindaba un medio eficiente de comunicación y transporte.

En tiempos de aumento de la corriente del río, las llanuras aluviales sirven para absorber, y hasta cierto punto para que pase el agua que excede la capacidad del cauce fluvial. Por consiguiente a pesar de sus atractivos, la ocupación de las llanuras de inundación entraña un riesgo.

Con crecidas extremas, este riesgo se convierte en un peligro cierto y se producen desastres que causan grandes daños en los bienes materiales y en la agricultura, interrumpen los sistemas de comunicación, el comercio y la industria.

En el curso de toda la historia del desarrollo social se han registrado grandes inundaciones catastróficas, pero a pesar de los inconvenientes y tragedias, la población continúa habitando en las llanuras de inundación e incluso ocupa esas zonas con intensidad creciente.

Para investigar las ventajas e inconvenientes de la ocupación de las llanuras de inundación, está siempre justificado un análisis detallado de las crecidas y de los problemas conexos.

1.2. INFORMACIÓN SOBRE LA SITUACIÓN ACTUAL

La ciudad de Tarija ha venido experimentando en los últimos años una rápida expansión poblacional e industrial. Esto ha traído como consecuencia un crecimiento acelerado del área urbana. Por otra parte la zona urbana de la ciudad es atravesada por varias quebradas entre ellas la quebrada del Monte, que solo había provocado inundaciones con frecuencias

propias de eventos hidrológicos extraordinarios, es decir grandes crecidas, que son fenómenos que sólo ocurren (por decir una cifra) cada 20-100 años como promedio.

Sin embargo el crecimiento señalado arriba ha provocado la ocupación del valle de inundación y hasta los propios cauces de avenidas con viviendas y otras instalaciones. La actividad así generada, próxima a las márgenes ha contribuido a reducir sensiblemente la capacidad de conducción de los cauces.

De esta manera, se ha venido notando una mayor frecuencia en la zona de ocurrencia de inundaciones, que no deben atribuirse totalmente a que la naturaleza ha incrementado la frecuencia de sus eventos extraordinarios sino, más bien, a que la actividad antropogénica ha contribuido al estrangulamiento de las vías de libre curso de las aguas.

Las medidas que pueden emplearse para encarar la problemática de las inundaciones pueden ser estructurales (directas) y no estructurales (indirectas). Las estructurales implican el diseño y la construcción de diferentes tipos de obras que protegen directamente los objetivos deseados, como por ejemplo la construcción de represas de almacenamiento para la regulación de crecidas, la rectificación de cauces para acelerar la evacuación de grandes caudales con menores niveles, la construcción de diques que limiten el ancho de conducción de la corrientes, etc. Mientras que las no estructurales están vinculadas con la prevención, alerta y organización de las zonas que pueden ser afectadas. Las avenidas requieren una respuesta rápida a fin de evitar daños y para ello las administraciones públicas deberían buscar medios de evitarlas, combatirlas o reducir sus consecuencias.

La quebrada del Monte que atraviesa la ciudad de Tarija casi por su mismo centro, en dirección aproximada Noroeste-Sureste, se encuentra en una situación típica de todo lo expresado anteriormente ya que se ha desbordado con alguna frecuencia en los últimos años, provocando daños y pérdidas.

Todo lo relacionado con éste evento extremo hidrológico es complejo, ya que intervienen numerosos factores entre los cuales se encuentra la fisiografía, la hidrología y la

climatología de la cuenca, así como las características y el uso del suelo, la vegetación, la magnitud y la localización de las poblaciones, las obras y la actividad antropogénica en la zona de estudio.

Las avenidas son hechos que serían irrelevantes, hasta cierto punto, si no hubiese estructura social alguna en el valle de inundación. Resultan tanto más dañinas cuanto más se haya limitado la capacidad de desagüe del cauce normal y cuanto más aparezcan instalaciones en el cauce de avenidas.

La Alcaldía Municipal y otras instituciones gubernamentales, en estos últimos años, han efectuado trabajos de obras de protección de las laderas de forma parcial en el curso de la quebrada del Monte, pero estos trabajos son insuficientes para la solución del problema, existiendo un alto riesgo de inundación y destrucción en el área de la ciudad localizada a los márgenes de la quebrada.

Los altos riesgos que traen consigo las inundaciones para la infraestructura urbana y pérdidas de vidas humanas determinan la necesidad de realizar estudios relacionados con esta temática.

1.3. ALCANCE Y LIMITACIONES DEL PRESENTE ESTUDIO

El alcance del Estudio del Riesgo de Inundación en la Quebrada del Monte en la ciudad de Tarija abarca lo siguiente:

- Levantamiento topográfico del cauce y zonas aledañas.
- Construcción de las curvas de Cota- Caudal en tramos seleccionados.
- Caracterización hidrológica de las lluvias y caudales máximos.
- Delimitación de las zonas de riesgo para diferentes periodos de retomo y comparación con otros métodos.
- Propuesta de solución de los riesgos a las inundaciones.

1.4. OBJETIVOS

1.4.1. OBJETIVO GENERAL

Realizar un estudio de riesgo de inundación en las zonas específicas de estudio de la Quebrada “El Monte” para que a posteriori se pueda proteger a las personas que podrían ser afectadas, como también a la infraestructura aledaña.

1.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterización fisiográfica de la cuenca y del cauce principal.
- Descripción crítica del estado actual de la zona de estudio por la apreciación visual.
- Análisis de la lluvia máxima para diferentes periodos de retorno.
- Determinación de los gastos máximos para diferentes periodos de retorno.
- Cálculo de daños en las zonas especificadas.

CAPÍTULO 2

HIDROLOGÍA

2.1. GENERALIDADES

La irregular distribución espacial y temporal de las aguas, ha obligado a construir grandes obras de protección y drenaje, y de regulación capaces de compensar, estas últimas, la escasez y el exceso de las aguas.

El desarrollo de tales proyectos no puede llevarse a cabo sin los estudios básicos necesarios para asegurar la mejor utilización racional de los recursos hidráulicos disponibles o para evitar las desastrosas consecuencias de su almacenamiento incontrolado o inseguro, además de prevenir contra los proyectos absurdos y costosos.

2.2. DEFINICIÓN DE HIDROLOGÍA

“La hidrología es la ciencia que trata de las aguas de la tierra, su ocurrencia, circulación y distribución, sus propiedades físicas y químicas y su influencia sobre el medio ambiente, incluyendo su relación con los seres vivientes”.

2.3. EL CICLO HIDROLÓGICO

2.3.1. DESCRIPCIÓN CUALITATIVA

El ciclo hidrológico es un concepto académico útil, desde el cual se inicia el estudio de la hidrología.

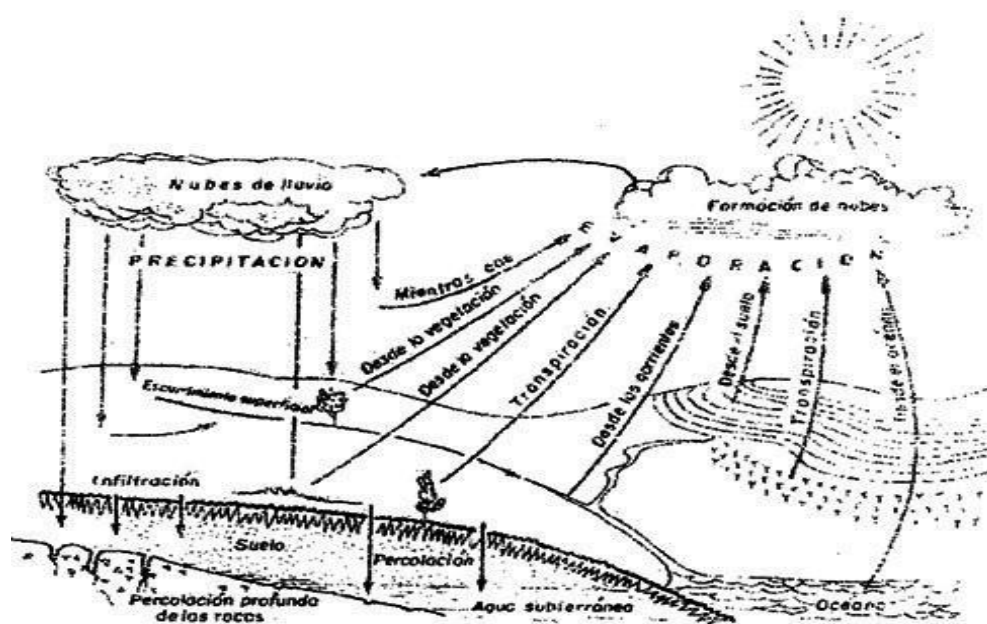


Figura 2.1 Ciclo hidrológico en forma esquemática.

Fuente: www.ciclohidrologico.com.

El ciclo del agua, también conocido como ciclo hidrológico, describe el movimiento continuo y cíclico del agua en el planeta Tierra. El agua puede cambiar su estado entre líquido, vapor y hielo en varias etapas del ciclo, y los procesos pueden ocurrir en cuestión de segundos o en millones de años.

Aunque el equilibrio del agua en la Tierra permanece relativamente constante con el tiempo, las moléculas de agua individuales pueden circular muy rápido¹.

2.3.2. DESCRIPCIÓN CUANTITATIVA

Estas gráficas de barras muestran en dónde se localiza el agua de la tierra y en qué forma ésta existe. La barra de la izquierda muestra en dónde se encuentra el agua; casi un 97 % de toda el agua se encuentra en los océanos. La barra del medio representa el 3 % de la "otra" parte de la barra del lado izquierdo (la porción de toda el agua de la Tierra que NO se encuentra en los océanos).

¹www.ciclohidrologico.com. Publicado bajo licencia [GFDL](https://www.gnu.org/licenses/gfdl.html).

La mayoría, un 77 %, se encuentra en glaciares y capas de hielo, principalmente en Groenlandia y la Antártica y en los mares salados que se localizan en partes interiores de los países. Veinte y dos por ciento de esta porción del agua es agua subterránea. La barra del lado derecho muestra la distribución de la "otra" porción de la barra del medio (el remanente uno por ciento). Nótese que los ríos comprenden menos de la 4/10 % del 1 % de esta agua remanente -- sin embargo, ¡de este remanente es de donde la gente se surte la mayor parte del agua para su uso diario!

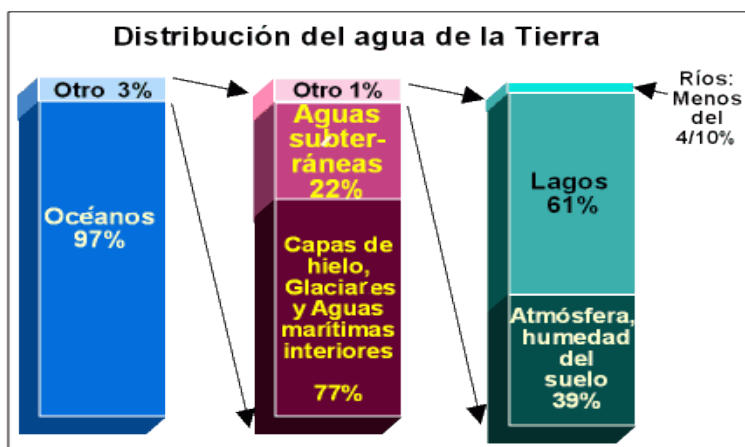


Figura 2.2 Distribución del agua de la tierra

Fuente: Nace, Encuesta Geológica de los Estados Unidos, 1967 y El Ciclo Hidrológico (Panfleto), U.S. Geological Survey, 1984

Esta misma información también se muestra en el siguiente cuadro. Nótese que la cantidad de agua de los ríos comprende únicamente cerca de 300 millas cúbicas -- que representan cerca de la 1/10,000ava parte de un por ciento de toda el agua de la Tierra.

Tabla 2.1 Medidas cuantitativas del agua en el planeta

Origen del agua	Volumen de agua en km3	% de agua total
Océanos	1,321,000,000	97,24
Capas de hielo, Glaciares	29,200,000	2,14
Agua subterránea	8,340,000	0,61
Lagos de agua dulce	125,000	0,009
Mares tierra adentro	104,000	0,008
Humedad de la tierra	66,700	0,005
Atmósfera	12,900	0,001
Ríos	1,250	0,0001
Volumen total de agua	1,360,000,000	100

Fuente: Nace, Encuesta Geológica de los Estados Unidos, 1967 y El Ciclo Hidrológico (Panfleto), U.S. Geological Survey, 1984

CAPÍTULO 3

HIDRÁULICA FLUVIAL

3.1. INTRODUCCIÓN

La hidráulica fluvial trata de las intervenciones humanas en los ríos para su adecuación al aprovechamiento de los recursos o a la reducción de los riesgos de daño. Para comprender esta hidráulica se debe tener conocimientos de Hidráulica, Hidrología y de Obras hidráulicas, materias que son parte de la malla de materias de un estudiante de ingeniería civil.

3.2. HIDRÁULICA EN CANALES

El flujo en canales abiertos tiene lugar cuando los líquidos fluyen por la acción de la gravedad y sólo están parcialmente envueltos por un contorno sólido. En el flujo de canales abiertos, el líquido que fluye tiene superficie libre y sobre él no actúa otra presión que la debida a su propio peso y a la presión atmosférica.

3.3. CONCEPTOS DE HIDRÁULICA DE CANALES ABIERTOS

3.3.1. TIPOS DE FLUJO:

- **Flujo laminar.-** Los efectos de la viscosidad son grandes en comparación a las fuerzas inerciales. (Número de Reynolds pequeño < 2000 . El flujo es ordenado.
- **Flujo turbulento.-** Es un flujo turbulento, los efectos de la viscosidad son despreciables. El flujo es más errático (la velocidad tiene dos componentes: componente promedio/ componente errática o fluctuación, o $u = \underline{u} + u'$).

3.3.2. DISTRIBUCIÓN DE VELOCIDADES

La velocidad del flujo en un canal no es constante en toda la sección transversal. Por ejemplo, en el plano vertical en un canal cuya rugosidad es mínima y el flujo es subcrítico, la velocidad es cero en las paredes y crece muy lentamente dentro de la capa límite, donde el flujo es laminar. Pasada la capa límite, el flujo es turbulento y la distribución de velocidades es distinta al que tenía dentro de la capa límite.

3.3.3. RUGOSIDAD DEL CANAL

Ven Te Chow² nos indica que: seleccionar adecuadamente un valor de “n” significa hacer una buena estimación de la resistencia al escurrimiento en un canal dado. Una guía apropiada para la determinación del coeficiente de rugosidad tendría que pasar por comprender 4 caminos generales, a saber:

- Comprender los factores que afectan, el valor de “n” y así adquirir un conocimiento básico del problema y reducir el ancho campo de suposiciones.
- Consultar un cuadro de valores típicos n para canales de varios tipos
- Examinar y hacerse familiar con la aparición de algunos canales típicos cuyos coeficientes de rugosidad son conocidos, y
- Determinar el valor de n a través de un procedimiento analítico basado sobre la distribución teórica de la velocidad en la sección transversal del canal y sobre los datos de medidas de velocidad o de rugosidad.

²Ven Te Chow: Hidráulica de los Canales Abiertos, 2da. Impresión Feb. 1983

Tabla 3.1 Valores del coeficiente de rugosidad de “n” en excavado y dragado

Tipo de canal y descripción	Mínimo	Normal	Máximo
C. Excavado o dragado			
a. En tierra, recto y uniforme			
a.1 Limpio, recientemente terminado	0,016	0,018	0,020
a.2 Limpio, después de exposición a la intemperie	0,018	0,022	0,025
a.3 Con gravas, sección uniforme, limpio	0,022	0,025	0,030
a.4 Con pastos cortos, algunas malezas	0,022	0,027	0,033
b. En tierra, serpenteante y lento			
b.1 Sin vegetación	0,023	0,025	0,030
b.2 Pastos, algunas malezas	0,025	0,030	0,033
b.3 Malezas densas o plantas acuáticas en canales profundos	0,030	0,035	0,040
b.4 Fondo en tierra con lados en piedra	0,028	0,030	0,035
b.5 Fondo pedregoso y bancas con malezas	0,025	0,035	0,040
b.6 Fondo en cantos rodados y lados limpios	0,030	0,040	0,050
c. Excavado con pala o dragado			
c.1 Sin vegetación	0,025	0,028	0,033
c.2 Matorrales ligeros en las bancas	0,035	0,050	0,060
d. Cortes en roca			
d.1 Lisos y uniformes	0,025	0,035	0,040
d.2 Afilados e irregulares	0,035	0,040	0,050
e. Canales sin mantenimiento, malezas y matorrales sin cortar			
e.1 Malezas densas, tan altas como la profundidad de flujo	0,050	0,080	0,120
e.2 Fondo limpio, matorrales en los lados	0,040	0,050	0,080
e.3 Igual, nivel máximo de flujo	0,045	0,070	0,110
e.4 Matorrales densos, nivel alto	0,080	0,100	0,140

Fuente: Hidráulica de los Canales Abiertos, V.T. Chow

Tabla 3.2 Valores del coeficiente de rugosidad de “n” en corrientes naturales

Tipo de canal y descripción	Mínimo	Normal	Máximo
D. Corrientes naturales			
D-1 Corrientes menores (ancho superficial en nivel creciente < 100 pies)			
a. Corrientes en planicies			
a.1 Limpias, rectas, máximo nivel, sin montículos ni pozos profundos	0,025	0,030	0,033
a.2 Igual al anterior, pero con mas piedras y malezas	0,030	0,035	0,040
a.3 Limpio, serpenteante, algunos pozos y bancos de arena	0,033	0,040	0,045
a.4 Igual al anterior, pero con algunos matorrales y piedras	0,035	0,045	0,050
a.5 Igual al anterior, niveles bajos, pendientes y secciones mas eficientes	0,040	0,048	0,055
a.6 Igual al a.4 pero con mas piedras	0,045	0,050	0,060
a.7 Tramos lentos, con malezas y pozos profundos	0,050	0,070	0,080
a.8 Tramos con muchas malezas, pozos profundos o canales de crecientes con muchos árboles con matorrales bajos	0,075	0,100	0,150
b. Corrientes montañosas, sin vegetación en el canal, bancas usualmente empinadas, árboles y matorrales a lo largo de las bancas sumergidas en niveles altos			
b.1 Fondo: gravas, cantos rodados y algunas rocas	0,030	0,040	0,050
b.2 Fondo: cantos rodados con rocas grandes	0,040	0,050	0,070
D-2 Planicies de inundación			
a. Pastizales, sin matorrales			
a.1 Pasto corto	0,025	0,030	0,035
a.2 Pasto alto	0,030	0,035	0,050
b. Áreas cultivadas			
b.1 Sin cultivo	0,020	0,030	0,040
b.2 Cultivos en línea maduros	0,025	0,035	0,045
b.3 Campos de cultivo maduros	0,030	0,040	0,050
c. Matorrales			
c.1 Matorrales dispersos, mucha maleza	0,035	0,050	0,070
c.2 Pocos matorrales y árboles, en invierno	0,035	0,050	0,060
c.3 Pocos matorrales y árboles, en verano	0,040	0,060	0,080
c.4 Matorrales medios a densos, en invierno	0,045	0,070	0,110
c.5 Matorrales medios a densos, en verano	0,070	0,100	0,160
d. Árboles			
d.1 Sauces densos, rectos y en verano	0,110	0,150	0,200
d.2 Terreno limpio, con troncos sin retoños	0,030	0,040	0,050
d.3 Igual que el anterior, pero con una gran cantidad de retoños	0,050	0,060	0,080
d.4 Gran cantidad de árboles, algunos troncos caídos, con poco crecimiento de matorrales, nivel del agua por debajo de las ramas	0,080	0,100	0,120
d.5 Igual al anterior, pero con nivel de creciente por encima de las ramas	0,100	0,120	0,160
D-3 Corrientes mayores (ancho superficial en nivel de creciente > 100 pies). El valor de n es menor que el correspondiente a corrientes menores con descripción similar, debido a que las bancas ofrecen resistencia menos efectiva.			
a. Sección regular, sin cantos rodados ni matorrales	0,025	-	0,060
b. Sección irregular y rugosa	0,035	-	0,100

Fuente: Hidráulica de los Canales Abiertos, V.T. Chow

3.3.4. EL FLUJO GRADUALMENTE VARIADO

3.3.4.1. FUNDAMENTO TEÓRICO

El flujo gradualmente variado, es un flujo permanente cuya profundidad varía de manera gradual a lo largo del canal.

Se tendrán en cuenta las siguientes hipótesis:

- La pérdida de altura en una sección es igual que la de un flujo uniforme con las mismas características de velocidad y radio hidráulico.
- La pendiente del canal es pequeña ($<10\%$). Esto quiere decir que la profundidad del flujo puede medirse verticalmente o perpendicularmente al fondo del canal y no se requiere hacer corrección por presión ni por arrastre del aire.
- El canal es prismático.
- Los coeficientes de distribución de la velocidad y el de rugosidad son constantes en el tramo considerado.

3.3.4.2. ECUACIÓN DINÁMICA DEL FLUJO GRADUALMENTE VARIADO

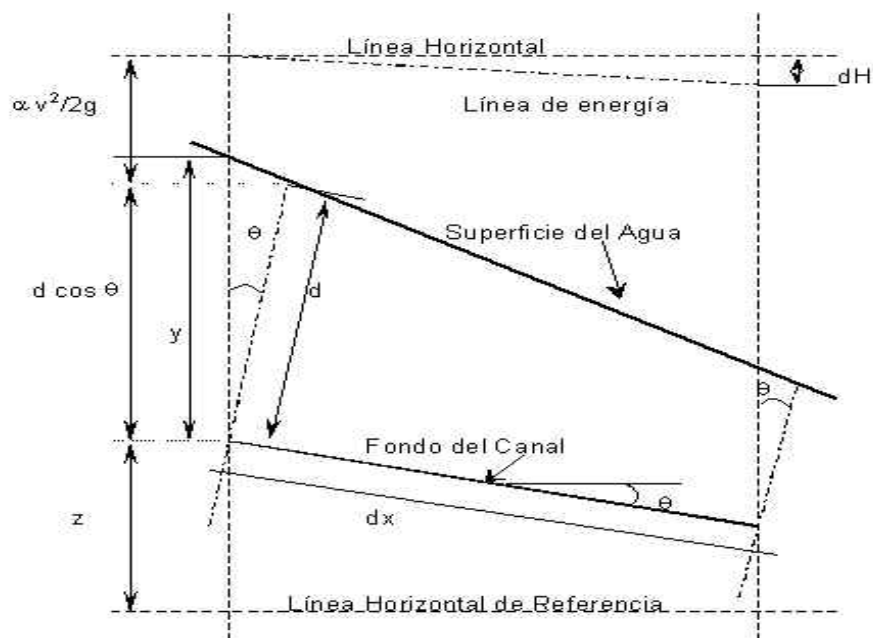


Figura 3.1. Deducción de la ecuación de flujo gradualmente variado.

Fuente: Manual básico del HEC-RAS

La **Figura 3.1** muestra el perfil de un flujo gradualmente variado en una longitud elemental dx de un canal abierto.

La altura de la línea de energía en la sección aguas arriba, con respecto a la línea de referencia es

$$H = Z + d \cos \theta + \alpha \frac{v^2}{2g} \quad (3.1)$$

Donde: H (energía total de la sección), Z (energía de posición o elevación), d (tirante en la sección) y θ (ángulo de inclinación) son según se muestran en la **Figura 3.1**, α es el coeficiente de energía y V es la velocidad media del flujo a través de la sección.

Se asume que θ y α (coeficiente de coriolis) son constantes en el tramo del canal.

Tomando el piso del canal como el **eje x** y derivando la ecuación (3.1) con respecto a “**x**” se obtiene,

$$\frac{dH}{dx} = \frac{dZ}{dx} + \cos \theta \frac{dd}{dx} + \alpha \frac{d}{dx} \left(\frac{v^2}{2g} \right) \quad (3.2)$$

Si S_f es la pendiente de la línea de energía ($S_f = -\frac{dH}{dx}$)

S_o la pendiente del piso del canal ($S_o = -\frac{dZ}{dx}$) y

S_w la pendiente de la superficie del agua ($S_w = \frac{dd}{dx}$),

Sustituyendo estas expresiones en la ecuación (3.2) y resolviendo para S_w se tiene:

$$S_w = \frac{S_o - S_f}{\cos \theta + \alpha \frac{d}{dx} \left(\frac{v^2}{2 * g} \right)} \quad (3.3)$$

La ecuación (3.3) representa de la superficie del agua con respecto del agua con respecto al fondo del canal y se conoce como la ecuación dinámica del flujo gradualmente variado. Para pendientes pequeñas $\cos \theta \approx 1$, $d \approx y$, $\frac{dd}{dx} \approx \frac{dy}{dx}$ y de la ecuación (3.3) puede escribirse:

$$Sw = \frac{S_o - S_f}{1 + \alpha \frac{d}{dx} \left(\frac{v^2}{2 * g} \right)} \quad (3.4.)$$

Si se tiene un canal ancho, se puede calcular la pendiente del piso del canal para que ocurra flujo uniforme utilizando la ecuación de Manning:

$$V = \frac{1}{n} * R^{\frac{2}{3}} * \sqrt{S_o}$$

Donde:

V: velocidad media del flujo a través de la sección.

n: coeficiente de rugosidad de Manning (adimensional)

R: radio hidráulico (m)

So: pendiente del piso del canal (m/m)

Dadas las características del canal, vale la aproximación

$$R = \frac{b * y}{b + 2 * y} \approx y_n$$

Donde “b” es ancho del canal, y expresando,

$$V = \frac{q}{y_n}$$

Donde “q” es el caudal por unidad de ancho ($m^3/s/m$) y “yn” es la profundidad normal, se obtiene

$$\frac{dv}{dx} = 0 \quad (3.5)$$

La hipótesis 1. nos permite usar la fórmula de flujo uniforme para calcular la pendiente de energía, es decir:

$$S_f = \frac{n^2 * q^2}{y^{\frac{10}{3}}} \quad (3.6)$$

Donde “y” es la profundidad del flujo gradualmente variado.

El término $\alpha \frac{d}{dx} \left(\frac{v^2}{2 * g} \right)$, de la ecuación (3.4) puede desarrollarse así:

$$\alpha \frac{d}{dx} \left(\frac{v^2}{2 * g} \right) = \alpha \frac{d}{dx} \left(\frac{Q^2 * A^{-2}}{2 * g} \right) = \alpha * \frac{Q^2}{2 * g} * \frac{dA^{-2}}{dy} = - \alpha * \frac{Q^2}{g * A^3} * \frac{dA}{dy}$$

Como $\frac{dA}{dy} = T$ (ancho superior) = b para canal rectangular,

$$\alpha \frac{d}{dy} \left(\frac{v^2}{2 * g} \right) = - \alpha * \frac{Q^2}{g * A^3} * b = - \alpha * \frac{v^2}{g * y} = - \alpha * F^2 = - \alpha * \left(\frac{y_c}{y} \right)^3 \quad (3.7)$$

La ecuación (3.4) puede expresarse según las ecuaciones (3.5), (3.6) y (3.7) como:

$$S_w = S_o * \frac{1 - \frac{y_n^{\frac{10}{3}}}{y}}{1 - \alpha * \frac{y_c^3}{y}} \quad (3.8)$$

Donde “yc” es la profundidad crítica

3.3.4.3. TIPOS DE PERFIL DE FLUJO

Los perfiles de flujo se clasifican con base en 2 criterios básicos:

- Según la profundidad
- Según la pendiente del canal

El primer criterio divide la profundidad del canal en varias zonas:

- **Zona 1:** Sobre la profundidad normal (en pendiente subcrítica) ó sobre la profundidad crítica (en pendiente supercrítica).
- **Zona 2:** Entre las profundidades crítica y normal
- **Zona 3:** Bajo la profundidad crítica (en pendiente subcrítica) ó bajo la profundidad normal (en pendiente supercrítica).

El segundo criterio considera cinco condiciones de pendiente:

- **H:** Horizontal
- **M:** Moderada o subcrítica
- **C:** Crítica
- **S:** Pronunciada o supercrítica
- **A:** Adversa

Estos dos criterios permiten hacer la clasificación como H2, H3; M1, M2, M3; C1, C2, C3; S1, S2, S3; A2 y A3, donde la letra se refiere a la pendiente y el número a la zona de profundidad.

3.4. CÁLCULO DEL PERFIL DE FLUJO

3.4.1. MÉTODO DIRECTO POR PASOS

Este es un método aplicable para el cálculo tanto de perfiles en canales prismáticos como en aquellos de geometría muy variada. Divide el canal en tramos cortos y desarrolla los cálculos para cada sección comenzando por una conocida (la sección de control por el ejemplo). Si el flujo es subcrítico los cálculos se inician desde aguas abajo y se desarrollan hacia aguas arriba y si es supercrítico se parte de aguas arriba continuándose hacia aguas abajo.

Tomando un tramo del canal lo ilustra la figura 3.7, se cumple que

$$S_o * \Delta X + y_1 + \alpha * \frac{v_1^2}{2 * g} = y_2 + \alpha * \frac{v_2^2}{2 * g} + S_f * \Delta X \quad (3.9)$$

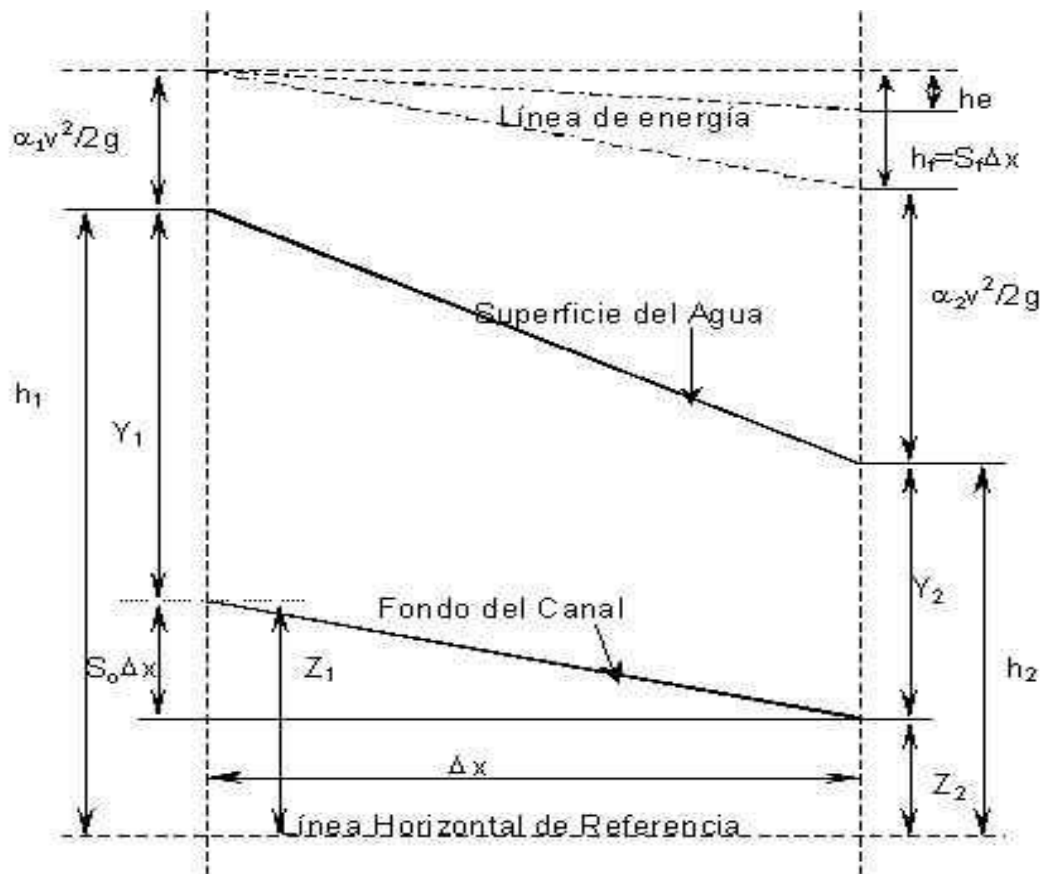


Figura 3.2. Tramo del canal para la deducción de los métodos de paso.

Fuente: Manual básico del HEC-RAS

Definida la energía específica (E) como

$$E = y + \alpha * \frac{v^2}{2 * g} \quad (3.10)$$

Reemplazando (3.9) en (3.10) y despejando ΔX (diferencia de distancia entre las secciones 1 y 2):

$$\Delta X = \frac{E_1 - E_2}{S_o - \bar{S}_f} \quad (3.11)$$

La pendiente de la línea de energía en una sección puede calcularse según Manning,

$$S_f = \frac{n^2 * v^2}{R^{\frac{4}{3}}} = \frac{n^2 * q^2}{y^{\frac{10}{3}}} \quad (3.12)$$

Y la pendiente de la línea de energía en un tramo se obtiene como

$$\bar{S}_f = \frac{S_{f1} + S_{f2}}{2} \quad (3.13)$$

3.4.2. PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO

1. Conocidos **Q** (caudal), **B** (ancho del río) y **Y** (tirante inicial) en la sección de control, se calcula la velocidad **v**, la cabeza de velocidad $\frac{v^2}{2 \cdot g}$ y la energía específica

$$E = y + \alpha * \frac{v^2}{2 \cdot g}$$

2. Se calcula la pendiente de la línea de energía (**Sf**) según la ecuación (3.12).
3. Se asume una profundidad según el perfil de flujo que se presenta: se obtienen los valores de **E** (energía específica) y **Sf** (pendiente de la línea de energía) para la sección con esta profundidad
4. Se calcula $\Delta E = E_2 - E_1$, entre estas dos secciones y $\overline{S_f}$ con la ecuación (3.13); con estos resultados se halla ΔX según la ecuación (3.11). Así se conoce la localización de la sección a lo largo del canal.
5. Se vuelve al paso 3.

El procedimiento se puede desarrollar en Hoja de cálculo y con el Programa HEC-RAS.

CAPÍTULO 4

INUNDACIONES

4.1. ZONAS INUNDABLES

Se conocen como Zonas Inundables las que son anegadas durante eventos extraordinarios, por ejemplo aguaceros intensos, crecientes poco frecuentes o avalanchas. No se incluyen entre las zonas inundables los cauces mayores o rondas de los ríos, los cuales son ocupados con frecuencia del orden de una vez en 10 años.

Las Zonas inundables se clasifican de acuerdo con las causas que generan las inundaciones.

Estas causas son las siguientes:

- Encharcamiento por lluvias intensas sobre áreas planas,
- Encharcamiento por deficiencias de drenaje superficial.
- Desbordamiento de corrientes naturales.
- Desbordamiento de ciénegas.
- Avalanchas producidas por erupción volcánica, sismos, deslizamientos y formación de presas naturales.
- Obstáculos al flujo por la construcción de obras civiles: Puentes, espolones y obras de encauzamiento, viviendas en los cauces y represamientos para explotación de material aluvial.
- Sedimentación.

Estas causas pueden presentarse en forma individual o colectiva. Las inundaciones de que trata este artículo son eventos que se presentan en zonas aledañas a los cauces de las corrientes naturales por causa de desbordamiento de las mismas.

Las áreas que están sujetas a las inundaciones se denominan Llanuras de Inundación.

4.2. RIESGOS

Es la probabilidad de que se produzcan pérdidas socio-económicas en un determinado momento y en un área del territorio determinada, a causa de una amenaza.

Se obtiene de relacionar la amenaza con la vulnerabilidad de los elementos expuestos.

4.2.1. AMENAZAS

Es la probabilidad de ocurrencia de un evento (sismos, deslizamientos, inundaciones, huracanes, tsunamis, erupciones volcánicas, etc.) potencialmente dañino, caracterizado por una cierta intensidad, dentro de un periodo dado y en un área determinada³

4.2.2. VULNERABILIDADES

Es el sistema de condiciones y procesos resultado de los factores físicos, sociales, económicos, culturales y ambientales, que aumentan o disminuyen la susceptibilidad de una comunidad o infraestructura al impacto de las amenazas³.

4.3. DESCRIPCIÓN DEL FENÓMENO: TIPOLOGÍA Y FORMAS DE MANIFESTACIÓN

Las inundaciones se producen cuando lluvias intensas o continuas sobrepasan la capacidad de retención e infiltración del suelo, la capacidad máxima de transporte del río o arroyo es superada y el cauce principal se desborda e inunda los terrenos cercanos a los propios cursos de agua. Las inundaciones son un evento natural y recurrente para un río.

Las inundaciones pueden clasificarse según su: Duración y Mecanismo de generación.

³ Adaptado del glosario multilingüe de términos convenidos internacionalmente relativos a la gestión de desastres. IDNDR, 1992

4.3.1. SEGÚN SU DURACIÓN

4.3.1.1. INUNDACIONES RÁPIDAS O DINÁMICAS:

Suele producirse en ríos de montaña o en ríos cuyas cuencas vertientes presentan fuertes pendientes, por efecto de lluvias intensas. Las crecidas son repentinas y de corta duración. Son éstas las que suelen producir los mayores estragos en la población, sobre todo porque el tiempo de reacción es prácticamente nulo.

4.3.1.2. INUNDACIONES LENTAS O ESTÁTICAS:

Se produce cuando lluvias persistentes y generalizadas, producen un aumento paulatino del caudal del río hasta superar su capacidad máxima de transporte.

Entonces el río se sale de su cauce, inundando áreas planas cercanas al mismo. Las zonas que periódicamente suelen quedar inundadas se denominan Llanuras de Inundación.

4.3.2. SEGÚN EL MECANISMO DE GENERACIÓN

4.3.2.1. INUNDACIONES PLUVIALES:

Es la que se produce por la acumulación de agua de lluvia en un determinado lugar o área geográfica sin que ese fenómeno coincida necesariamente con el desbordamiento de un cauce fluvial.

Este tipo de inundación se genera tras un régimen de precipitaciones intensas o persistentes, es decir, por la concentración de un elevado volumen de lluvia en un intervalo de tiempo muy breve o por la incidencia de una precipitación moderada y persistente durante un amplio período de tiempo sobre un suelo poco permeable.

4.3.2.2. INUNDACIONES FLUVIALES:

O por desbordamientos de los ríos, causadas por el desbordamiento de los ríos y los arroyos es atribuida al aumento brusco del volumen de agua más allá de lo que un lecho o cauce es capaz de transportar sin desbordarse, durante lo que se denomina como crecida. (Consecuencia de exceso de lluvias).

4.3.2.3. INUNDACIONES POR ROTURA:

U operación incorrecta de obras de infraestructura hidráulica: la rotura de una presa, por pequeña que ésta sea, puede llegar a causar una serie de estragos no sólo a la población sino también a sus bienes, a las infraestructuras y al medioambiente.

La propagación de la onda de agua en ese caso resultará tanto más dañina cuanto mayor sea el caudal circulante, menor sea el tiempo de propagación y más importante sean los elementos existentes en la zona de afectación (infraestructuras de servicios esenciales para la comunidad, núcleos de población, espacios naturales protegidos, explotaciones agropecuarias, etc.).

“Entre los factores que influyen en la generación de inundaciones, hay que considerar de manera muy especial la creciente desaparición de la cubierta vegetal”.

A veces, la obstrucción de cauces naturales o artificiales (obturación de tuberías o cauces soterrados) debida a la acumulación de troncos y sedimentos, también provoca desbordamientos. En ocasiones, los propios puentes suelen retener los flotantes que arrastra el río, obstaculizando el paso del agua y agravando el problema.

Las inundaciones generan daños inconmensurables para la vida de las personas, sus bienes e infraestructuras, pero además causan graves daños sobre el medioambiente y el suelo de las terrazas de los ríos. Las inundaciones son causas de erosión y sedimentación de las fuentes de agua.

El agua de lluvia desde que se precipita sobre la tierra sufre los procesos de filtración, acumulación subterránea, drenaje, retención, evaporación y consumo.

La cubierta vegetal cumple entonces una función muy destacada al evitar el impacto directo de las gotas de agua sobre el terreno, impidiendo su erosión, al mismo tiempo que permite una mayor infiltración y dificulta el avance del agua hacia los ríos, prolongando en éstos su tiempo de concentración. Además colabora en la disminución del transporte de residuos sólidos que posteriormente afectan a los cauces.

4.4. CRITERIOS RECOMENDADOS PARA LA EVALUACIÓN DE LA FRECUENCIA, RECURRENCIA O PERÍODO DE RETORNO DE LA INUNDACIÓN

La frecuencia o recurrencia de inundaciones o cada cuanto se inunda una determinada zona dependerá esencialmente de la frecuencia de precipitaciones excepcionalmente fuertes. Los períodos de retorno se establecieron en tres categorías que son:

Tabla 4.1. Categorías de los periodos de retorno en inundaciones

Frecuencia	Periodo de retorno (T)
Alta	$T \leq 10 \text{ años}$
Media	$10 < T \leq 100 \text{ años}$
Baja	$100 < T \leq 200 \text{ años}$

Fuente: Recomendaciones técnicas para la elaboración de mapas de riesgos de inundaciones

No se consideran períodos de retorno mayores a los 200 años, principalmente porque las series de datos hidrometeorológicos que existen en Tarija no son lo suficientemente extensas (< 50 años) y consistentes para poder extrapolar a periodos de retorno mayores. Tampoco otros métodos (como los geomorfológicos) permiten estimar con precisión satisfactoria el alcance de crecidas de periodos de retorno mayores.

Pero para tener datos que nos pueden servir de pauta, se trabajó también con periodos de retorno de 500 y 1000 años

4.5. LEYENDA RECOMENDADA PARA LA ELABORACIÓN DE MAPAS DE RIESGOS DE INUNDACIÓN

Se toma como parámetro de comparación el edificio por ser una estructura con cimientos considerables y altura mayor a 2 pisos.

Tabla 4.2. Leyenda recomendada para la elaboración de mapas de riesgos de inundación

Significado de los mapas de amenazas de inundación.	
Leyenda	Pérdidas y daños previsibles en caso de uso para asentamientos humanos
Rojo	Las personas están en peligro tanto dentro como fuera de los edificios. Existe alto peligro de destrucción repentina de edificios. Los eventos se manifiestan con una intensidad relativamente débil, pero con una frecuencia elevada o con intensidad fuerte. En este caso, las personas están amenazadas afuera de los edificios.
Naranja	Las personas están en peligro afuera de los edificios, pero no o casi no adentro. Se debe contar con daños en los edificios, pero no destrucción repentina de éstos, siempre y cuando su modo de construcción haya sido adaptado a las condiciones del lugar.
Amarillo	El peligro para las personas es débil o inexistente. Los edificios pueden sufrir daños leves, pero puede haber fuertes daños al interior de los mismos.
Rayas amarillas	Existen amenazas que tienen una probabilidad de ocurrencia muy débil y que se pueden manifestar con una intensidad fuerte.
Verde Claro	ninguna amenaza conocida, o despreciable según el estado actual de conocimientos

Fuente: Recomendaciones técnicas para la elaboración de mapas de riesgos de inundaciones

CAPÍTULO 5

ESTUDIO DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA

5.1. MICROLOCALIZACIÓN

El cauce del río Guadalquivir divide a la ciudad de Tarija en dos partes, la mayoría de la población se encuentra ubicada en la margen izquierda, esta área se subdivide en tres partes por las quebradas de San Pedro y del Monte.

La subcuenca del río El Monte, pertenece al sistema de drenaje del río Guadalquivir el que a su vez pertenece al sistema de drenaje del río Guadalquivir el cual pertenece a la cuenca del Bermejo.

Se encuentra prácticamente en el centro del valle central de Tarija ubicado entre los 21°25' y 21°33' de latitud sud y los 64°45' y 64°61' de longitud oeste, atravesando la ciudad de Tarija de Noreste a Sudoeste, la cuenca tiene una superficie de 48,33 km².

5.2. ELEMENTOS BÁSICOS

5.2.1. AGUA

El régimen de escurrimiento del río sigue el régimen de precipitaciones. El caudal empieza a aumentar desde el mes de octubre y alcanza su máximo en el mes de febrero, para descender más tarde. Desde mayo a septiembre pierde totalmente su caudal. El régimen hidrológico es por lo tanto irregular y torrencial.

El agua es de baja calidad sobre todo en la parte del río que pasa por la ciudad debido a la basura que se vierte en el lecho de su cauce. Debido a sus fuertes crecidas tiende a desbordarse y causar inundaciones. Existe una estación lluviosa en verano y una estación seca en invierno. El 98 % de lluvias anuales cae de octubre a abril (7 meses). Además en la estación húmeda del verano el régimen de las precipitaciones no es uniforme sino variable, con aguaceros intensos concentrados en pocas horas y con días completamente secos.

Por lo tanto no obstante la abundancia de lluvias el tipo de precipitaciones no contribuye muchas veces a mejorar y abastecer el río sino a erosionar los suelos y hacer más aguda la demanda de agua. Por eso se producen a veces en los ríos crecidas rápidas con el arrastre de grandes cantidades de material suelto.

5.2.2. SUELO

CAPACIDAD DEL USO DEL SUELO.-

Clase III.-

Estos suelos están ubicados en la localidad de San Mateo; fisiográficamente se encuentran sobre aluviones recientes con una topografía suavemente inclinada (2 – 6%).

Son suelos superficiales a moderadamente profundos bien drenados y no presentan problemas de erosión hídrica significativa, teniendo que preservarse los mismos de la erosión lateral causada por los ríos. La vegetación dominante está compuesta por pastizal natural, molle, sauce, churqui, etc.

Uso actual

Estos suelos son utilizados en cultivos de maíz, hortalizas y legumbres y algunos sectores como campos de pastoreo.

Clase IV.-

Los suelos de esta unidad están localizados en las faldas de las colinas. Fisiográficamente son suelos de topografía inclinada de 6 – 13 %.

De formación coluvio-aluvial derivado de lutitas arenosas y areniscas. Son suelos profundos, moderada a bien graduados, presentan erosión hídrica en cárcavas ligeras y moderadas. La vegetación dominante está compuesta por pastizal natural y churqui.

Uso actual

El uso agrícola de estos suelos está limitado por la pendiente, reduciéndose solamente para áreas de forestación y construcción de obras civiles.

Clase VI.-

Los suelos de esta unidad se encuentran en gran parte del Valle de Tarija y se refieren a áreas severamente erosionadas. Fisiográficamente se encuentran sobre terrazas antiguas disectadas, con relieve topográfico que varía de inclinado a escarpado 6 – 13 % y de 13 – 25 % de formación fluvio-lacustre derivado de areniscas lutitas.

Son suelos profundos, moderadamente bien drenados, presentan erosión hídrica y eólica severa a muy severa. Observándose la abundancia de carbonatos de calcio. En esta clase de suelos existe predominancia de cárcavas tipificadas en sus distintos grados. La vegetación dominante está compuesta por Churqui en forma aislada.

Uso actual

Estos suelos están imposibilitados de uso por la severa erosión que presenta, existiendo solamente una vegetación, compuesta por churqui en forma aislada y en partes pasto

natural. Debiendo someterse éstos a trabajos de rehabilitación mediante la construcción de obras civiles.

Clase VIII (M).-

Corresponden a las tierras misceláneas, montañas, con pendientes mayores al 55%.

Uso actual

No tienen ningún uso.

Tabla 5.1 Símbolos en el mapa de textura de suelos

PENDIENTES			TEXTURA	
SÍMBOLO	%	TÉRMINO DESCRIPTIVO	SÍMBOLO	TÉRMINO DESCRIPTIVO
A	0 - 2	Plano a casi plano	e	Franco arcilloso
B	2 - 6	Suavemente inclinado	w	Arenoso (grueso)
C	6 - 13	Inclinado	r	Arenoso francoso
D	13 - 25	Mod. Escarpado	j	Franco arcilloso arenoso
E	25 - 35	Escarpado	m	Franco arenoso

EXPLICACIÓN DEL SÍMBOLO

$\frac{r - D}{VI}$	Textura
	Pendiente
	Clase de capacidad de uso

Fuente: Proyecto de control de la erosión en el valle central de Tarija.

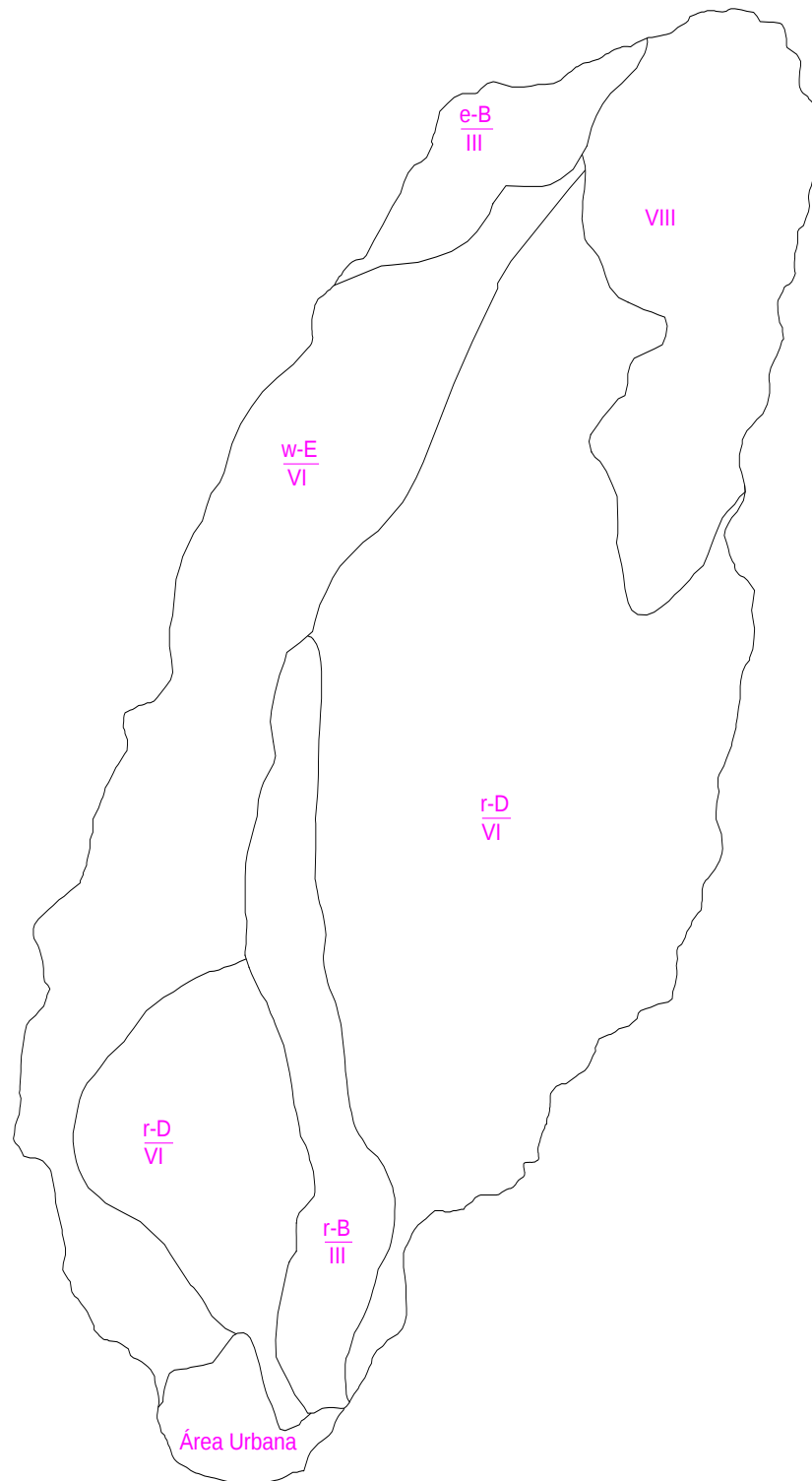


Figura 5.2. Mapa de textura del suelo de la cuenca "El Monte"

Fuente: Elaboración propia

Tabla 5.2. Textura de suelos en la cuenca de la Quebrada El Monte

Símbolos	Características	Área (Km ²)
<u>e-B</u> III	• Franco arcilloso. • Pendiente de 2 – 6 % (Suavemente inclinado). • Clase III.	1,80
VIII	• Corresponden a las tierras misceláneas, montañas, con pendientes mayores al 55%. • La infiltración es casi despreciable por la pendiente tan inclinada que presenta.	6,56
<u>w-E</u> VI	• Arenoso (grueso). • Pendiente de 25 – 35 % (Escarpado). • Clase VI.	11,26
<u>r-D</u> VI	• Arenoso francoso. • Pendiente de 13 – 25 % (Moderadamente Escarpado) • Clase VI.	4,20 + 19,81 24,01
<u>r-B</u> III	• Arenoso francoso. • Pendiente de 2 – 6 % (Suavemente inclinado). • Clase III.	3,61
Área Urbana	• La infiltración será tomada como nula.	1,08

Fuente: Elaboración propia

5.2.3. CLIMA

El clima es subhúmedo seco, lo que significa que este clima es caracterizado por un régimen de lluvias estacionales abundantes y una variación de lluvias de menos del 25% de un año al otro. En verano la temperatura generalmente pasa los 30 °C y en invierno baja los 0°C.

5.2.4. HIDROGRAFÍA

El río nace al noreste de la comunidad El Monte Cercado aproximadamente a 3 km a lo largo del cauce recibe el aporte de muchos afluentes, principalmente quebradas, uniendo su cauce al de la quebrada San Pedro desembocando finalmente los dos en el río Guadalquivir.

5.2.5. VEGETACIÓN

Las especies arbóreas son de tipo Xerofítico que se presentan en forma de bosque abierto, con una incidencia protectora actual relativamente baja y ocupando con estas formaciones solamente zonas reducidas.

Las especies más comunes son:

Churqui	(Acacia caven)
Molle	(Schinus molle)
Algarrobo	(Prosopis spp.)
Jarca	(Acacia visco)
Arrayan	(Eugenia spp.)
Sauco	(Fagara coco)
Ceibo	(Erythrina cristagalli)
Sisico	(Lycium cestroides)
Jatanque	(Buganvilla spp.)
Tipa	(Tipuana tipu)

Estas especies se encuentran sometidas a una fuerte presión para la obtención de leñas y en muchos casos al ramoneo del ganado caprino.

5.2.5. FAUNA

Aves, mamíferos, reptiles. Principalmente entre los mamíferos los ovinos, vacunos, caprinos.

5.2.7. POBLACIÓN Y PRINCIPALES COMUNIDADES

Las principales comunidades son:

- Comunidad del Monte Cercado
- Comunidad de San Mateo

- Y parte de la ciudad de Tarija

Entre las comunidades y la ciudad de Tarija se tiene una población aproximada de 150.000 habitantes.

5.3. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LA CUENCA

El funcionamiento de la cuenca se asemeja al de un colector, que recibe la precipitación pluvial y la convierte en escurrimiento. Esta transformación presenta pérdidas de agua, situación que depende de las condiciones climatológicas y de las características físicas de la cuenca. Cuencas vecinas sometidas a las mismas condiciones climáticas, pueden tener regímenes de flujo totalmente distintos, situación debida principalmente a las características físicas de las cuencas.

5.3.1 ÁREA

El área (A) se estima a través de la sumatoria de las áreas comprendidas entre las curvas de nivel y los límites de la cuenca. Esta suma será igual al área de la cuenca en proyección horizontal. (Ver Anexo C. Planos: Lámina N° 1)

$$A = 48,33 \text{ km}^2$$

5.3.2. PERÍMETRO

Es la longitud total de los límites de la cuenca.

$$P = 31,65 \text{ km}$$

5.4. PARÁMETROS GEOMORFOLÓGICOS DE LA CUENCA

La geomorfología de una cuenca queda definida por su forma, relieve y drenaje, para lo cual se han establecido una serie de parámetros, que a través de ecuaciones matemáticas,

sirven de referencia para la clasificación y comparación de cuencas. Para un mejor estudio de las cuencas se han establecido los siguientes parámetros:

- Parámetros de forma
- Parámetros de relieve
- Parámetros de red hidrográfica.

5.4.1. PARÁMETROS DE FORMA

Dada la importancia de la configuración de las cuencas, se trata de cuantificar parámetros por medio de índices o coeficientes, los cuales relacionan el movimiento del agua y las respuestas de la cuenca a tal movimiento (hidrogramas).

5.4.1.1. ÍNDICE DE COMPACIDAD O COEFICIENTE DE GRAVELIUS

Se define así, al cociente que existe entre el perímetro de la cuenca respecto al perímetro de un círculo de la misma área.

$$Kc = \frac{P}{2 * \pi * r} = \frac{P}{2 * \pi * \sqrt{\frac{A}{\pi}}} = 0,282 * \frac{P}{\sqrt{Ac}}$$

Kc es un coeficiente adimensional y nos da una idea de la forma de la cuenca. Si Kc = 1 la cuenca será de forma circular. Este coeficiente nos dará luces sobre la escorrentía y la forma del hidrograma resultante de una determinada lluvia caída sobre la cuenca.

Calculando:

$$Kc = 1,28$$

Si $Kc = 1$ cuenca circular $Kc > 1$; menos susceptible a inundaciones.

$Kc \neq 1$ cuenca irregular

Como “**Kc**” se encuentra en el rango de 1,25 – 1,50 es por lo tanto una cuenca casi ovalo redonda a ovalo oblonga

5.4.1.2. RECTÁNGULO EQUIVALENTE

El rectángulo equivalente es lógicamente una transformación puramente geométrica de la cuenca en un rectángulo de igual perímetro, convirtiéndose las curvas de nivel en rectas paralelas al lado menor, siendo éstos la primera y la última curva de nivel. Sus lados (Ver Anexo C. Planos: Lámina N° 1) están definidos por:

$$Lr = \frac{P + \sqrt{P^2 - 16 * A}}{4} = 11,69 \text{ km}$$

$$lr = \frac{P - \sqrt{P^2 - 16 * A}}{4} = 4,13 \text{ km}$$

5.4.2. OTROS PARÁMETROS ASOCIADOS A LA CUENCA

5.4.2.1. ANCHO PROMEDIO

Es la relación entre el área de la cuenca (A) y la longitud mayor del curso de agua (Lr).

$$Ap = A / Lr$$

$$Ap = 48,33 \text{ km}^2 / 14,94 \text{ km}$$

$$Ap = 3,23 \text{ km}$$

5.4.2.2. LONGITUD AXIAL DE LA CUENCA

La longitud axial (La) de la cuenca se define como la más grande dimensión de la cuenca, a lo largo de una línea recta desde la salida hasta la divisoria, paralela al cauce principal.

$$La = 11,67 \text{ km}$$

5.4.3. PARÁMETROS DE RELIEVE

5.4.3.1. PENDIENTE DE LOS CAUCES

La pendiente de los cauces influye sobre la velocidad de flujo, constituye un parámetro importante en el estudio del comportamiento del recurso hídrico en el tránsito de avenidas.

Los perfiles típicos de los cauces naturales son cóncavos hacia arriba; además, las cuencas en general (a excepción de las más pequeñas) tienen varios canales a cada uno con un perfil diferente. Por ello, la definición de la pendiente promedio de un cauce en una cuenca es muy difícil. Usualmente, sólo se considera la pendiente del cauce principal.

MÉTODOS DE CÁLCULO:

- PENDIENTE DE UN TRAMO

Para hallar la pendiente de un cauce según este método se tomará la diferencia cotas extremas existentes en el cauce (Δh) y se dividirá entre su longitud horizontal (l), ver Figura 5.3. La pendiente así calculada será más real en cuanto el cauce analizado sea lo más uniforme posible, es decir, que no existan rupturas.

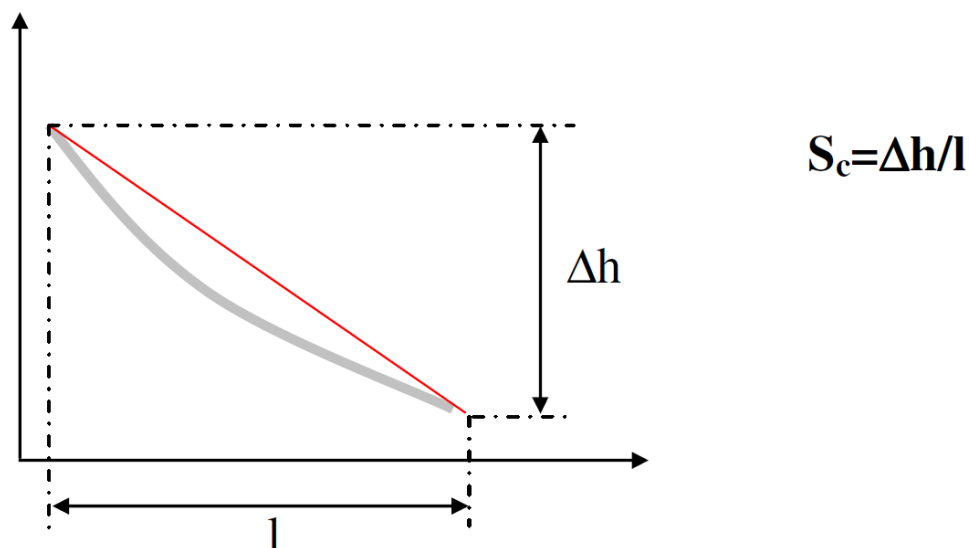


Figura 5.3. Método de un tramo para la estimación de la pendiente de un cauce

Fuente: Fundamentos de hidrología de superficie - Francisco Aparicio

$$\Delta h = H_{\max r} - H_{\min r}$$

Donde:

$H_{\max r}$: Altura máxima del río = 2230 m.s.n.m.

$H_{\min r}$: Altura mínima del río = 1855 m.s.n.m.

$$S_c = \Delta h / L_r = 0,025 \text{ m/m}$$

- MÉTODO DE LAS ÁREAS COMPENSADAS

Es la forma más usada de medir la pendiente de un cauce, que consiste en obtener la pendiente de una línea, (AB en la Figura 5.4.) dibujada de modo que el área bajo ella sea igual al área bajo el perfil del cauce principal.

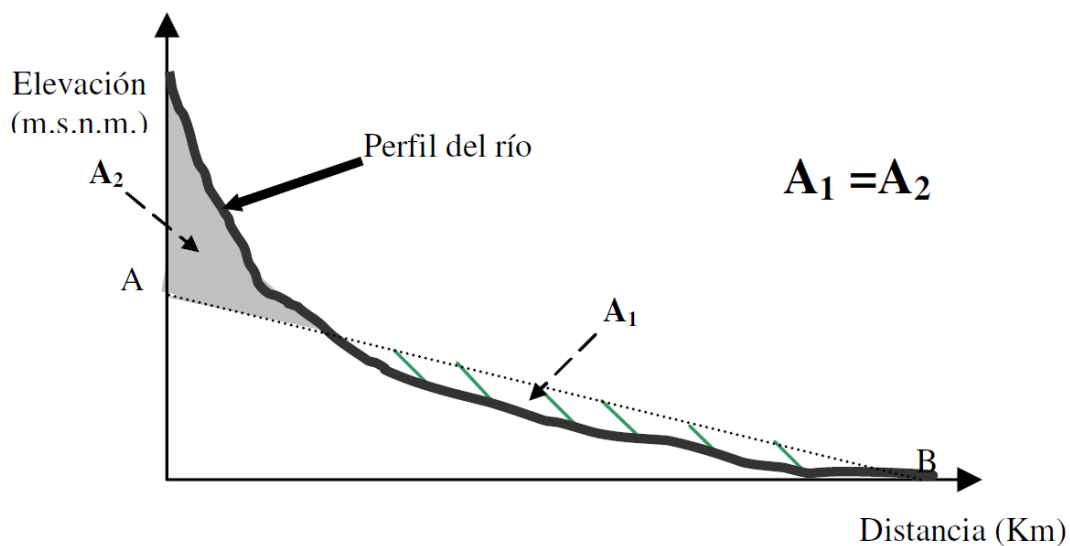


Figura 5.4 Método de pendientes compensadas de la pendiente de un cauce

Fuente: Fundamentos de hidrología de superficie - Francisco Aparicio

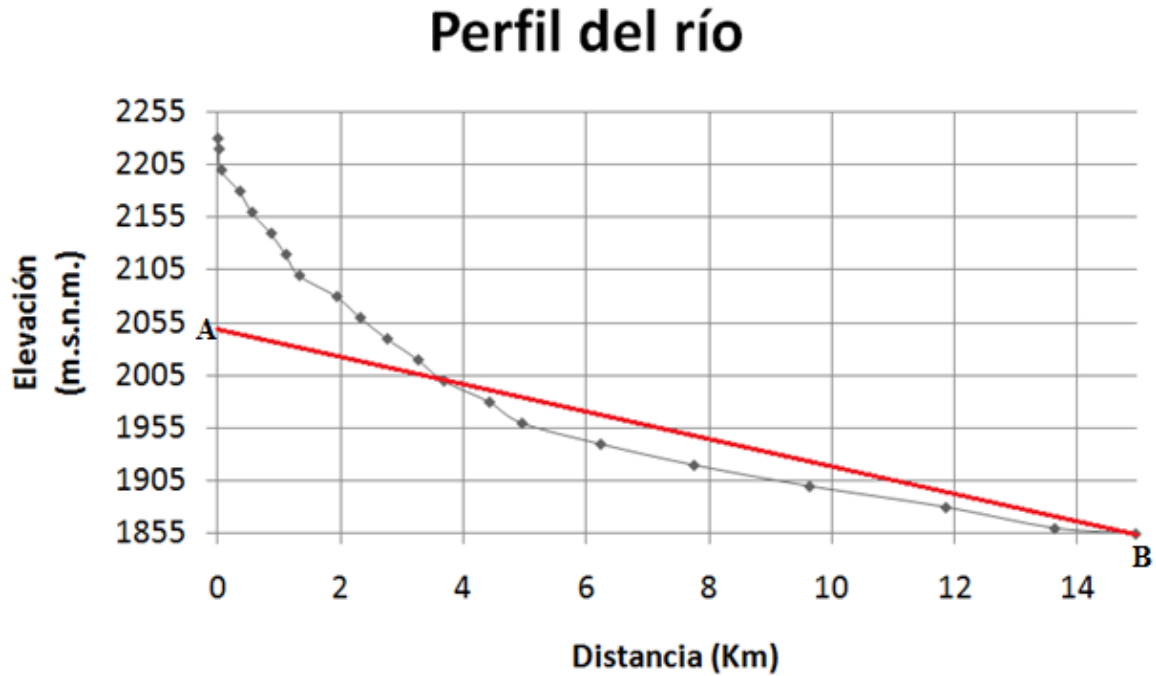


Figura 5.5. Perfil del río de la cuenca de la quebrada del Monte

Fuente: Elaboración propia

$$\Delta h' = H(A) - H(B)$$

Donde:

H(A): Cota en el punto A = 2044,95 m.s.n.m.

H(B): Cota en el punto B = 1855 m.s.n.m.

$$Sc = \Delta h' / Lr = 0,0127 \text{ m/m}$$

5.4.3.2. PENDIENTE DE LA CUENCA:

CRITERIO DEL RECTÁNGULO EQUIVALENTE

$$Sg = \frac{H}{L}$$

Donde:

H: El desnivel total

L: Lado mayor del rectángulo equivalente.

$$H = H_{\max c} - H_{\min c} = 2450 - 1855 = 595 \text{ m.s.n.m.}$$

$$Sg = \frac{595}{11690} = 0,051 \text{ m/m}$$

5.4.3.3. RELACIÓN ÁREA-ELEVACIÓN

Cuando uno o más factores de interés en la cuenca dependen de la elevación, es útil saber cómo está distribuida la cuenca en función de la elevación. Es una medida indirecta de cuantificar la pendiente del curso de agua principal de la cuenca representando separadamente las mediciones de longitud y desnivel. Este mapeo permitirá analizar y comprobar tendencias a mayor o menor saturación superficial de diversas partes de la cuenca.

La relación área-elevación puede expresarse a través de curvas, denominadas curvas área elevación o curvas hipsométrica, o de manera porcentual a través de los polígonos de frecuencia. (Ver Anexo C. Planos: Lámina N° 1)

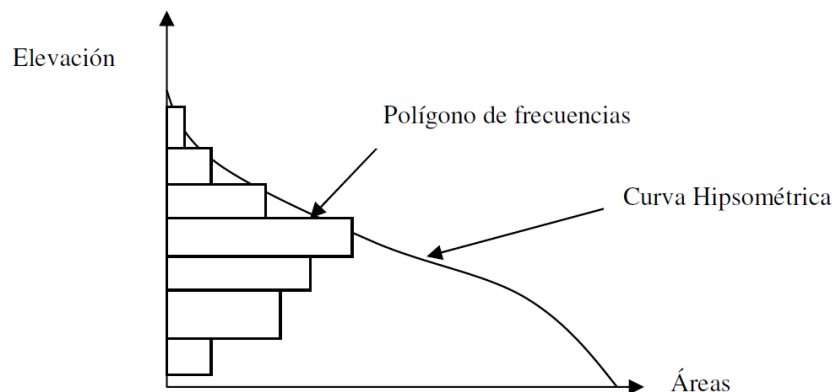


Figura 5.6. Representación esquemática de las relaciones área-elevación de una cuenca.

Fuente: Hidrología “Máximo Villón Béjar”

5.4.3.3.1. CURVA HIPSOMÉTRICA

Es la relación entre altitud y la superficie comprendida por encima o por debajo de dicha altitud. Nos da una idea del perfil longitudinal promedio de la cuenca. (Ver Anexo C. Planos: Lámina N° 1)

Tabla 5.3. Datos de la curva hipsométrica

COTA		ÁREA	A''	% A
MENOR	MAYOR	PARCIAL		
(m.s.n.m.)	(m.s.n.m.)	(Km ²)	(Km ²)	(%)
1840	1860	0,37	48,3	100
1860	1880	1,82	47,92	99,23
1880	1900	3,23	46,1	95,46
1900	1920	5,62	42,88	88,77
1920	1940	6,85	37,25	77,13
1940	1960	7	30,4	62,94
1960	1980	4,68	23,4	48,45
1980	2000	3,86	18,72	38,76
2000	2020	2,44	14,86	30,76
2020	2040	2,71	12,41	25,7
2040	2060	1,9	9,7	20,09
2060	2080	1,47	7,8	16,14
2080	2100	1,05	6,33	13,11
2100	2120	0,66	5,28	10,94
2120	2140	0,61	4,62	9,57
2140	2160	0,6	4,01	8,3
2160	2180	0,53	3,4	7,05
2180	2200	0,69	2,87	5,94
2200	2220	0,52	2,18	4,51
2220	2240	0,27	1,66	3,44
2240	2260	0,23	1,39	2,88
2260	2280	0,19	1,16	2,41
2280	2300	0,26	0,97	2,02
2300	2320	0,17	0,71	1,47
2320	2340	0,12	0,54	1,12
2340	2360	0,1	0,42	0,88
2360	2380	0,07	0,32	0,67
2380	2400	0,08	0,25	0,51
2400	2420	0,09	0,16	0,34
2420	2440	0,04	0,07	0,15
2440	2460	0,03	0,03	0,05

Fuente: Elaboración propia

Leyenda:

A'': Área por encima de la latitud

%A: Porcentaje de área por encima de la latitud

Curva Hipsométrica

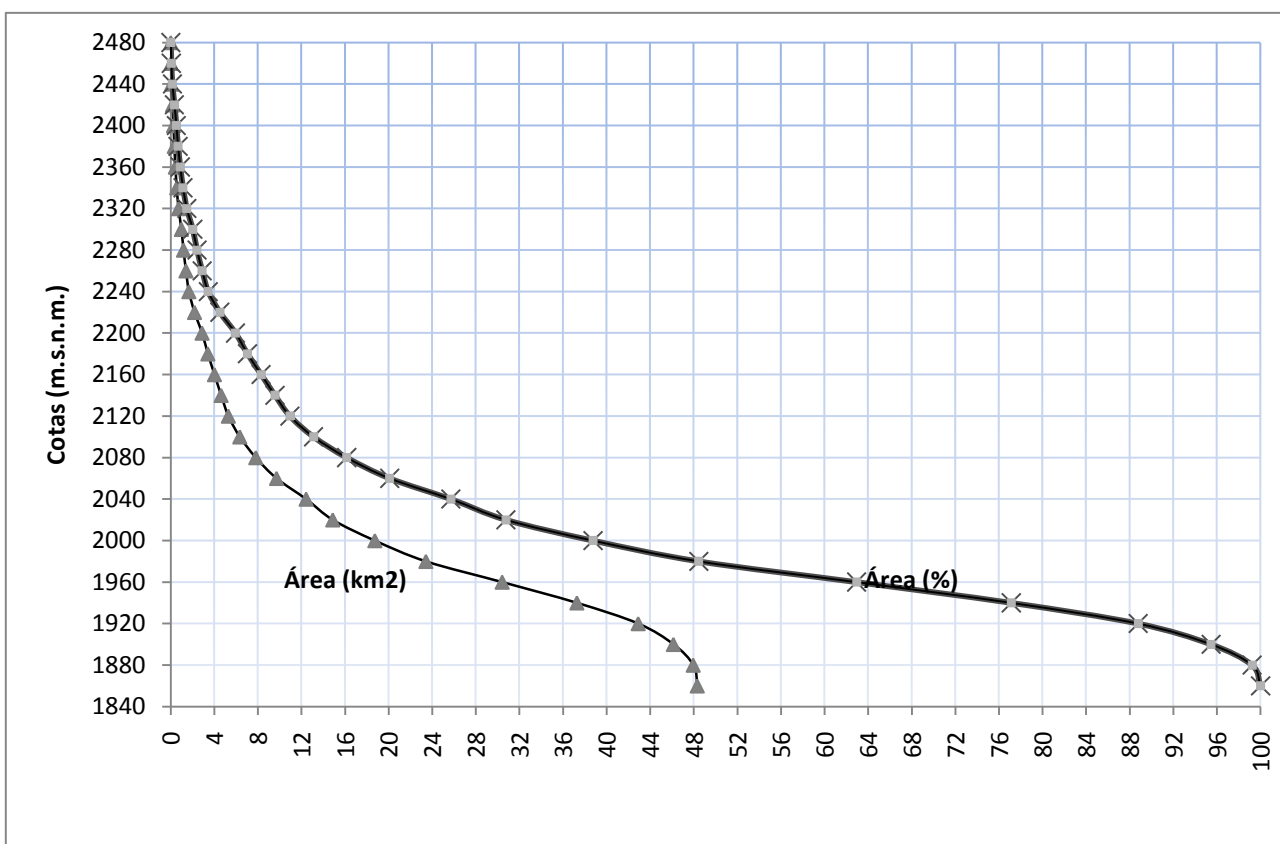


Figura 5.7. Curva hipsométrica

Fuente: Elaboración propia

Existen algunos valores representativos en la curva hipsométrica como: La altitud media, que es aquella para la cual el 50% del área de la cuenca está situado por encima de esa altitud y el 50% por debajo de ella. Nótese que si se grafican juntas la hipsométrica “por debajo” y “por encima”, ambas se cruzan en el valor de la altitud media.

Altura media = 1978 m.s.n.m.

5.4.3.3.2. POLÍGONO DE FRECUENCIAS

Se denomina así a la representación gráfica de la relación existente entre altitud y la relación porcentual del área a esa altitud con respecto al área total. En el polígono de frecuencias existen valores representativos como: **la altitud más frecuente**, que es el polígono de mayor porcentaje o frecuencia.

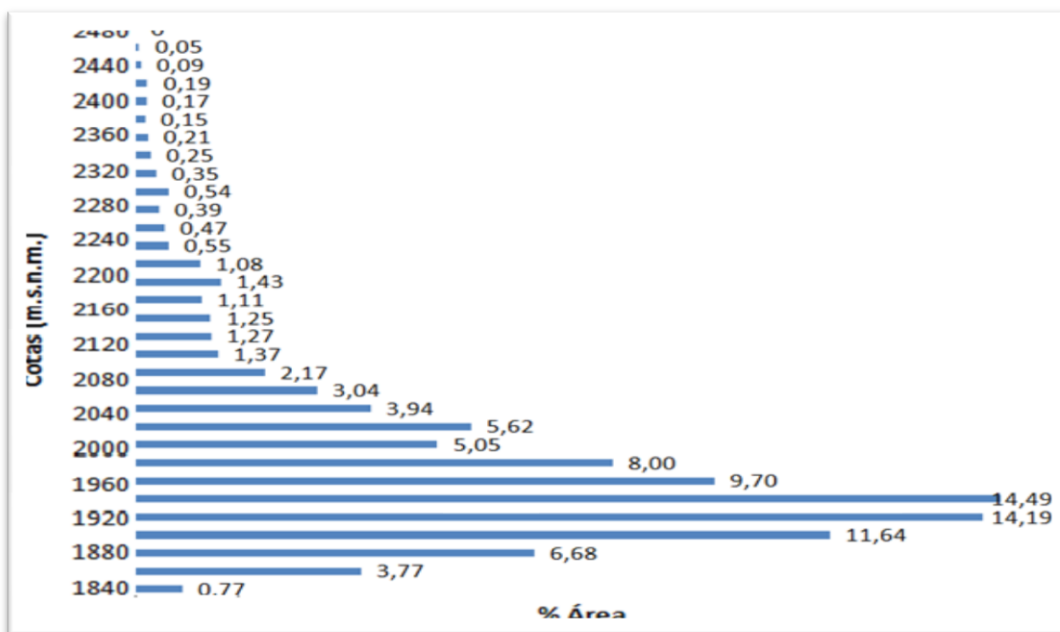


Figura 5.8. Polígono de frecuencias

Fuente: Elaboración propia

Altitud más frecuente = 1940 m.s.n.m.

5.4.4. PARÁMETROS DE LA RED HIDROGRÁFICA DE LA CUENCA

La red hidrográfica corresponde al drenaje natural, permanente o temporal, por el que fluyen las aguas de los escurrimientos superficiales, hipodérmicos y subterráneos de la cuenca.

5.4.4.1. LONGITUD MAYOR DEL RÍO O LONGITUD DEL RÍO PRINCIPAL

Se denomina así a la longitud del curso de agua más largo.

$$L_r = 14,94 \text{ km}$$

5.4.4.2. NÚMERO DE ORDEN DE UN CAUCE

Un sistema diferente de clasificación de tipos de ríos se basa en la forma de ramificarse el río en cualquier cuenca hidrográfica. Los tipos se han clasificado de acuerdo con su orden en una jerarquía que se define como sigue: ríos de primer orden son los que no tienen afluentes; los de segundo orden se forman al unirse los de primer orden; los de tercer orden se forman al unirse los de segundo y así sucesivamente. En su forma original el sistema consistía en que una cuenca de cada clase se prolongaba hacia el manantial de manera que el canal principal se extendía continuamente desde el manantial hasta la desembocadura (Horton, 1945) (Ver Anexo C. Planos: Lámina N° 1)

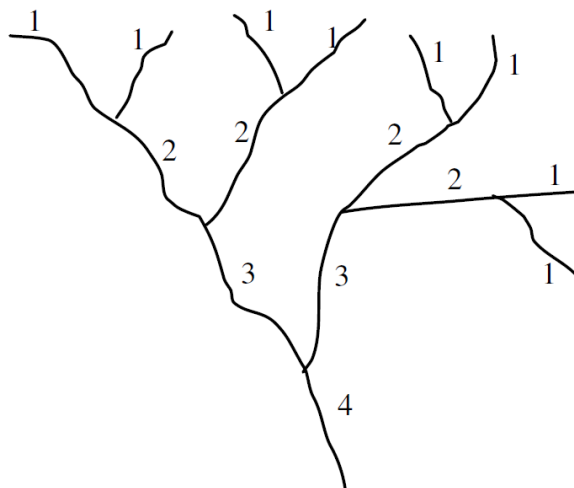


Figura 5.9. Esquema de definición para el número de orden de un río.

Fuente: Hidrología “Máximo Villón Béjar”

El número de orden de la subcuenca El Monte es: 3

5.4.4.3. DENSIDAD DE DRENAJE

La longitud total de los cauces dentro de una cuenca dividida por el área total del drenaje define la *densidad de drenaje* (Dd) o longitud de canales por unidad de área.

$$Dd = \Sigma L / A \quad [m/m^2]; [Km/Km^2]$$

Una densidad alta refleja una cuenca muy bien drenada que debería responder relativamente rápido al influjo de la precipitación; una cuenca con baja densidad refleja un área pobremente drenada con respuesta hidrológica muy lenta. Se puede establecer una relación entre la densidad de drenaje y las características del suelo de la cuenca analizada; tal como se detalla en la Tabla a continuación:

Tabla 5.4. Relación entre la densidad de drenaje y las características del suelo de la cuenca

Característica	Densidad Alta	Densidad Baja	Observaciones
Resistencia a la erosión	Fácilmente erosionable	Resistente	Asociado a la formación de los cauces
Permeabilidad	Poco permeable	Muy permeable	Nivel de infiltración y escorrentía
Topografía	Pendientes fuertes	Llanura	Tendencia al encharcamiento y tiempos de concentración

Fuente: Universidad de Piura Preparado por: Ing. Marina Farías de Reyes. Agosto, 2005.

$$Dd = \Sigma L / A = 65,73 / 48,33 = 1,36 \text{ Km/km}^2$$

Strahler Arthur, especifica:

Tabla 5.5. Clasificación de la densidad de drenaje

Densidad de drenaje (km/km ²)	Clasificación
Menos de 10	Baja
10 a 40	Alta
Más de 40	Muy alta

Fuente: Strahler Arthur

CAPÍTULO 6

DETERMINACIÓN DE LOS CAUDALES MÁXIMOS

6.1. PERIODOS DE RETORNO

Definido como el intervalo o periodo de tiempo en el cual un evento de cierta magnitud puede ser igualado o excedido a la vez en promedio. A continuación se presentan algunos cuadros, los mismos que se extrajeron del libro “Procesos del Ciclo Hidrológico”, de D.F. Campos Aranda, estos indican los periodos promedios utilizados en el diseño hidrológico de diversas obras de ingeniería. El Tabla 6.1, es general e incluye diversas obras, el Tabla 6.2, es exclusivamente de las obras de drenaje de carreteras, en cambio el Tabla 6.3, presenta un enfoque en función del tipo de área por proteger, por último el Tabla 6.4, se utiliza en el diseño de embalse.

Tabla 6.1. Periodos de retorno para drenaje de carreteras con circulación variable

<i>Tipo de estructura</i>	<i>Periodo de retorno en años</i>
<i>Drenaje de carreteras en las que circulan:</i>	
0 a 400 vehículos por día	10
400 a 1700 vehículos por día	10 a 25
1700 a 5000 vehículos por día	25
Más de 5000 vehículos por día	50
Drenaje de Aeropuertos	5
Drenaje Pluviales	2 a 10
Diques	2 a 50
Zanjas de drenaje	5 a 50

Fuente: (W. Viessman, J.W. Knapp, G.L. Lewis y T.E. Harbaugh)

Tabla 6.2. Periodos de retorno para puentes y alcantarillados

<i>Tipo de estructura</i>	<i>Periodos de retorno</i>
Grandes puentes	100
Pequeños puentes	50
Alcantarillados	25

Fuente: (V. Yevjevich y J.D. Salas)

Tabla 6.3. Periodos de retorno para áreas que serán protegidas

<i>Tipo de área que será protegida:</i>	<i>Periodo de retorno en años</i>
Zonas urbanas, importantes redes de transporte y grandes plantas industriales.	100
Región agrícola - industrial	50
Zonas agrícolas	70 a 20
Áreas forestales y planicies de inundación	< 10

Fuente: (E. Mosonyi y W. Buck)

Tabla 6.4. Periodos de retorno para embalses

<i>Grandes embalses cuyo fallo causaría pérdidas de vidas humanas</i>	
Tipo de embalse:	Periodo mínimo de retorno, en años
Cortinas de tierra	1000
Cortinas de concreto o mampostería	500
<i>Embalses que al fallar no causarían pérdidas de vidas humanas</i>	
Embalses costosos	500
Embalses moderadamente costosos	100
Embalses pequeños	20

Fuente: (E.C. Schnackenberg)

6.2. TIEMPO DE CONCENTRACIÓN

El tiempo de concentración es el tiempo que tarda en recorrer una gota desde el punto más lejano de un extremo de la cuenca hasta llegar al punto de aforo o desemboque. Este tiempo es constante para toda la cuenca

Existe una gran cantidad de fórmulas para estimar el tiempo de concentración:

Datos:

Tabla 6.5. Datos de entrada para el cálculo del tiempo de concentración

A	Área de la cuenca	-	48,33	Km ²
L	Longitud del río o curso principal	-	14,94	Km
J	Pendiente media del río	$\frac{H_{\text{máxr}} - H_{\text{minr}}}{Lr}$	0,025	m/m

Fuente: Elaboración propia

Existe una gran cantidad de fórmulas para estimar el tiempo de concentración, las utilizadas para la estimación del tiempo de concentración (**T_c**) son las siguientes:

FÓRMULA DE GIANDOTTI.

$$T_c = \frac{4\sqrt{A} + 1.5 * L}{25.3 * J * L} \quad (6.1.)$$

$$T_c = 5,313 \text{ horas}$$

FÓRMULA CALIFORNIANA

$$T_c = 0.066 \left(\frac{L}{\sqrt{J}} \right)^{0.77} \quad (6.2.)$$

$$T_c = 2,191 \text{ horas}$$

FÓRMULA VENTURA Y HERAS

$$T_c = 0.05 \sqrt{\frac{A}{J}} \quad (6.3.)$$

$$T_c = 2,197 \text{ horas}$$

FÓRMULA U.S.C.E

$$T_c = 0.30 \left(\frac{L}{\sqrt{J}} \right)^{0.76} \quad (6.4.)$$

$$T_c = 9,515 \text{ horas}$$

Haciendo un análisis comparativo de los resultados anteriores, observamos que la fórmula de U.S.C.E (6.4.) nos proporciona resultados en el extremo por lo tanto la descartamos.

Tomando el promedio entre las fórmulas “Californiana”, “Ventura y Heras” y “Giandotti” determinamos:

$$T_c = 3,23 \text{ horas}$$

$$T_c = 193,80 \text{ min}$$

$$T_c = 194 \text{ min}$$

Fue tomado $T_c = 200 \text{ min}$, por ser un número divisible en 10 (siendo 10 en número de intervalos para estimar nuestra lluvia de diseño) y nos de cómo resultado un entero (requisito que nos pide el programa S.S.H. (Sistema de Simulación Hidrológica)).

6.3. TORMENTA DE DISEÑO

6.3.1. INTRODUCCIÓN

Debido a que la disponibilidad de caudales es escasa, es necesario desarrollar metodologías para realizar la estimación indirecta de caudales a partir de la precipitación, que es una variable cuyo registro es más sencillo, más extenso y más frecuente. Para predecir caudales críticos y para ingeniería de diseño de obras hidráulicas, es necesario asociar una probabilidad a lluvias máximas de diferentes duraciones. Deducir la probabilidad de ocurrencia de un evento requiere contar con registros continuos de precipitación, que son muy escasos en nuestro país.

6.3.2. RECOPIACIÓN Y PROCESAMIENTO DE DATOS DE LLUVIA

La información pluviométrica fue proporcionada por el Servicio Nacional de Hidrología y Meteorología, siendo la correspondiente a ésta área de estudio la Estación El Tejar.

Tabla 6.6. Características de la estación Pluviométrica “El Tejar”.

<i>Estación</i>	<i>Periodo</i>		<i>Elevación</i>	<i>Coordenadas</i>	
	<i>De</i>	<i>A</i>	<i>m.s.n.m.</i>	<i>Latitud S</i>	<i>Longitud W</i>
El Tejar	1970	2008	1859	21° 32' 35"	64° 43' 16"

Fuente: SENAMHI

Nota: Se tomó en cuenta los datos de la estación El Tejar y no de la estación Aeropuerto, porque la primera se encuentra más próxima a la zona de estudio y las precipitaciones medias anuales entre ambas tienen una diferencia de 19,50 mm.

Los registros de precipitaciones para la implementación del trabajo corresponden a información de precipitaciones máximas diarias anuales. (Ver Anexo 1 - El Tejar LLUVIAS MAXIMAS EN 24 horas)

Para la determinación de la precipitación de diseño se usó el programa computacional **S.S.H. (Sistema de Simulación Hidrológica)**. (Ver Anexo 2 - Aplicación del programa S.S.H.)

6.4. CURVAS PRECIPITACIÓN-DURACIÓN-FRECUENCIA

Una vez elaborado la desagregación de la precipitación para los diferentes periodos de retorno de la estación meteorológica “El Tejar” se graficaron las mismas y se añadió las líneas de tendencia con el fin de obtener la ecuación de obtener la ecuación que nos permita obtener el diseño de tormenta de uso. las curvas **P-D-F** también se realizó bajo la misma metodología, la tendencia de la curvas presento un valor de R^2 mayor **0,99** en todos los casos con lo que se considera una buena correlación.

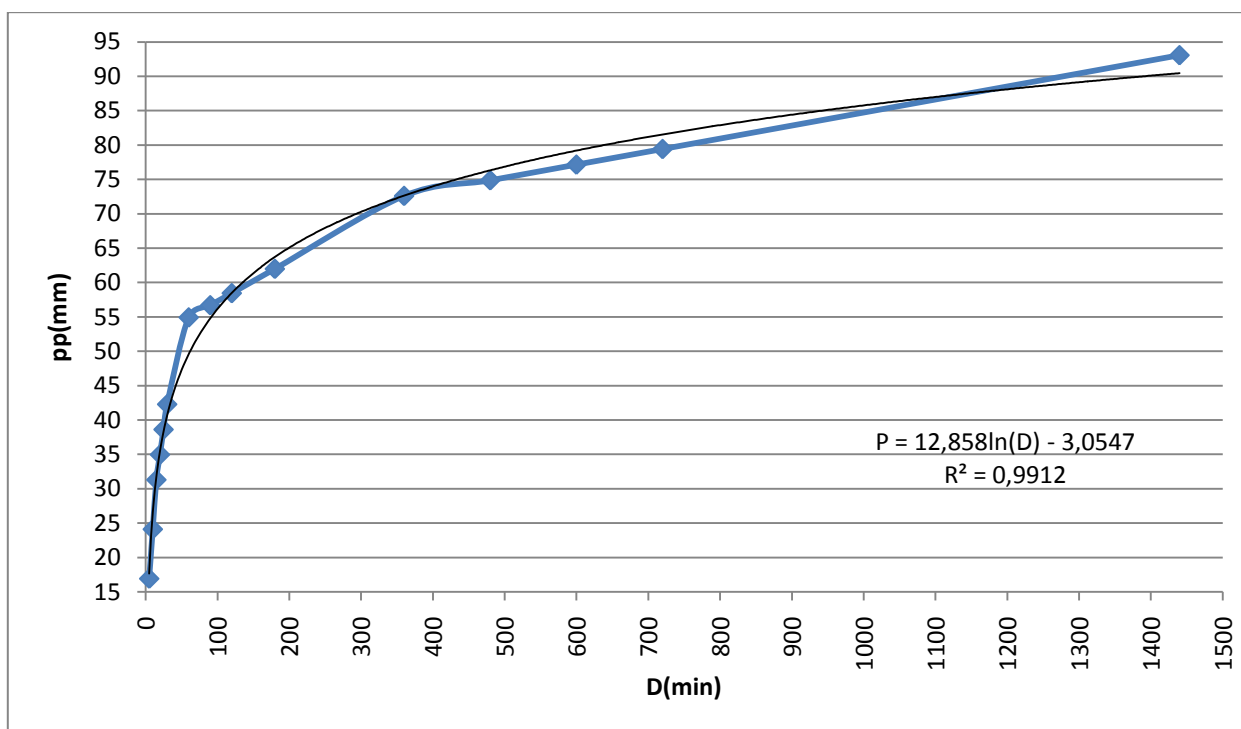


Figura 6.1. Curva P-D-F para la estación “El Tejar” para un T = 10 años.

Fuente: Elaboración propia

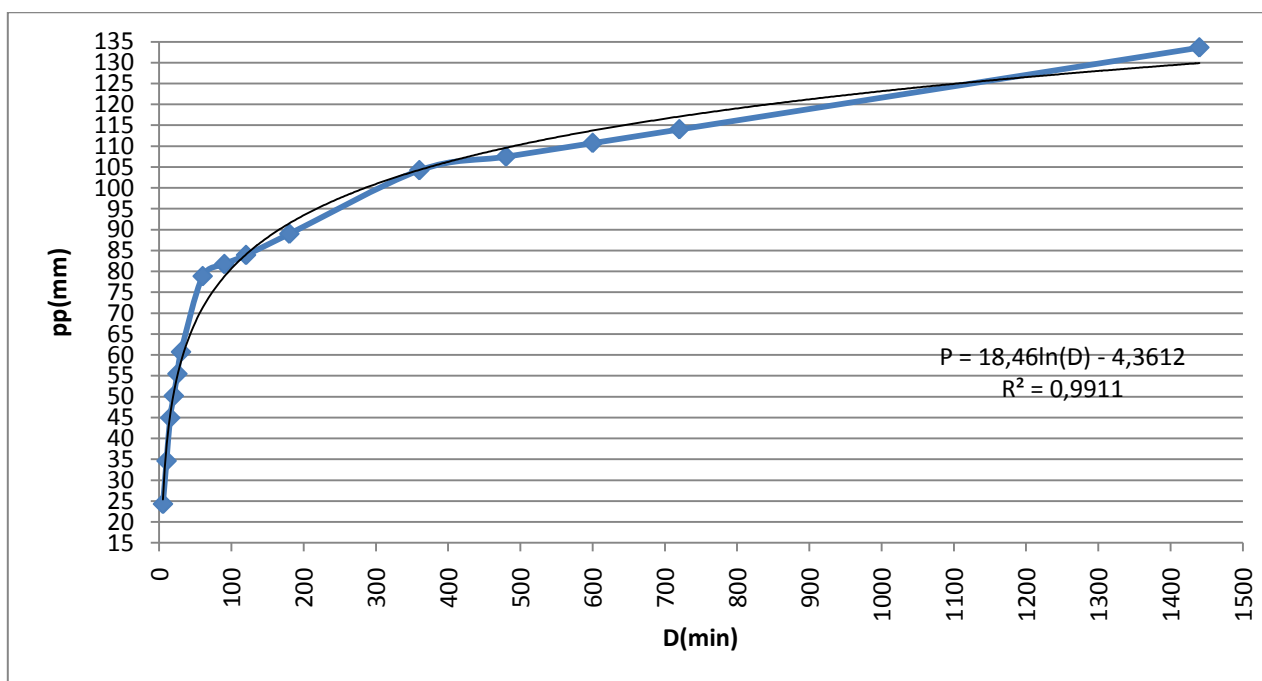


Figura 6.2. Curva P-D-F para la estación "El Tejar" para un T = 100 años.

Fuente: Elaboración propia

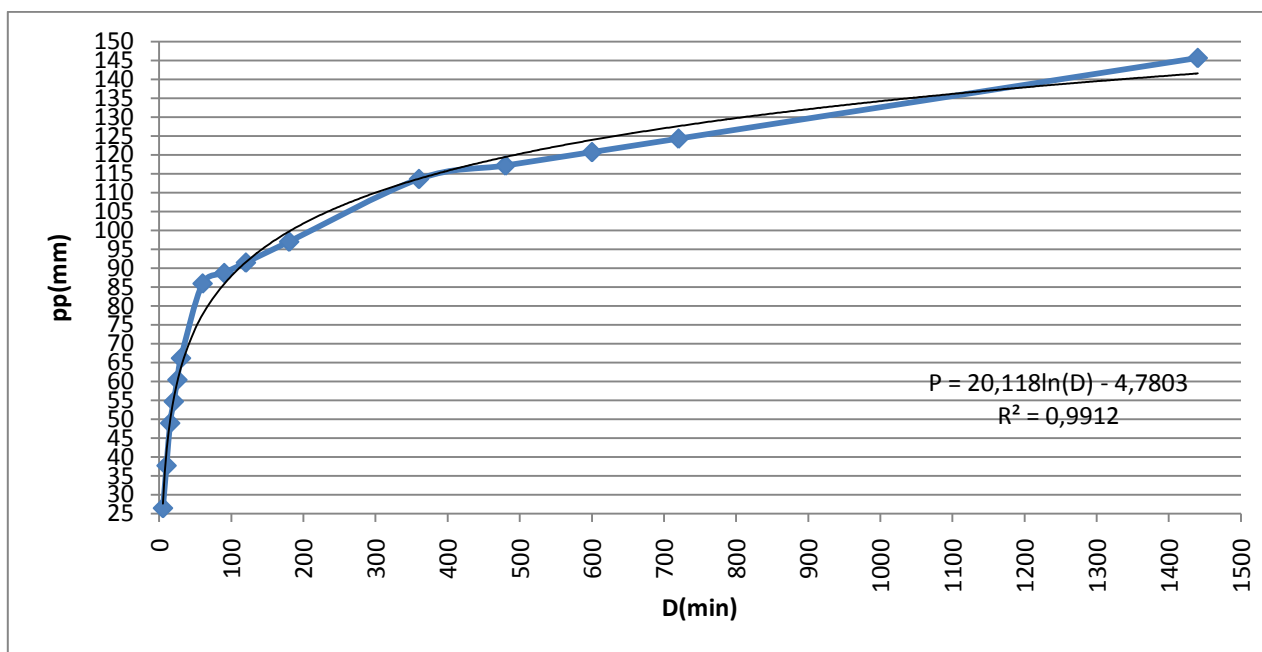
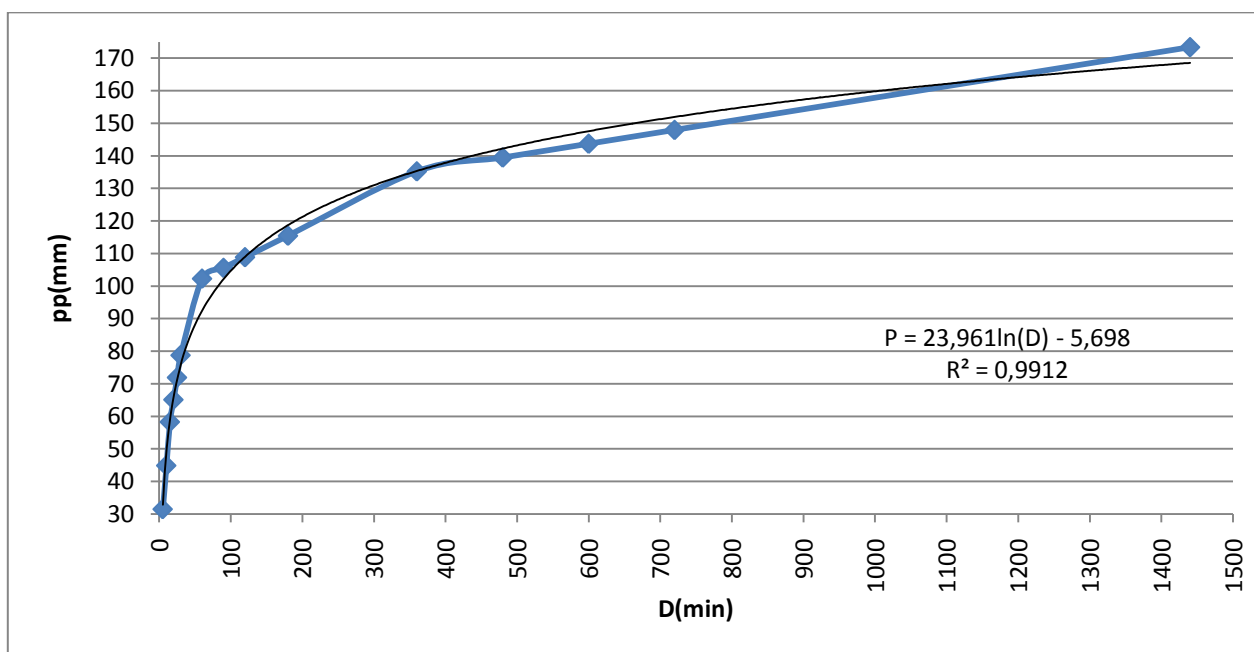
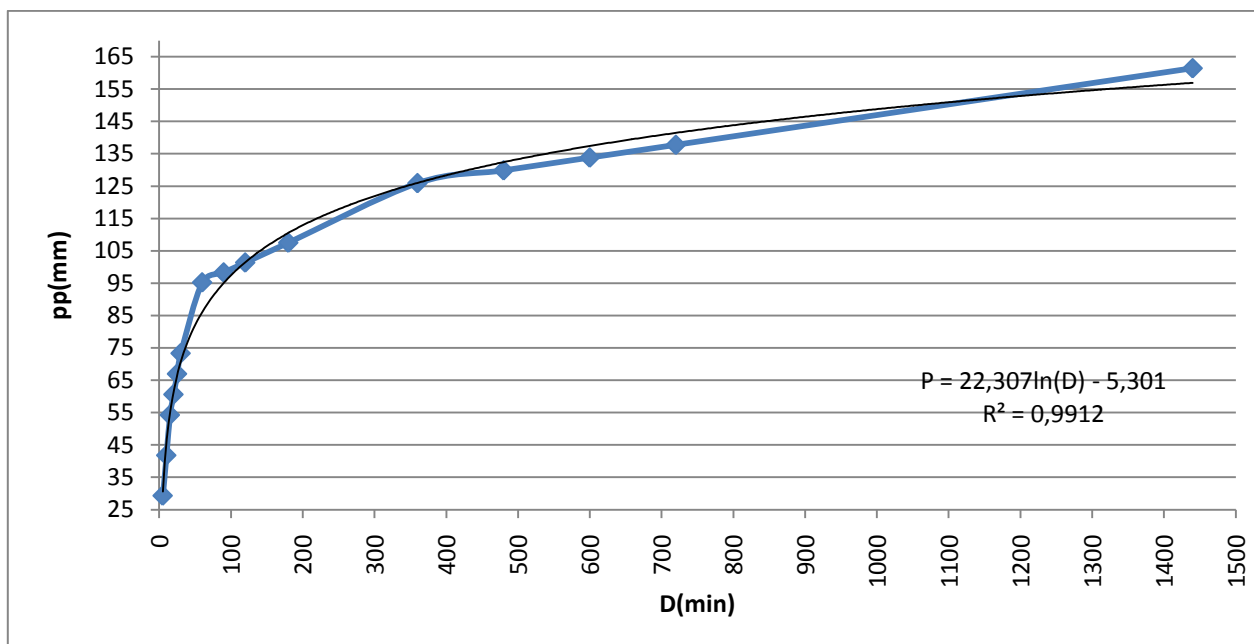


Figura 6.3. Curva P-D-F para la estación "El Tejar" para un T = 200 años.

Fuente: Elaboración propia



6.5. ESTIMACIÓN DE LOS CAUDALES DE AVENIDA

6.5.1. GENERALIDADES

La finalidad principal de los estudios hidrológicos de avenidas es la determinación de la avenida de diseño requerida para posteriores trabajos de planificación, como es la determinación de zonas inundables o dimensionamiento de infraestructuras, presas, encauzamiento, etc.

En la actualidad se utilizan preferentemente dos enfoques fundamentales a la hora de definir la crecida de diseño.

- La crecida producida en la cuenca, con determinadas condiciones de escurrimiento, a partir de la tormenta (lluvia) más desfavorable posible previamente definida.
- La crecida que tiene una determinada probabilidad o periodo de retorno en años de no superada.

6.5.2. SOFTWARE HEC-HMS

El **HEC-HMS**, Sistema de Modelado Hidrológico (**HMS-Hydrologic Modeling System**), es una aplicación poderosa para el modelado hidrológico, desarrollado por el Centro de Ingeniería Hidrológica (**HEC-Hydrologic Engineering Center**) del Cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos (US Army Corps).

Con el modelo **Hec-Hms**, se puede simular la respuesta que tendrá la cuenca de un río en su escurrimiento superficial, como producto de una precipitación, mediante la presentación de la cuenca como sistema interconectado de componentes hidrológicos e hidráulicos. Cada componente, modela un aspecto del proceso de escurrimiento por precipitaciones, dentro de una parte de la cuenca, comúnmente referida como una subcuenca. Un componente puede representar una identidad de escurrimiento superficial. La presentación de un componente, requiere de un conjunto de parámetros que especifiquen las características particulares del

componente y las relaciones matemáticas que describen el proceso de modelaje, es el cálculo de los hidrogramas del flujo en sitios elegidos de la cuenca del río.

Los modelos de eventos, revisten mucha importancia por su utilización en el diseño de obras de infraestructura, que requieren del conocimiento de los picos y volumen de las crecidas, tales como puentes, alcantarillas, represas y obras de control de torrentes e inundaciones.

El **Hec-Hms**, representa la versión para **Windows** de la versión **Hec-1**, cuya primera versión fue publicada en octubre de 1968 y fue desarrollada para ambiente **D.O.S**, en la cual se han hecho mejoras, tanto en la parte computacional como en los conceptos hidrológicos, por lo que cuenta con una interfaz más amigable. La versión 3.1.0 que se describe en esta publicación, fue lanzada en noviembre del 2006.

La interfaz gráfica de la aplicación proporciona al usuario:

- Un componente de análisis hidrológico integrado.
- Herramientas de manejo y almacenamiento de datos.
- Facilidad de reportes y gráficos.

Los resultados e hidrogramas producidos se almacenan en una base de datos, pueden usarse directamente o puede ser usado por Hec-Ras, para estudios de:

- Disponibilidad del agua
- Drenaje urbano
- Predicción del flujo
- Reducción de los daños de las avenidas
- Operaciones de sistemas

6.5.2.1. APLICACIÓN DEL PROGRAMA HEC-HMS

A continuación se explica cómo se realizó:

Loss Method	-	<i>SCS Curve Number</i>
Transform Method	-	<i>SCS Unit Hydrograph</i>

Para estimar la descarga pico hay que introducir los datos de:

- Cuenca hidrográfica
- Tormenta de diseño.

Para separar la precipitación neta (Loss Method), usamos el modelo del número de curva del SCS (SCS Curve Number):

Este modelo desarrollado por el Servicio de Conservación de Suelos (SCS) de los Estados Unidos, usa el número de curva (CN, de sus siglas en inglés), el cual es un parámetro empírico estimado de la combinación del tipo de suelo, cobertura vegetal y la condición de humedad antecedente del suelo (AMC, de sus siglas en inglés).

Este método es utilizado para estimar la precipitación neta o precipitación en exceso (Pe), a partir de datos de precipitación (P) y otros parámetros de la cuenca de drenaje que se traducen en el número de curva (CN). El método fue desarrollado utilizando datos de un gran número de cuencas experimentales, y se basa en la siguiente relación:

Donde:

$$Pe = \frac{[CN * (P + 50.8) - 5080]^2}{CN * [CN * (P - 203.2) + 20320]} \quad (6.5.)$$

Pe = precipitación en exceso, en mm

P = precipitación de la tormenta, en mm

CN = número de curva cuyos valores están en función de las características del suelo.

Los autores del método, para obtener la ecuación (6.5.), para datos experimentales se basaron en una relación entre Ia y S , la cual es:

$$Ia = 0.20 * S \quad (6.6.)$$

Donde:

Ia = pérdidas ó sustracciones iniciales, en mm, es definido como la precipitación acumulada hasta el inicio de la esorrentía y es una función de la intercepción, almacenamiento en depresiones e infiltración antes del comienzo de la esorrentía.

S = infiltración potencial máxima, en mm

El SCS después de estudiar un gran número de pequeñas cuencas estableció una relación para estimar S a partir del número de curva CN , mediante la siguiente ecuación:

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (6.7.)$$

Tomando para este modelo los siguientes datos:

- Número de curva (CN , Curve Number): 75 (Ver Anexo 3 - Estimación del numero de Curva)
- Pérdidas iniciales (Initial Loss): 16.93 mm
- % de área impermeable (Impervious): 15.82 %

Para transformar la precipitación neta a esorrentía directa (Transform Method), usar el modelo del hidrograma unitario sintético del SCS (SCS Unit Hydrograph), conociendo:

- Tiempo de retardo (Lag Time): $0.60 * T_c = 0.60 * 200 = 120 \text{ min}$

Despreciando el flujo base. (Ver Anexo 4 - Aplicación del programa HEC-HMS)

6.6. RESULTADOS

Tabla 6.7. Resumen de los resultados de caudales máximos

<i>Periodo de retorno (años)</i>	<i>Caudal máximo (m³/s)</i>
10	95,70
100	176,20
200	202,30
500	238,00
1000	258,50

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO 7

ESTUDIO DE LA QUEBRADA

7.1. INSPECCIÓN DE CAMPO

Para identificación de los puntos o zonas críticas de la quebrada El Monte así como para evaluar el estado actual del cauce y las márgenes se partió de:

- Análisis de imágenes de Google Earth, donde se señalaron algunas posibles zonas de riesgo de inundación.
- Recorrido a lo largo del tramo de estudio.
- Encuesta a los pobladores que viven cerca de las márgenes de la quebrada (Ver Anexo A.6. – Encuestas)

El recorrido permitió definir puntos o zonas a estudiar desde el punto de vista topográfico e hidráulico.

7.1.1. BASURA EN LA QUEBRADA

Dando el recorrido por el tramo de estudio se pudo advertir con pesar la contaminación debido hacinamiento de basura tanto en el lecho de la quebrada como en sus márgenes.

Apoyando este punto de vista se muestra a continuación una información dada por el periódico local: “El Nacional”

Las quebradas se convirtieron en basureros y cementerios de chatarra

Publicado en 10 noviembre 2010

Las quebradas que tiene la ciudad de Tarija están cada día más contaminadas. En un recorrido realizado ayer por EL NACIONAL, se constató que hay más basura y chatarra que agua. Se puede encontrar todo tipo de materiales, desde llantas, planchas, mesas de plástico, bicicletas, latas, pedazos de televisores, radios, equipos electrónicos, juguetes, balones, entre otros.



Figura 7.1. Basura en la quebrada El Monte de la ciudad de Tarija

Fuente: www.elnacionaltarija.com/diario/index.php/2010/11/10/las-quebradas-se-convirtieron-en-basureros-y-cementerios-de-chatarra/

Los puntos más críticos son las quebradas que desembocan a la Víbora Negra y están detrás del Mercado Campesino. En ese lugar hay alcantarillas que convergen en los principales afluentes de la capital chapaca, lo cual genera una mala imagen turística porque las pocas áreas verdes están contaminadas y son auténticos basurales.

Debido a que todavía no llovió en la ciudad de Tarija, estas quebradas están secas. En todo caso, cuando llegue el gran caudal, la basura acumulada será arrastrada por la quebrada de la Víbora Negra hasta la quebrada del Monte, y finalmente desembocará en el río Guadalquivir.

Ante este panorama, algunos ambientalistas sugieren realizar una campaña de limpieza en estas quebradas antes que comience la temporada de lluvias, porque el gran afectado será el principal afluente de la ciudad, que se constituye en el patrimonio chapaco.

En este recorrido también participó el presidente de la Sociedad Protectora de Animales de Tarija (SPAT), Gonzalo Tórrez, quien lamentó que las autoridades no hagan nada para dar una solución definitiva al problema del medio ambiente, y en especial a la contaminación de quebradas y ríos.

Asimismo, hizo notar que no existen carteles con leyendas para concientizar a la gente que vive en los alrededores de las quebradas a fin de que no boten su basura en este lugar. Tampoco hay efectivos de la Policía Urbana o funcionarios de la Unidad de Medio Ambiente para realizar un trabajo de control.

El activista recordó que estas quebradas serán embovedadas y para lo único que servirán será para tapar todo el desastre que se hace con los afluentes de Tarija, ya que la basura y los desagües circularán por debajo, cuando en realidad lo que se debe hacer es preservar las áreas verdes con sus árboles alrededor.

Asimismo, Tórrez convocó al Comité Cívico para que promueva la preservación y la limpieza de las quebradas de Tarija, porque entre sus muchas funciones está el velar por el patrimonio chapaco, cosa que a la fecha no lo hizo.

También pidió a la Entidad Municipal de Aseo de Tarija (EMAT) para que tome en cuenta, dentro de su campaña de limpieza, las quebradas que requieren cuanto antes un tratamiento especial antes que llueva y arrastre toda la basura al río Guadalquivir.

“No es posible que las autoridades no hagan nada para preservar el medio ambiente. Yo realizaré acciones legales porque cada día se encuentra más atrocidades en contra de la naturaleza. El hecho de embovedar las quebradas no cumple con sus objetivos porque continuará la contaminación, seguirá siendo un lugar inseguro y los malos olores molestarán a los vecinos”, comentó.

“El hecho de embovedar las quebradas no cumple con sus objetivos porque continuará la contaminación, seguirá siendo un lugar inseguro y los malos olores molestarán a los vecinos”

<http://www.elnacionaltarija.com/diario/index.php/2010/11/10/las-quebradas-se-convirtieron-en-basureros-y-cementerios-de-chatarra/>

7.2. TOPOGRAFÍA

Se realizó el levantamiento topográfico a lo largo del tramo de estudio, dicha etapa se llevo a cabo con la utilización de la estación total SOKKIA SET610 equipo que fue de gran ayuda gracias a su fácil manejo y precisión en sus datos. Además se uso Google Earth junto al software Civil-3d para extraer de este los puntos para tener secciones transversales de mayor magnitud.

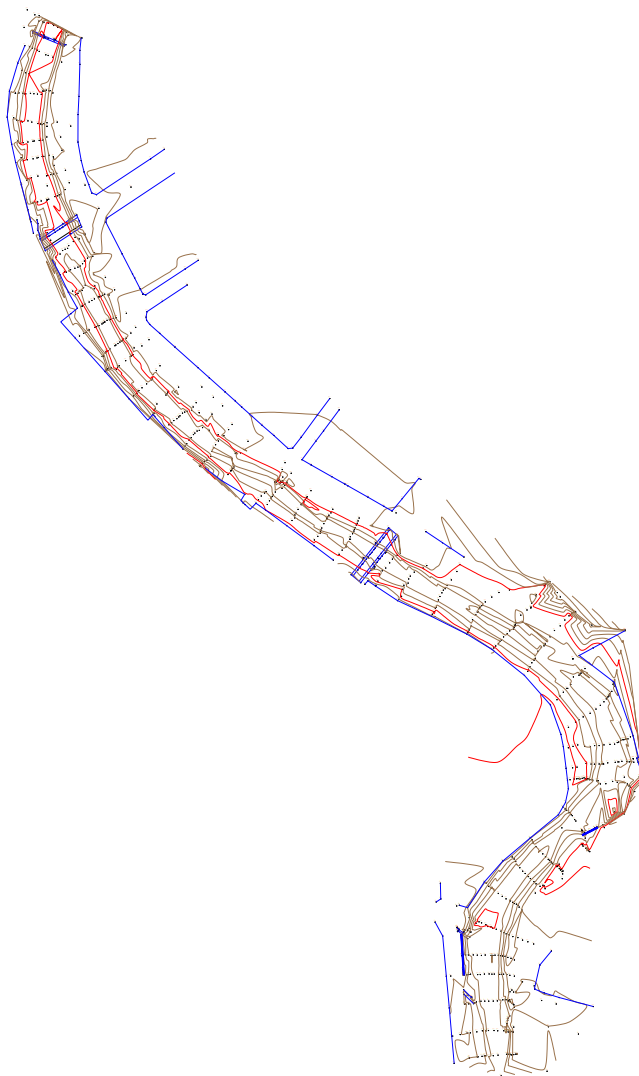


Figura 7.2. Croquis de la topografía en el tramo de estudio de la quebrada El Monte

Fuente: Elaboración propia

7.3. SOFTWARE HEC-RAS

HEC-RAS es un paquete integrado de análisis hidráulico, programa en que el usuario actúa recíprocamente con el sistema a través del uso de una Interface Gráfica del Usuario (GUI). El sistema es capaz de realizar cálculos de los flujos de la superficie del agua, cálculos de flujo uniforme, e incluirá Flujo variado, Transporte del Sedimento, etc.

En la terminología de HEC-RAS, un Proyecto es un juego de archivos de datos asociados con un sistema de un río en particular. El modelador puede realizar cualquiera o varios tipos de análisis, incluido en el paquete de HEC-RAS, como parte del proyecto. Los archivos de datos para un proyecto se categorizan como sigue:

- Datos de planta,
- Datos geométricos,
- Datos de flujo uniforme,
- Datos de flujo variado,
- Datos de sedimentos y
- Los datos de diseño hidráulico

Nota: Se utilizó Hec-Ras como programa de simulación unidimensional ya que se cuenta en los resultados con la característica que se presenta un flujo principal el cual pasa por los límites de la quebrada con velocidades que oscilan entre 1 – 3 m/s y en el caso de exceder los bordes no se presenta en calles sino en casas dando velocidades en partes laterales del orden de 0.4 m/s por lo cual no se utilizó un programa de simulación hidráulica bidimensional.

7.4. CARACTERÍSTICAS DE LA QUEBRADA

Los contenidos de:

- Secciones transversales de la quebrada
- Coordenadas UTM de las secciones transversales
- Detalle de las características de las secciones transversales
- Coeficientes de rugosidad de Manning
- Separación entre secciones transversales

Se encuentran en: Anexo C. Planos – Lámina N° 2 - Datos de las secciones transversales de la Qda El Monte

- Granulometría del lecho de la quebrada El Monte

Tabla 7.1. Granulometría de la quebrada El Monte

GRANULOMETRÍA (QUEBRADA EL MONTE)					
Peso Total (gr.)			1000	A.S.T.M.	
Tamices	Tamaño	Peso Ret.	Ret. Acum	% Ret	% Que Pasa
	(mm)	(gr)	(gr)		del Total
3"	75	0,00	0,00	0,00	100,00
2"	50	0,00	0,00	0,00	100,00
1 1/2"	37,50	134,20	134,20	13,42	86,58
1"	25,00	126,08	260,28	26,03	73,97
3/4"	19,00	108,86	369,14	36,91	63,09
1/2"	12,50	79,10	448,24	44,82	55,18
3/8"	9,50	16,16	464,40	46,44	53,56
Nº4	4,75	82,94	547,34	54,73	45,27
Nº10	2,00	65,35	612,69	61,27	38,73
Nº40	0,425	144,25	756,94	75,69	24,31
Nº200	0,075	115,33	872,27	87,23	12,77

Fuente: Elaboración propia

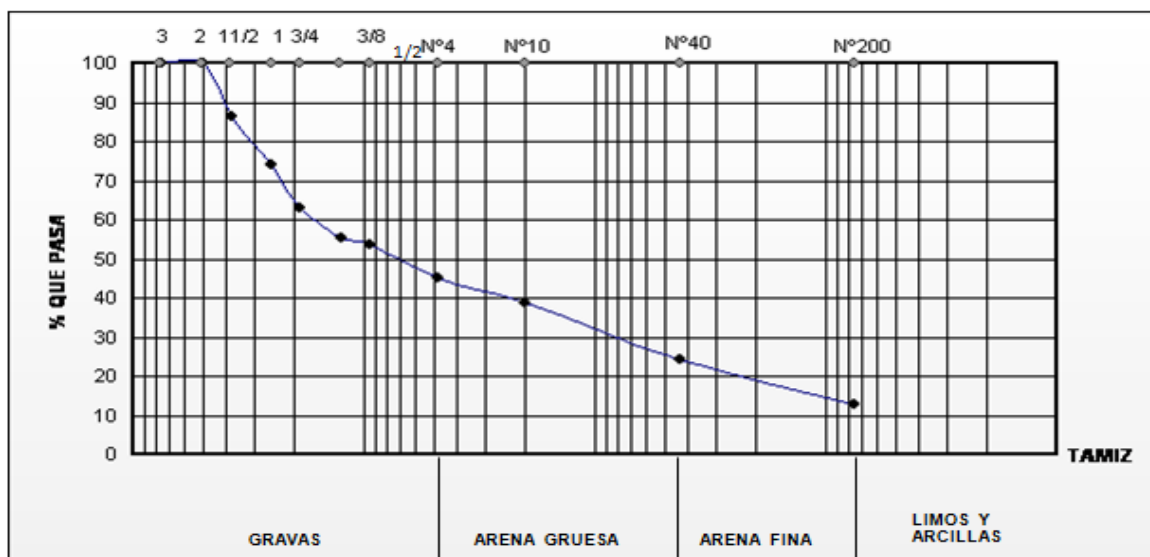


Figura 7.3. Gráfica granulométrica de la muestra de suelo

Fuente: Elaboración propia

Tabla 7.2. Clasificación de la muestra de la quebrada El Monte

Clasificación:	(Gravas Limosas Mezclas de Grava - Arena - Limo)
S.U.C.S.:	GM
A.A.S.H.T.O. :	A-1-b

Fuente: Elaboración propia

7.5. RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN HIDRÁULICA POR HEC-RAS

Los resultados analíticos de:

- Nivel de la huellas de avenida (Ver Anexo C. Planos – Lámina Nº 3)
 - Permanente (sin sedimentos)
 - No permanente (con sedimentos)
- Puentes (Ver Anexo C. Planos – Lámina Nº 10)

Los resultados gráficos se encuentran en:

- Lámina Nº 4 – Comparación gráfica de resultados HEC-RAS
- Lámina Nº 5 - Resultados gráficos HEC-RAS T = 10 años
- Lámina Nº 6 - Resultados gráficos HEC-RAS T = 100 años
- Lámina Nº 7 - Resultados gráficos HEC-RAS T = 200 años
- Lámina Nº 8 - Resultados gráficos HEC-RAS T = 500 años
- Lámina Nº 9 - Resultados gráficos HEC-RAS T = 1000 años

CAPÍTULO 8

DETERMINACIÓN DE LAS ZONAS DE RIESGO

8.1. INFORMACIÓN HISTÓRICA

Las crecidas torrenciales de la quebrada del Monte, han puesto en peligro varias zonas habitadas de la ciudad de Tarija, provocando inundaciones en las áreas aledañas a su cauce. Ejemplo de esto fueron las crecidas de 1992 y 1999, que provocaron grandes pérdidas debido al desborde de sus aguas.



Figura 8.1. Crecida extraordinaria en la quebrada El Monte

Fuente: Periódico El País



Figura 8.2. Inundación en la Avenida Los Membrillos

Fuente: Periódico El País

8.1.1. INFORME SOBRE DESASTRES

A continuación se cita un fragmento de un reportaje periodístico de una crecida en la zona de estudio que provocaron inundaciones en los últimos años:

Febrero 3, de 1999- EL PAIS.

TARIJA SERÁ DECLARADA ZONA DE DESASTRE NATURAL

El departamento de Tarija será declarado como zona de desastre natural, debido a las funestas ocasionadas por la torrencial lluvia y la posterior crecida de los ríos y quebradas tanto de la provincia Cercado como de comunidades vecinas.

El Prefecto Oscar Zamora Medinaceli, afirmó que existen todas las justificaciones del caso para que el departamento y en particular las zonas afectadas, sean declaradas como zonas de desastre, debido a que los daños son cuantiosos en materia económica inclusive se tuvo que lamentar la pérdida de vidas humanas, así mismo la autoridad política dijo que como emergencia de la situación se habilitaron, en los batallones Padilla y Chorolque en la zona de San Jerónimo, centros de atención de emergencia donde pueden acudir las personas afectadas sin costo alguno.

8.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El problema que aquí se plantea es el análisis de las posibles inundaciones que pueden provocar las grandes crecidas en la quebrada del Monte. Esto se traduce en la determinación de los niveles máximos que pueden alcanzar las aguas en los distintos lugares de interés para varios periodos de retorno.

Los cálculos hidrológicos que sirven de base para determinar los caudales máximos han sido desarrollados en este trabajo (ver Cap. 6). Procede ahora desarrollar la forma en que dichos caudales van a recorrer el cauce para determinar los niveles máximos que se pueden alcanzar, es decir, lo que se conoce en este campo como la determinación del tránsito de las avenidas.

El tránsito de caudales es un procedimiento para determinar el tiempo y la magnitud del caudal (es decir, el hidrograma de caudal) en un punto de un curso de agua utilizando hidrogramas conocidos o supuestos en uno o más puntos aguas arriba. Si el flujo es una creciente, el procedimiento se conoce específicamente como tránsito de crecientes (en algunos países se utiliza el término de propagación de avenidas). En un sentido más amplio, el tránsito de caudales puede considerarse como un análisis para seguir el caudal a través de un sistema hidrológico, dada una entrada.

La diferencia entre el tránsito de sistemas agregados y distribuidos es que en un modelo de un sistema agregado, el flujo se calcula como una función del tiempo únicamente en un

lugar particular, mientras que en un sistema de tránsito distribuido se calcula como una función del espacio y el tiempo a través del sistema.

El tránsito por métodos de sistemas agregados se conoce algunas veces como tránsito hidrológico, y el tránsito por métodos distribuidos se conoce como tránsito hidráulico. Se aplican numerosos métodos en la práctica, para la obtención de soluciones de este tipo de problema. Una clasificación primaria de los métodos puede ser: Métodos Convencionales y Modelos Matemáticos Numéricos.

Entre los Métodos Convencionales se pueden señalar:

1. Método de la curva de Cota-Caudal, que es el más sencillo y conservador.
2. Métodos de la regulación por el propio cauce (por ejemplo, el método de Muskingum).
3. Método de la regulación por almacenamientos (embalse).

Los métodos basados en la Modelación Matemática Numérica implican la formulación de las ecuaciones diferenciales de continuidad y momentum del flujo y su solución por métodos numéricos.

La literatura especializada refleja una amplia variedad de métodos utilizados en este sentido. Por sólo mencionarlos más empleados:

- Métodos en diferencias finitas.
- Métodos en elementos finitos.

En la realización del presente estudio se aplicó el software HEC-RAS capaz de realizar la modelación matemática numérica.

8.3. ZONAS SOMETIDAS A RIESGO

8.3.1. GENERALIDADES

Para la determinación de las zonas sometidas a riesgo de inundaciones (curvas de riesgo), se consideraron los siguientes aspectos relacionados con el comportamiento hidrológico e Hidráulico de la zona bajo estudio:

- Se define la red fluvial principal que es la encargada de realizar la recolección y el transporte hidráulico de las aguas del escurrimiento.
- Se separan los aspectos hidrológicos de los aspectos hidráulicos.
- Se usó el hidrógrafo adimensional del Soil Conservation Service de EE.UU. (SCS) que viene dentro del programa de computación (HEC-HMS). Además, el programa tiene implícito hietogramas adimensionales.
- Se determinan los parámetros hidrológicos que gobiernan el hidrógrafo de la avenida y se procede al cálculo de los hidrógrafos para diferentes períodos de retomo. Cada hidrógrafo calculado se considera convencionalmente ubicado al final de la cuenca.
- Se determinan las características topográficas e hidráulicas de los tramos considerados en la red fluvial (tramo bajo análisis) que se expresan en la forma de secciones transversales y perfiles longitudinales incluyendo sus correspondientes parámetros hidráulicos. De esta manera, por ejemplo, la longitud de cada tramo es la longitud del río, a lo largo del cauce, correspondiente a dicho tramo.
- Mediante el tránsito de la avenida a través del cauce en el tiempo, es posible determinar los niveles y caudales que ocurren en cada tiempo en todos los nadas y tramos representados.

8.4. ELABORACIÓN DE LAS CURVAS DE RIESGO

8.4.1. DESCRIPCIÓN GENERAL

Se dibujaron las cotas máximas alcanzadas en las distintas secciones para cada periodo de retorno (utilizando el programa AutoCAD 2010 – English). Posteriormente, se procedió a unir los puntos así definidos mediante una envolvente que resulta de unir los puntos según una línea de máxima pendiente topográfica que debe ser la que recorre el agua.

En las envolventes dibujadas se muestra en el plano denominado “Curvas de Riesgo” (ver Anexo C. Planos – Lámina N° 11), que se presenta al final de este trabajo. La zona comprendida entre la curva y el cauce de cada río se considera entonces como zona con peligro de inundación. Este peligro por supuesto es mayor a medida que el periodo de retorno es mayor.

Las obstrucciones del cauce han sido modeladas en aquellos tramos que fueron objeto de Levantamiento topográfico en la quebrada por cuanto ellas quedan reflejadas en la sección transversal medida.

Esto será importante a la hora de evaluar las posibles soluciones por cuanto los niveles alcanzados por las aguas en los últimos tiempos corresponden más bien con eventos que debieran ser de rara frecuencia, como los considerados en el presente estudio, y esto puede deberse a que las obstrucciones elevan el agua hasta niveles superiores a los que se esperan en crecidas más frecuentes y, por lo tanto, de menor valor.

8.4.2. LA ZONA DE EXCLUSIÓN

De la apreciación visual en el mapa donde se han dibujado las envolventes que enmarcan las zonas de riesgo y de los cálculos de las diferencias entre las distintas envolventes se infiere que las envolventes de alto periodo de retorno (100 años o más), cuando se

comparan con una de bajo periodo de retorno (10 años), sí producen diferencias apreciables como las obtenidas en este caso que son del orden de 100 cm y mayores:

Esto reafirma la idea de que pueden diferenciarse zonas con distinto grado de riesgo a la hora de recomendar medidas para la prevención y disminución de los daños provocados por las crecidas. Esta diferenciación por zonas no puede hacerse demasiado detallada, consecuentemente, se propone establecer la delimitación en dos zonas de notoria diferencia:

- **Zona de Exclusión**, caracterizada por un *bajo periodo de retorno*, que implica un peligro frecuente de inundación por lo tanto, esta zona será objeto de las más severas restricciones para ser ocupada.
- **Zona de Riesgo**, caracterizada por un *alto periodo de retorno*, que implica un peligro, aunque poco frecuente, de inundación; por lo tanto, esta zona podrá ser objeto de restricciones pero con mayor flexibilidad.

En la práctica la diferencia entre alto y bajo periodo de retorno se ha establecido convencionalmente en el límite de los 100 años. Por otra parte, el uso también ha establecido valores discretos de 2, 5, 10, 20, 50, 100, 200, 500, 1000, años para el periodo de retorno.

Los periodos inferiores a 10 años no deben provocar inundaciones de demasiada envergadura, los intermedios de 20, y 50, años quedan muy cerca de sus vecinos inferior y superior, respectivamente y, como ya se ha señalado, es necesario que la diferenciación por zonas sea verdaderamente apreciable teniendo en cuenta la imprecisión intrínseca. Además, el periodo de retorno de 10 años es de uso frecuente en diferentes aspectos de las construcciones hidráulicas.

En cuanto a los altos periodos de retorno es necesario trabajar hasta los 200 años, pero también fueron usados los de 500 y 1000 años, pero se escogió el de 200 años para caracterizar la segunda zona propuesta (la zona de riesgo).

A partir de todo lo anteriormente expuesto, se ha considerado conveniente en este estudio recomendar el uso de la envolvente de 10 años de periodo de retorno como la que se utilice para diferenciar la Zona de Exclusión y utilizar la envolvente correspondiente al periodo de retorno de 200 años para caracterizar la Zona de Riesgo.

En este último caso, se propone escoger la de 200 años entre las de alto periodo de retorno porque no se consideran períodos de retorno mayores a los 200 años, principalmente porque las series de datos hidrometeorológicos que existen en Tarija no son lo suficientemente extensas (< 50 años) y consistentes para poder extrapolar a periodos de retorno mayores. Tampoco otros métodos (como los geomorfológicos) permiten estimar con precisión satisfactoria el alcance de crecidas de periodos de retorno mayores.

8.5. ZONAS E INSTALACIONES EN LAS ZONAS DE EXCLUSIÓN Y RIESGO

Área urbana intensiva que se entiende por el área urbana intensiva las superficies efectivamente ocupadas, con edificación y población densa y se corresponde con aquellas zonas que cuentan con la infraestructura y los servicios mínimos suficientes para su desarrollo y su interrelación con las distintas áreas de la ciudad en el más amplio sentido. En la ciudad de Tarija se tiene una superficie de 3.366 ha. de área intensiva neta.

Se dibujaron las curvas que delimitan las Zonas de Exclusión y Riesgo para identificar cualitativamente las zonas afectadas así como los objetivos económicos y sociales que pueden resultar dañados. Además, de esta forma, se delimitan dentro de los cuales se van a realizar las valoraciones de daños potenciales. (Ver Anexo C. Planos – Lámina N°12)

A partir de esta superposición se pueden reconocer en dicho mapa, las instalaciones particulares que caen dentro de cada zona.

A continuación se ofrece la lista de instalaciones críticas en las dos zonas definidas. Puede observarse que, por el alto grado de urbanización de las riberas de las quebradas, las diferencias no son muy grandes entre las dos zonas en el sentido aquí expresado.

Tabla 8.1 Zonas aledañas y su clasificación en zonas de exclusión y riesgo

#	Zonas aledañas	Zona de Exclusión	Zona de Riesgo
1	Puente Peatonal Oscar Zamora Medinaceli	-	X
2	Barrio 14 viviendas	-	X
3	Puente Vehicular - Unión al Barrio La Salamanca	-	X
4	Estadio IV Centenario	-	-
5	Cancha Auxiliar IV Centenario	-	X
6	Viviendas en la cuadra del Estadio IV Centenario	-	X
7	Barrio La Salamanca	-	-
8	Puente Vehicular - Intersección calle La Paz	-	-
9	Complejo deportivo Barrio Villa Fátima	X	X
10	Hospital Obrero N° 7	-	X
11	Barrio Palmarcito	-	X

Fuente: Elaboración propia

Tabla 8.2 Áreas inundadas en zonas de exclusión y riesgo

Zona	Área Inundada (ha)
Exclusión	3,12
Riesgo	7,85

Fuente: Elaboración propia

8.6. ESTIMACIÓN DE DAÑOS POTENCIALES

La valoración de daños que se estimará, sólo se ocupa del aspecto económico, la valoración de los daños desde el punto de vista social y humano, no pueden valorarse de forma monetaria.

Sólo se considera dentro del aspecto económico, una parte de la afectación económica. Aspectos como los que se mencionan a continuación, donde invierten recursos, no se toman en cuenta dada la falta de registros estadísticos que evalúen cuantitativamente los costos ocasionados por las crecidas. No se han podido evaluar aspectos como: rescate de damnificados; atención a lesionados; prevención de enfermedades; rehabilitación de

servicios públicos; rehabilitación de vías, puentes, aeropuerto; improductividad transitoria de activos y de personal.

Se han considerado en la evaluación que aquí se presenta, daños importantes que seguramente son los que tienen mayor peso. Los daños que causada una inundación, por la crecida de un río, tanto a los terrenos como a las viviendas y equipamientos que están alrededor de la quebrada, se estiman partiendo de una cuantificación del valor total actual que ellos poseen.

8.7. PROPUESTA DE SOLUCIÓN

El estudio realizado en la Quebrada El Monte, desde el punto de vista de su comportamiento hidráulico, fue suficiente para permitir el esbozo de una solución al problema de las inundaciones.

La situación actual de la Quebrada El Monte es crítica, los problemas que presenta se los puede enumerar de la siguiente manera:

- Basura que aumenta día a día lo cual reduce el área de las secciones transversales de la quebrada
- El acelerado fenómeno erosivo característico de las cuencas de esta zona, porque la pérdida de la capa de suelo reduce el efecto típicamente retardador de la vegetación, contribuye al incremento de la parte de la lluvia que escurre así como a aumentar la velocidad de las corrientes.
- La complejidad del tránsito de las crecidas a través del cauce estudiado difícilmente puede aproximarse por métodos convencionales que suponen régimen permanente uniforme.

La solución para la quebrada El Monte, partió sobre la base de:

- Definir anchos para todas las secciones transversales.
- Calcular comportamiento por HEC-RAS para periodo de retorno 100 años.
- Determinar las nuevas cotas máximas del agua en cada sección.
- Comparar con los resultados anteriores para las condiciones actuales.

8.7.1. RESULTADOS

Los resultados obtenidos se ofrecen en forma de tablas y se ilustran con la imagen. La imagen muestra la línea de cotas máximas para la crecida de 100 años:

- En las condiciones actuales de la quebrada.
- Para el diseño que aquí se propone.

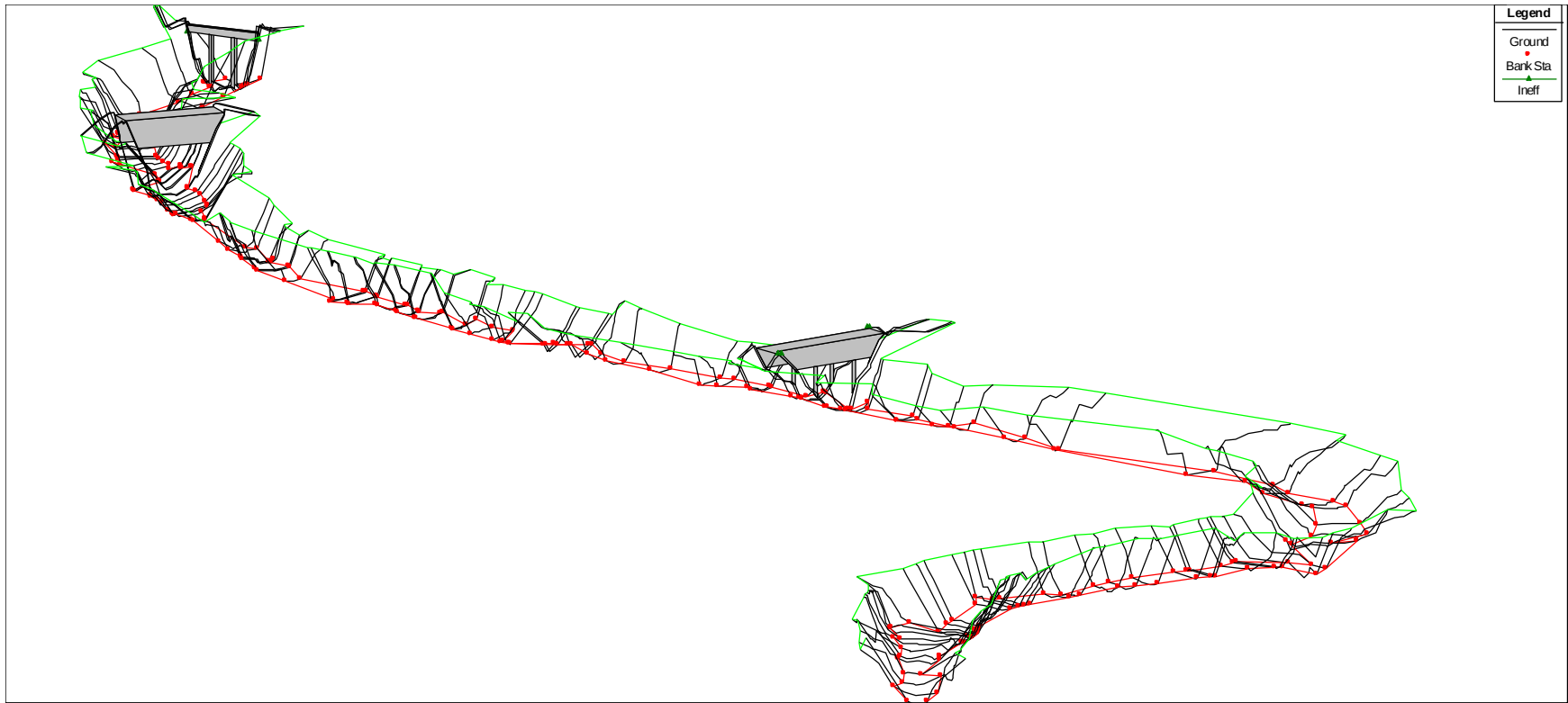


Figura 8.3. Situación actual de la quebrada El Monte en el tramo de estudio

Fuente: Elaboración propia

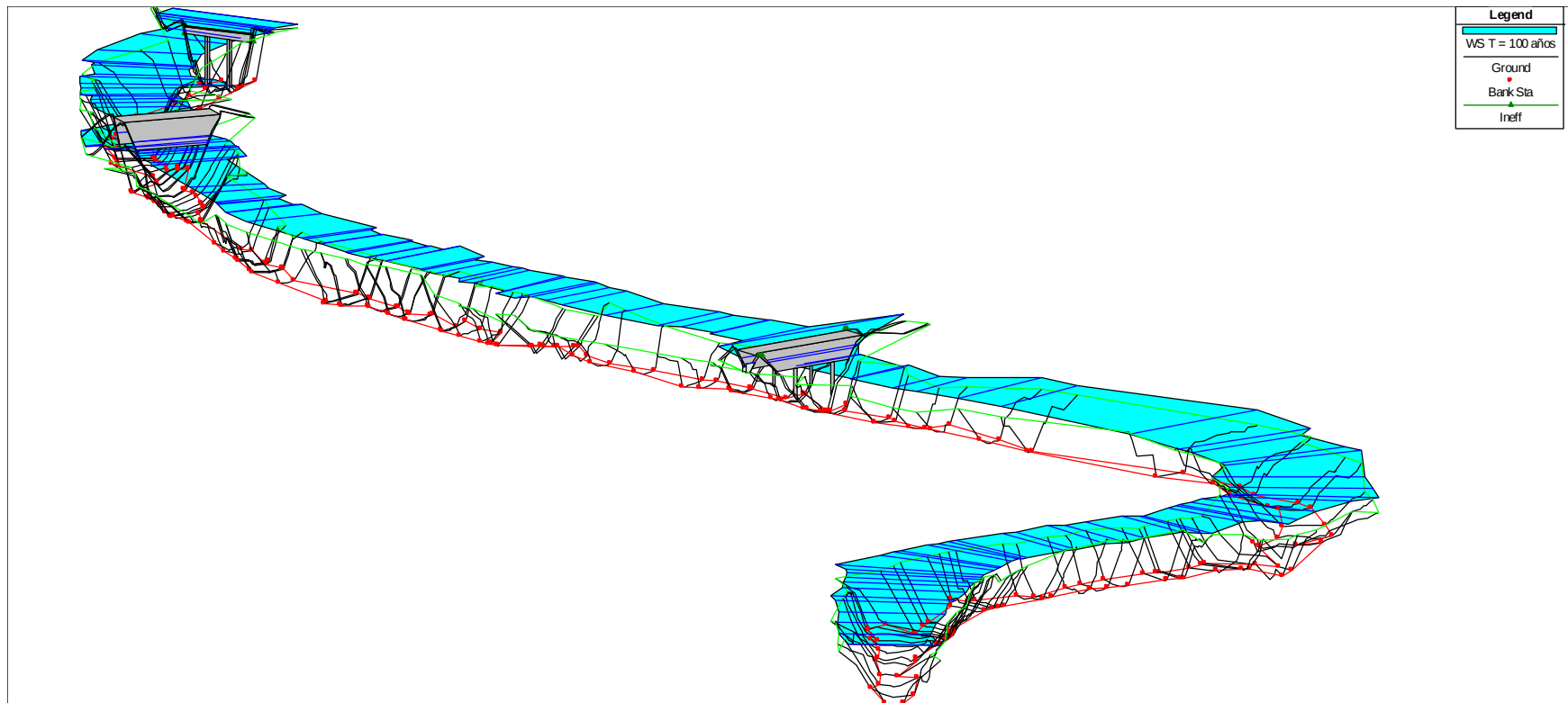


Figura 8.4. Situación actual con la avenida de 176.20 m³/s (T = 100 años), de la quebrada El Monte en el tramo de estudio

Fuente: Elaboración propia

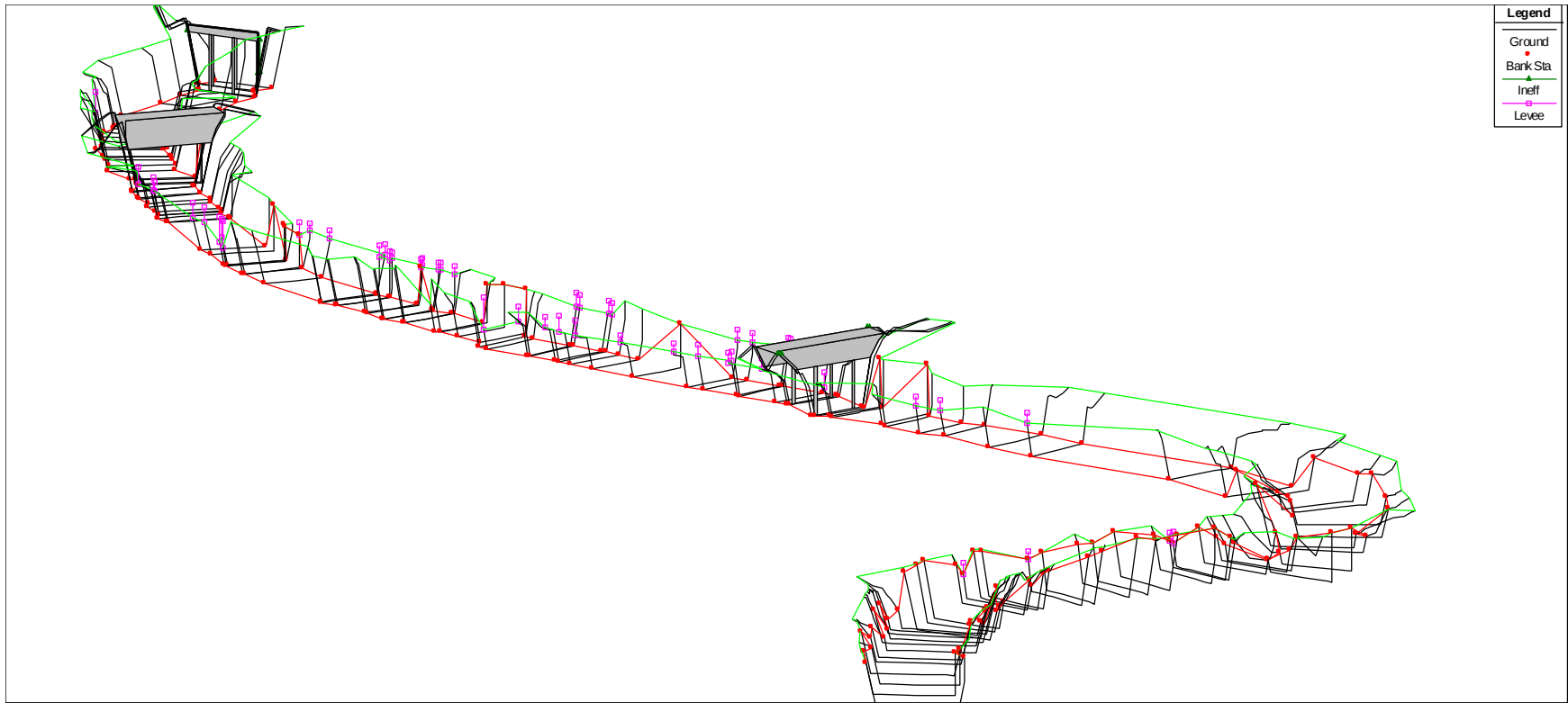


Figura 8.5. Situación con proyecto de la quebrada El Monte en el tramo de estudio

Fuente: Elaboración propia

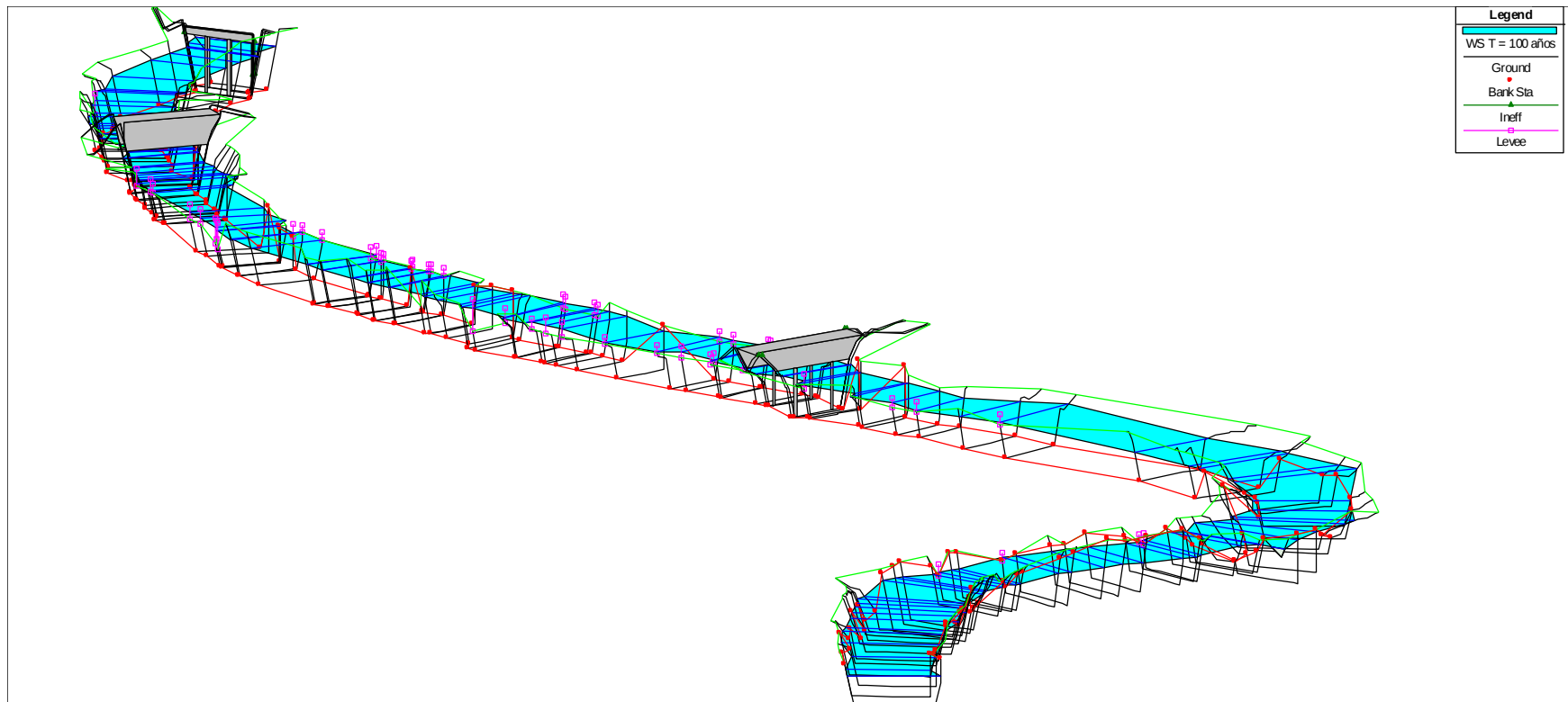


Figura 8.6. Situación con proyecto y la avenida de $176.20 \text{ m}^3/\text{s}$ ($T = 100$ años), de la quebrada El Monte en el tramo de estudio

Fuente: Elaboración propia

Tabla 8.3. Resultados de HEC-RAS en situación actual y ampliando las secciones transversales

River Sta	Plan	Q Total	Cota Mínima	Huella de avenida	Cota del tirante crítico	Calado	Crítico	E	Sf	V	A	Espejo	NF
		(m3/s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m2)	(m)	
136 0+000.0000	Actual	176.2	1861.49	1866.31	1864.17	4.82	2.68	1866.51	0.001281	2.21	108.06	44.53	0.33
1360+000.0000	Ampliada	176.2	1861.49	1864.58	1863.45	3.09	1.96	1864.94	0.001476	2.72	72.45	28.7	0.49
135 0+007.9090	Actual	176.2	1861.59	1866.3	1864.12	4.71	2.53	1866.5	0.001221	2.11	105.08	42.47	0.32
135 0+007.9090	Ampliada	176.2	1861.59	1864.52	1863.56	2.93	1.97	1864.93	0.001793	2.89	65.81	25.85	0.54
134.5		Bridge											
134 0+011.3105	Actual	176.2	1861.32	1866.13		4.81		1866.36	0.001581	2.38	92.61	36.62	0.36
134 0+011.3105	Ampliada	176.2	1861.32	1864.39		3.07		1864.75	0.001526	2.75	70.7	26.13	0.5
133 0+024.0095	Actual	176.2	1861.37	1866.12		4.75		1866.33	0.001402	2.31	95.27	27.19	0.34
133 0+024.0095	Ampliada	176.2	1861.37	1864.37		3		1864.73	0.001553	2.73	68.99	26	0.5
132 0+034.4307	Actual	176.2	1861.26	1866.1		4.84		1866.31	0.001528	2.44	97.72	30.14	0.36
132 0+034.4307	Ampliada	176.2	1861.26	1864.37		3.11		1864.71	0.001363	2.62	72.01	26.25	0.47
129 0+055.2327	Actual	176.2	1861.4	1866.09		4.69		1866.27	0.001374	2.29	103.61	32.89	0.34
129 0+055.2327	Ampliada	176.2	1861.4	1864.22		2.82		1864.66	0.002038	3	64.38	26.14	0.57
128 0+071.6687	Actual	176.2	1861.4	1866.05		4.65		1866.25	0.00156	2.42	102.8	35.13	0.36
128 0+071.6687	Ampliada	176.2	1861.4	1864.16		2.76		1864.62	0.002182	3.06	62.87	25.72	0.59

Sección transv.	Plan	Q Total	Cota Mínima	Huella de avenida	Cota del tirante crítico	Calado	Crítico	E	Sf	V	A	Espejo	NF
		(m3/s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m2)	(m)	
127 0+073.9237	Actual	176.2	1861.39	1866.04		4.65		1866.24	0.001601	2.45	98.04	31.03	0.37
127 0+073.9237	Ampliada	176.2	1861.39	1864.16		2.77		1864.62	0.002165	3.06	63.32	26.64	0.59
126 0+077.3927	Actual	176.2	1861.24	1866.04		4.8		1866.23	0.001306	2.22	101.37	30.58	0.33
126 0+077.3927	Ampliada	176.2	1861.24	1864.19		2.95		1864.59	0.001735	2.86	67.76	25.9	0.53
125 0+087.4777	Actual	176.2	1861.42	1865.98		4.56		1866.22	0.001597	2.39	93.18	29.92	0.36
125 0+087.4777	Ampliada	176.2	1861.42	1864.1	1863.38	2.68	1.96	1864.57	0.002318	3.1	60.31	24.42	0.6
124 0+093.2057	Actual	176.2	1861.42	1866.02		4.6		1866.18	0.001365	2.22	113.41	41.88	0.34
124 0+093.2057	Ampliada	176.2	1861.42	1864.02		2.6		1864.55	0.00266	3.25	59.18	26.1	0.64
123 0+101.8027	Actual	176.2	1861.43	1866.01		4.58		1866.17	0.001241	2.11	117.88	46.59	0.32
123 0+101.8027	Ampliada	176.2	1861.43	1863.97		2.54		1864.52	0.002913	3.35	57.16	25.07	0.67
122 0+105.3497	Actual	176.2	1861.45	1865.95		4.5		1866.16	0.000859	2.23	100.31	30.11	0.34
122 0+105.3497	Ampliada	176.2	1861.45	1863.92		2.47		1864.5	0.003188	3.44	55.51	24.94	0.7
121 0+115.5717	Actual	176.2	1861.5	1865.95		4.45		1866.15	0.000859	2.26	106.15	29.98	0.34
121 0+115.5717	Ampliada	176.2	1861.5	1863.89		2.39		1864.47	0.00337	3.46	54.39	26.59	0.71

Sección transv.	Plan	Q Total	Cota Mínima	Huella de avenida	Cota del tirante crítico	Calado	Crítico	E	Sf	V	A	Espejo	NF
		(m3/s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m2)	(m)	
120 0+116.7317	Actual	176.2	1861.5	1865.88		4.38		1866.14	0.001103	2.54	92.16	26.25	0.39
120 0+116.7317	Ampliada	176.2	1861.5	1863.84		2.34		1864.46	0.003643	3.55	52.38	24.69	0.74
119 0+120.0637	Actual	176.2	1861.46	1865.87		4.41		1866.13	0.001108	2.54	92.28	28.08	0.39
119 0+120.0637	Ampliada	176.2	1861.46	1863.77		2.31		1864.44	0.004002	3.69	51.55	24.62	0.77
118 0+126.5087	Actual	176.2	1861.38	1865.9		4.52		1866.11	0.000898	2.3	101.64	29.57	0.35
118 0+126.5087	Ampliada	176.2	1861.38	1863.78		2.4		1864.4	0.003509	3.54	53.91	25.29	0.73
117 0+133.9007	Actual	176.2	1861.3	1865.92		4.62		1866.1	0.00069	2.01	107.62	29.96	0.31
117 0+133.9007	Ampliada	176.2	1861.3	1863.79		2.49		1864.36	0.003105	3.41	56.01	25.11	0.69
115 0+143.3867	Actual	176.2	1861.23	1865.62		4.39		1866.06	0.002991	3.95	72.45	24.2	0.62
115 0+143.3867	Ampliada	176.2	1861.23	1863.77		2.54		1864.33	0.002923	3.36	54.53	23.2	0.67
114 0+144.1417	Actual	176.2	1861.22	1865.55		4.33		1866.05	0.002843	3.71	67.2	21.91	0.6
114 0+144.1417	Ampliada	176.2	1861.22	1863.48	1863.28	2.26	2.06	1864.3	0.005818	4.06	44.6	20.86	0.86
113 0+148.9367	Actual	176.2	1861.16	1865.56		4.4		1866.02	0.002756	3.71	70.03	22.71	0.59
113 0+148.9367	Ampliada	176.2	1861.16	1863.55		2.39		1864.24	0.004549	3.71	48.74	21.61	0.77

Sección transv.	Plan	Q Total	Cota Mínima	Huella de avenida	Cota del tirante crítico	Calado	Crítico	E	Sf	V	A	Espejo	NF
		(m3/s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m2)	(m)	
112 0+149.7167	Actual	176.2	1861.1	1865.6		4.5		1866	0.002406	3.48	75.74	25.05	0.56
112 0+149.7167	Ampliada	176.2	1861.1	1863.57		2.47		1864.22	0.004146	3.62	50.13	21.53	0.73
111 0+155.7969	Actual	176.2	1861.1	1865.73	1863.63	4.63	2.53	1865.93	0.000793	2.05	100.25	32.1	0.32
111 0+155.7969	Ampliada	176.2	1861.1	1863.61	1863.06	2.51	1.96	1864.17	0.003034	3.39	56.41	25.01	0.68
110.5		Bridge											
110 0+167.6021	Actual	176.2	1861.13	1865.23		4.1		1865.63	0.00182	3.04	75.88	31.35	0.49
110 0+167.6021	Ampliada	176.2	1861.13	1863.39		2.26		1864.09	0.004319	3.77	50.29	24.52	0.8
107 0+174.2495	Actual	176.2	1861.06	1865.26		4.2		1865.56	0.001526	2.81	88.47	30.7	0.45
107 0+174.2495	Ampliada	176.2	1861.06	1863.38		2.32		1864.04	0.003914	3.66	52.56	26.17	0.77
106 0+178.1995	Actual	176.2	1860.99	1865.35		4.36		1865.52	0.000836	2.13	116.7	40.46	0.33
106 0+178.1995	Ampliada	176.2	1860.99	1863.4		2.41		1864.01	0.003457	3.52	54.68	26.73	0.72
105 0+184.1645	Actual	176.2	1860.88	1865.31		4.43		1865.51	0.000975	2.34	105.21	32.79	0.36
105 0+184.1645	Ampliada	176.2	1860.88	1863.43		2.55		1863.97	0.002815	3.3	59.06	27.92	0.66
104 0+187.3005	Actual	176.2	1860.8	1865.34		4.54		1865.49	0.001409	1.99	107.97	33.02	0.31
104 0+187.3005	Ampliada	176.2	1860.8	1863.46		2.66		1863.95	0.00243	3.16	62.4	28.54	0.62

Sección transv.	Plan	Q Total	Cota Mínima	Huella de avenida	Cota del tirante crítico	Calado	Crítico	E	Sf	V	A	Espejo	NF
		(m3/s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m2)	(m)	
103 0+188.0205	Actual	176.2	1860.8	1865.34		4.54		1865.49	0.001334	1.95	110.44	33.42	0.3
103 0+188.0205	Ampliada	176.2	1860.8	1863.46		2.66		1863.94	0.002438	3.16	62.51	29.09	0.62
102 0+191.4055	Actual	176.2	1860.8	1865.35		4.55		1865.48	0.001269	1.92	114.11	33.36	0.29
102 0+191.4055	Ampliada	176.2	1860.8	1863.43	1862.76	2.63	1.96	1863.93	0.002543	3.2	62.32	32.66	0.63
101 0+199.4915	Actual	176.2	1860.9	1865.23		4.33		1865.45	0.002616	2.71	88.76	31.25	0.42
101 0+199.4915	Ampliada	176.2	1860.89	1863.25	1862.88	2.36	1.99	1863.9	0.003791	3.63	53.04	26.7	0.76
100 0+200.7865	Actual	176.2	1860.9	1865.14		4.24		1865.44	0.003404	3.05	75.94	24.41	0.47
100 0+200.7865	Ampliada	176.2	1860.9	1863.22	1862.88	2.32	1.98	1863.89	0.00395	3.67	49.88	24.41	0.77
95 0+235.2275	Actual	176.2	1860.48	1865.04		4.56		1865.33	0.002685	2.74	79.72	23.39	0.42
95 0+235.2275	Ampliada	176.2	1860.48	1863.29	1862.42	2.81	1.94	1863.72	0.002011	2.98	62.54	23.39	0.57
94 0+242.1795	Actual	176.2	1860.5	1864.98		4.48		1865.3	0.002934	2.87	75.39	21.81	0.44
94 0+242.1795	Ampliada	176.2	1860.5	1863.17	1862.51	2.67	2.01	1863.7	0.00306	3.26	55.64	21.81	0.64
93 0+255.1955	Actual	176.2	1860.4	1864.98		4.58		1865.25	0.002516	2.67	81.3	23.7	0.41
93 0+255.1955	Ampliada	176.2	1860.4	1863.21	1862.35	2.81	1.95	1863.63	0.001989	2.96	63.07	23.7	0.56

Sección transv.	Plan	Q Total	Cota Mínima	Huella de avenida	Cota del tirante crítico	Calado	Crítico	E	Sf	V	A	Espejo	NF
		(m3/s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m2)	(m)	
92 0+256.0915	Actual	176.2	1860.4	1864.89		4.49		1865.24	0.00299	2.87	72.91	20.55	0.44
92 0+256.0915	Ampliada	176.2	1860.4	1862.99	1862.48	2.59	2.08	1863.61	0.00381	3.55	51.04	20.55	0.71
91 0+257.1915	Actual	176.2	1860.4	1864.89		4.49		1865.24	0.003145	2.95	72.04	20.41	0.45
91 0+257.1915	Ampliada	176.2	1860.4	1863	1862.41	2.6	2.01	1863.6	0.003582	3.46	52.15	20.41	0.69
90 0+268.4955	Actual	176.2	1860.4	1864.93		4.53		1865.18	0.00213	2.48	84.48	23.37	0.38
90 0+268.4955	Ampliada	176.2	1860.4	1862.96	1862.43	2.56	2.03	1863.56	0.003655	3.47	52.29	21.7	0.69
89 0+269.5955	Actual	176.2	1860.4	1864.95		4.55		1865.17	0.001904	2.35	91.15	26.74	0.36
89 0+269.5955	Ampliada	176.2	1860.4	1863.04	1862.35	2.64	1.95	1863.52	0.002417	3.13	59.63	24.85	0.62
88 0+283.4035	Actual	176.2	1860.35	1864.9		4.55		1865.14	0.002357	2.65	86.97	26.62	0.4
88 0+283.4035	Ampliada	176.2	1860.35	1863.02	1862.31	2.67	1.96	1863.48	0.002331	3.1	60.41	25.06	0.6
85 0+310.8285	Actual	176.2	1860.18	1864.87		4.69		1865.07	0.001716	2.27	95.27	27.71	0.34
85 0+310.8285	Ampliada	176.2	1860.18	1862.97	1862.15	2.79	1.97	1863.42	0.002119	3.04	63.45	25.55	0.58
84 0+311.7115	Actual	176.2	1860.15	1864.83		4.68		1865.06	0.001864	2.36	87.99	24.16	0.35
84 0+311.7115	Ampliada	176.2	1860.15	1862.98	1862.1	2.83	1.95	1863.41	0.001997	2.98	62.41	23.61	0.57

Sección transv.	Plan	Q Total	Cota Mínima	Huella de avenida	Cota del tirante crítico	Calado	Crítico	E	Sf	V	A	Espejo	NF
		(m3/s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m2)	(m)	
83 0+318.0815	Actual	176.2	1860.2	1864.75		4.55		1865.05	0.002391	2.65	80.45	23.53	0.4
83 0+318.0815	Ampliada	176.2	1860.2	1862.9	1862.18	2.7	1.98	1863.39	0.002392	3.16	58.01	22.88	0.61
82 0+318.6885	Actual	176.2	1860.2	1864.75		4.55		1865.04	0.002376	2.64	81.14	24.04	0.4
82 0+318.6885	Ampliada	176.2	1860.2	1862.91	1862.15	2.71	1.95	1863.38	0.002323	3.12	59.39	23.39	0.61
81 0+332.0985	Actual	176.2	1860.23	1864.77		4.54		1865	0.001926	2.36	89.86	26.62	0.36
81 0+332.0985	Ampliada	176.2	1860.23	1862.87	1862.19	2.64	1.96	1863.35	0.002427	3.14	59.47	24.45	0.62
80 0+333.0165	Actual	176.2	1860.22	1864.74		4.52		1864.99	0.002115	2.46	86.09	25.54	0.38
80 0+333.0165	Ampliada	176.2	1860.22	1862.86	1862.16	2.64	1.94	1863.35	0.002756	3.12	58.12	23.41	0.61
79 0+340.7285	Actual	176.2	1860.13	1864.68		4.55		1864.97	0.002626	2.76	80.6	25.63	0.42
79 0+340.7285	Ampliada	176.2	1860.13	1862.88	1862.08	2.75	1.95	1863.32	0.002114	3.01	62.26	24.84	0.58
78 0+341.2515	Actual	176.2	1860.13	1864.68		4.55		1864.97	0.00261	2.75	81.46	26.41	0.42
78 0+341.2515	Ampliada	176.2	1860.13	1862.88	1862.08	2.75	1.95	1863.31	0.002108	3	62.48	25.49	0.58
77 0+348.2915	Actual	176.2	1860.1	1864.69		4.59		1864.94	0.002072	2.48	85.82	24.64	0.37
77 0+348.2915	Ampliada	176.2	1860.1	1862.82	1862.05	2.72	1.95	1863.3	0.002276	3.1	59.77	23.41	0.6

Sección transv.	Plan	Q Total	Cota Mínima	Huella de avenida	Cota del tirante crítico	Calado	Crítico	E	Sf	V	A	Espejo	NF
		(m3/s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m2)	(m)	
76 0+348.7705	Actual	176.2	1860.1	1864.72		4.62		1864.92	0.001697	2.25	98.03	30.99	0.34
76 0+348.7705	Ampliada	176.2	1860.1	1862.82		2.72		1863.29	0.002306	3.12	61.7	25.43	0.6
75 0+363.4715	Actual	176.2	1860	1864.64		4.64		1864.89	0.00239	2.7	85.96	27	0.4
75 0+363.4715	Ampliada	176.2	1860	1862.83		2.83		1863.24	0.001908	2.91	64.31	24.85	0.55
74 0+364.0355	Actual	176.2	1860	1864.58		4.58		1864.88	0.002542	2.73	78.51	22.8	0.41
74 0+364.0355	Ampliada	176.2	1860	1862.67		2.67		1863.23	0.003256	3.35	54.17	21.63	0.65
73 0+371.3535	Actual	176.2	1859.92	1864.61		4.69		1864.84	0.001966	2.45	88.93	24.82	0.36
73 0+371.3535	Ampliada	176.2	1859.92	1862.69		2.77		1863.19	0.002758	3.16	57.62	23.38	0.61
72 0+380.6425	Actual	176.2	1859.8	1864.55		4.75		1864.82	0.002292	2.62	83.69	24.09	0.39
72 0+380.6425	Ampliada	176.2	1859.8	1862.72		2.92		1863.14	0.002204	2.92	62.34	23.78	0.54
71 0+384.0465	Actual	176.2	1859.77	1864.57		4.8		1864.79	0.002692	2.94	86.02	27.58	0.43
71 0+384.0465	Ampliada	176.2	1859.77	1862.73		2.96		1863.13	0.001727	2.85	68.03	26.62	0.53
70 0+387.5625	Actual	176.2	1859.74	1864.55		4.81		1864.78	0.002741	2.92	84.18	25.78	0.43
70 0+387.5625	Ampliada	176.2	1859.74	1862.74	1861.68	3	1.94	1863.11	0.001573	2.75	68.14	25.59	0.51

Sección transv.	Plan	Q Total	Cota Mínima	Huella de avenida	Cota del tirante crítico	Calado	Crítico	E	Sf	V	A	Espejo	NF
		(m3/s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m2)	(m)	
69 0+402.1305	Actual	176.2	1859.7	1864.56		4.86		1864.74	0.001745	2.29	98.23	27.33	0.34
69 0+402.1305	Ampliada	176.2	1859.7	1862.71	1861.67	3.01	1.97	1863.09	0.001617	2.79	70.35	27.33	0.51
68 0+403.2345	Actual	176.2	1859.7	1864.58		4.88		1864.72	0.00148	2.11	108.39	32.41	0.31
68 0+403.2345	Ampliada	176.2	1859.7	1862.7	1861.67	3	1.97	1863.09	0.001627	2.8	70.92	30.08	0.52
67 0+413.6125	Actual	176.2	1859.66	1864.56		4.9		1864.71	0.001424	2.03	110.95	34.64	0.31
67 0+413.6125	Ampliada	176.2	1859.66	1862.7	1861.63	3.04	1.97	1863.07	0.001562	2.76	72.49	31.1	0.51
66 0+415.1115	Actual	176.2	1859.66	1864.52		4.86		1864.7	0.001744	2.23	98.72	28.65	0.34
66 0+415.1115	Ampliada	176.2	1859.66	1862.69	1861.63	3.03	1.97	1863.06	0.001564	2.76	71.89	28.65	0.51
65 0+420.6465	Actual	176.2	1859.64	1864.43		4.79		1864.68	0.002638	2.79	84.78	27.21	0.42
65 0+420.6465	Ampliada	176.2	1859.64	1862.71	1861.59	3.07	1.95	1863.04	0.001417	2.65	71.95	27.21	0.48
64 0+428.9085	Actual	176.2	1859.56	1864.46		4.9		1864.64	0.001526	2.22	101.82	28.44	0.32
64 0+428.9085	Ampliada	176.2	1859.56	1862.71	1861.51	3.15	1.95	1863.03	0.001318	2.6	74.49	28.44	0.47
63 0+446.7745	Actual	176.2	1859.6	1864.26		4.66		1864.59	0.002921	2.97	75.4	21.69	0.44
63 0+446.7745	Ampliada	176.2	1859.6	1862.3	1861.79	2.7	2.19	1862.96	0.003931	3.67	49.94	21.69	0.71

Sección transv.	Plan	Q Total	Cota Mínima	Huella de avenida	Cota del tirante crítico	Calado	Crítico	E	Sf	V	A	Espejo	NF
		(m3/s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m2)	(m)	
62 0+468.4295	Actual	176.2	1859.56	1864.28		4.72		1864.53	0.001113	2.64	98.19	28.5	0.39
62 0+468.4295	Ampliada	176.2	1859.56	1862.43	1861.51	2.87	1.95	1862.82	0.001793	2.85	66.99	28.5	0.54
61 0+473.8575	Actual	176.2	1859.56	1864.18		4.62		1864.51	0.001508	3.04	85.23	24.32	0.46
61 0+473.8575	Ampliada	176.2	1859.56	1862.4	1861.51	2.84	1.95	1862.81	0.001898	2.91	64.16	24.32	0.55
60 0+487.2765	Actual	176.2	1859.57	1864.22		4.65		1864.47	0.001137	2.61	94.83	26.15	0.39
60 0+487.2765	Ampliada	176.2	1859.57	1862.3	1861.55	2.73	1.98	1862.77	0.002268	3.1	62.27	26.15	0.6
59 0+488.2545	Actual	176.2	1859.57	1864.24		4.67		1864.46	0.001022	2.49	101.49	28.47	0.37
59 0+488.2545	Ampliada	176.2	1859.57	1862.3	1861.55	2.73	1.98	1862.77	0.002267	3.1	63.15	28.47	0.6
58 0+502.8195	Actual	176.2	1859.54	1864.23		4.69		1864.44	0.001122	2.66	103.96	28.73	0.39
58 0+502.8195	Ampliada	176.2	1859.54	1862.27	1861.51	2.73	1.97	1862.74	0.002257	3.09	63.57	28.73	0.6
57 0+507.0570	Actual	176.2	1859.49	1864.27	1862.47	4.78	2.98	1864.41	0.000706	2.11	153.75	75.11	0.31
57 0+507.0570	Ampliada	176.2	1859.49	1862.28	1861.47	2.79	1.98	1862.71	0.002039	2.99	68.84	36.23	0.57
56.5		Bridge											
56 0+518.8622	Actual	176.2	1859.02	1863.4	1862.08	4.38	3.06	1863.7	0.001529	2.91	92.58	41.25	0.45
56 0+518.8622	Ampliada	176.2	1859.02	1862.04	1860.99	3.02	1.97	1862.42	0.001602	2.79	70.21	27.48	0.51

Sección transv.	Plan	Q Total	Cota Mínima	Huella de avenida	Cota del tirante crítico	Calado	Crítico	E	Sf	V	A	Espejo	NF
		(m3/s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m2)	(m)	
55 0+524.6799	Actual	176.2	1859.2	1863.08		3.88		1863.61	0.002726	3.57	64.08	22.02	0.59
55 0+524.6799	Ampliada	176.2	1859.2	1861.85	1861.18	2.65	1.98	1862.36	0.003023	3.23	56.12	22.02	0.63
54 0+526.6419	Actual	176.2	1859.25	1863.16		3.91		1863.56	0.00236	3.37	75.16	26.33	0.55
54 0+526.6419	Ampliada	176.2	1859.25	1861.83		2.58		1862.36	0.002739	3.28	56.82	26.33	0.65
53 0+544.2439	Actual	176.2	1859.28	1862.73		3.45		1863.47	0.005008	4.57	56.49	23.85	0.79
53 0+544.2439	Ampliada	176.2	1859.28	1861.57		2.29		1862.28	0.004847	3.75	48.17	22.14	0.79
52 0+546.7599	Actual	176.2	1859.24	1862.96		3.72		1863.36	0.002441	3.31	74.9	27.01	0.56
52 0+546.7599	Ampliada	176.2	1859.24	1861.64		2.4		1862.23	0.003444	3.5	53.77	26.81	0.72
51 0+560.1819	Actual	176.2	1859.2	1862.56		3.36		1863.28	0.005268	4.5	55.84	22.52	0.8
51 0+560.1819	Ampliada	176.2	1859.2	1861.5	1861.15	2.3	1.95	1862.18	0.004067	3.7	49.63	22.52	0.78
50 0+568.4539	Actual	176.2	1859.2	1862.54		3.34		1863.23	0.00486	4.21	57.7	25.67	0.76
50 0+568.4539	Ampliada	176.2	1859.2	1861.17	1861.17	1.97	1.97	1862.11	0.006854	4.34	43.33	23.95	0.99
48 0+587.9819	Actual	176.2	1859.05	1862.76		3.71		1863.01	0.003252	2.67	88.04	40.87	0.45
48 0+587.9819	Ampliada	176.2	1859.05	1861.43	1860.75	2.38	1.7	1861.84	0.002344	2.88	65.2	29.76	0.6

Sección transv.	Plan	Q Total	Cota Mínima	Huella de avenida	Cota del tirante crítico	Calado	Crítico	E	Sf	V	A	Espejo	NF
		(m3/s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m2)	(m)	
46 0+603.3409	Actual	176.2	1858.88	1862.62		3.74		1862.94	0.005506	3.56	75.79	38.68	0.59
46 0+603.3409	Ampliada	176.2	1858.88	1861.46	1860.58	2.58	1.7	1861.79	0.001718	2.6	71.75	34.4	0.52
43 0+660.4309	Actual	176.2	1859	1862.45		3.45		1862.66	0.002966	2.45	99.12	52.66	0.43
43 0+660.4309	Ampliada	176.2	1859	1861.07		2.07		1861.62	0.003801	3.34	55.99	30.6	0.74
42 0+688.9319	Actual	176.2	1858.73	1862.39		3.66		1862.56	0.002618	2.24	104.12	51.6	0.4
42 0+688.9319	Ampliada	176.2	1858.73	1861.07		2.34		1861.5	0.002508	2.94	64.73	35.91	0.61
41 0+693.7539	Actual	176.2	1858.62	1862.34		3.72		1862.54	0.002722	2.44	94.98	42.48	0.41
41 0+693.7539	Ampliada	176.2	1858.62	1861.13		2.51		1861.46	0.002037	2.55	70	34.72	0.53
40 0+713.7009	Actual	176.2	1858.64	1862.34		3.7		1862.48	0.001733	1.95	113.14	45.35	0.33
40 0+713.7009	Ampliada	176.2	1858.64	1861.07		2.43		1861.42	0.002111	2.62	71.8	40.39	0.55
39 0+719.3299	Actual	176.2	1858.64	1862.34		3.7		1862.47	0.001653	1.91	116.46	47.2	0.32
39 0+719.3299	Ampliada	176.2	1858.64	1861.06		2.42		1861.4	0.002128	2.62	73.05	42.45	0.55
38 0+746.0379	Actual	176.2	1858.8	1862.24		3.44		1862.41	0.002262	2.15	104.12	46.85	0.37
38 0+746.0379	Ampliada	176.2	1858.8	1860.57	1860.47	1.77	1.67	1861.27	0.006737	3.73	47.43	30.06	0.92

Sección transv.	Plan	Q Total	Cota Mínima	Huella de avenida	Cota del tirante crítico	Calado	Crítico	E	Sf	V	A	Espejo	NF
		(m3/s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m2)	(m)	
37 0+761.1789	Actual	176.2	1858.63	1862.21		3.58		1862.38	0.001989	2.03	105.24	43.96	0.35
37 0+761.1789	Ampliada	176.2	1858.63	1860.57		1.94		1861.15	0.00483	3.37	52.77	30.46	0.79
36 0+774.4209	Actual	176.2	1858.5	1862.21		3.71		1862.35	0.001783	1.93	113.56	46.57	0.33
36 0+774.4209	Ampliada	176.2	1858.5	1860.59		2.09		1861.06	0.003558	3.06	61.6	38.32	0.69
35 0+778.9369	Actual	176.2	1858.44	1862.19		3.75		1862.33	0.00166	1.81	110.04	40.83	0.32
35 0+778.9369	Ampliada	176.2	1858.44	1860.59		2.15		1861.04	0.003185	3.02	61.68	34.93	0.66
34 0+790.1279	Actual	176.2	1857.85	1862.19		4.34		1862.31	0.001326	1.91	119.54	39.57	0.3
34 0+790.1279	Ampliada	176.2	1857.85	1860.7		2.85		1860.96	0.001486	2.37	84.14	36.02	0.45
33 0+798.7259	Actual	176.2	1857.71	1862.21		4.5		1862.29	0.000838	1.45	140.89	42.35	0.23
33 0+798.7259	Ampliada	176.2	1857.71	1860.74		3.03		1860.93	0.001016	2.04	101.78	40.63	0.37
32 0+803.7839	Actual	176.2	1858.34	1862.18		3.84		1862.29	0.001116	1.62	128.95	44.23	0.27
32 0+803.7839	Ampliada	176.2	1858.34	1860.35	1860.02	2.01	1.68	1860.88	0.004276	3.26	55.11	36.79	0.75
31 0+805.0369	Actual	176.2	1858.31	1862.13		3.82		1862.28	0.001528	1.89	106.84	33.67	0.31
31 0+805.0369	Ampliada	176.2	1858.31	1860.35		2.04		1860.87	0.003989	3.2	55.64	30.48	0.73

Sección transv.	Plan	Q Total	Cota Mínima	Huella de avenida	Cota del tirante crítico	Calado	Crítico	E	Sf	V	A	Espejo	NF
		(m3/s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m2)	(m)	
30 0+809.2879	Actual	176.2	1858.22	1862.09		3.87		1862.27	0.001858	2.1	98.76	31.66	0.34
30 0+809.2879	Ampliada	176.2	1858.22	1860.38		2.16		1860.84	0.003316	3.01	59.66	30.47	0.67
28 0+821.6609	Actual	176.2	1858.27	1861.93		3.66		1862.22	0.00334	2.72	80.15	33.63	0.46
28 0+821.6609	Ampliada	176.2	1858.27	1860.15	1859.95	1.88	1.68	1860.77	0.005488	3.48	50.6	28.49	0.83
27 0+822.9139	Actual	176.2	1858.28	1861.89		3.61		1862.22	0.003701	2.84	76.38	31.35	0.48
27 0+822.9139	Ampliada	176.2	1858.28	1860.06	1859.97	1.78	1.69	1860.76	0.00662	3.69	47.71	28.54	0.91
26 0+827.7079	Actual	176.2	1858.2	1861.91		3.71		1862.18	0.003129	2.64	80.7	30.64	0.44
26 0+827.7079	Ampliada	176.2	1858.2	1860.09		1.89		1860.7	0.005453	3.47	50.71	28.54	0.83
25 0+841.1319	Actual	176.2	1858	1861.86		3.86		1862.14	0.00295	2.63	80.74	30.48	0.43
25 0+841.1319	Ampliada	176.2	1858	1860.13		2.13		1860.6	0.003679	3.06	57.64	29.25	0.7
24 0+848.6369	Actual	176.2	1857.87	1861.85		3.98		1862.12	0.002617	2.51	83.48	30.88	0.41
24 0+848.6369	Ampliada	176.2	1857.87	1860.15		2.28		1860.56	0.002929	2.84	62.06	29.55	0.63
23 0+854.7509	Actual	176.2	1857.84	1861.87		4.03		1862.08	0.002104	2.27	92.38	31.99	0.37
23 0+854.7509	Ampliada	176.2	1857.84	1860.13		2.29		1860.54	0.002856	2.82	62.57	29.59	0.62

Sección transv.	Plan	Q Total	Cota Mínima	Huella de avenida	Cota del tirante crítico	Calado	Crítico	E	Sf	V	A	Espejo	NF
		(m3/s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m2)	(m)	
22 0+867.3759	Actual	176.2	1857.73	1861.83		4.1		1862.06	0.002367	2.43	90.06	32.27	0.39
22 0+867.3759	Ampliada	176.2	1857.73	1860.12		2.39		1860.49	0.002471	2.69	65.59	29.79	0.58
21 0+871.5909	Actual	176.2	1857.69	1861.83		4.14		1862.04	0.002045	2.27	93.63	32.61	0.36
21 0+871.5909	Ampliada	176.2	1857.69	1860.12	1859.38	2.43	1.69	1860.48	0.002336	2.64	66.69	29.57	0.56
20 0+887.6959	Actual	176.2	1857.88	1861.82		3.94		1862	0.001821	2.11	99.63	33.94	0.34
20 0+887.6959	Ampliada	176.2	1857.88	1859.83		1.95		1860.4	0.004867	3.35	52.67	28.91	0.79
19 0+890.1949	Actual	176.2	1857.87	1861.82		3.95		1862	0.001763	2.08	100.82	33.85	0.34
19 0+890.1949	Ampliada	176.2	1857.87	1859.82		1.95		1860.39	0.004899	3.35	52.56	28.9	0.79
18 0+893.0739	Actual	176.2	1857.87	1861.82		3.95		1861.99	0.001633	1.97	102.76	34.09	0.32
18 0+893.0739	Ampliada	176.2	1857.87	1859.77		1.9		1860.38	0.00528	3.45	51.14	28.76	0.82
17 0+896.7029	Actual	176.2	1857.77	1861.82		4.05		1861.98	0.001606	2.01	104.91	35.17	0.32
17 0+896.7029	Ampliada	176.2	1857.77	1859.82		2.05		1860.33	0.004167	3.18	55.37	29.09	0.74
16 0+907.1899	Actual	176.2	1857.05	1861.84		4.79		1861.95	0.000982	1.76	128.25	39.67	0.26
16 0+907.1899	Ampliada	176.2	1857.05	1859.99		2.94		1860.23	0.001184	2.15	83.27	33.18	0.41

Sección transv.	Plan	Q Total	Cota Mínima	Huella de avenida	Cota del tirante crítico	Calado	Crítico	E	Sf	V	A	Espejo	NF
		(m3/s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m2)	(m)	
15 0+909.7149	Actual	176.2	1856.89	1861.85		4.96		1861.95	0.000862	1.69	134.53	40.51	0.24
15 0+909.7149	Ampliada	176.2	1856.89	1860.01		3.12		1860.22	0.000967	2.02	89.06	33.75	0.38
14 0+914.5269	Actual	176.2	1856.57	1861.85		5.28		1861.94	0.000668	1.56	143.82	39.37	0.22
14 0+914.5269	Ampliada	176.2	1856.57	1860.04		3.47		1860.2	0.000676	1.79	100.29	34.52	0.32
12 0+927.7019	Actual	176.2	1857.49	1861.83		4.34		1861.93	0.000862	1.51	137.05	45.35	0.24
12 0+927.7019	Ampliada	176.2	1857.49	1859.73		2.24		1860.16	0.00293	2.89	62.22	31.76	0.63
11 0+930.9999	Actual	176.2	1857.49	1861.83		4.34		1861.93	0.000801	1.46	135.18	40.23	0.23
11 0+930.9999	Ampliada	176.2	1857.49	1859.71		2.22		1860.15	0.002876	2.96	62.29	31.89	0.64
10 0+935.3359	Actual	176.2	1857.49	1861.82		4.33		1861.92	0.000845	1.51	130.08	37.94	0.24
10 0+935.3359	Ampliada	176.2	1857.49	1859.69		2.2		1860.13	0.003109	2.97	60.45	30.38	0.65
9 0+940.9349	Actual	176.2	1857.42	1861.8		4.38		1861.92	0.000944	1.61	124.6	35.94	0.25
9 0+940.9349	Ampliada	176.2	1857.42	1859.7		2.28		1860.11	0.002757	2.86	63.62	30.92	0.62
8 0+947.1009	Actual	176.2	1857.43	1861.79		4.36		1861.91	0.001018	1.65	121.19	34.98	0.26
8 0+947.1009	Ampliada	176.2	1857.43	1859.66		2.23		1860.09	0.003159	2.91	60.56	29.45	0.65

Sección transv.	Plan	Q Total	Cota Mínima	Huella de avenida	Cota del tirante crítico	Calado	Crítico	E	Sf	V	A	Espejo	NF
		(m3/s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m2)	(m)	
7 0+955.7979	Actual	176.2	1857.36	1861.78		4.42		1861.9	0.001075	1.69	120.18	35.69	0.26
7 0+955.7979	Ampliada	176.2	1857.36	1859.65		2.29		1860.05	0.002701	2.83	64.2	31.37	0.61
6 0+967.6619	Actual	176.2	1857.38	1861.76		4.38		1861.89	0.001189	1.81	120.49	38.3	0.28
6 0+967.6619	Ampliada	176.2	1857.38	1859.56		2.18		1860.01	0.003352	2.97	59.34	30.37	0.67
5 0+973.2509	Actual	176.2	1857.34	1861.74		4.4		1861.88	0.001286	1.88	113.7	34.05	0.29
5 0+973.2509	Ampliada	176.2	1857.34	1859.55		2.21		1859.99	0.003124	2.93	60.62	30.82	0.65
4 0+988.3549	Actual	176.2	1857.26	1861.69		4.43		1861.85	0.001704	2.2	103.83	32.89	0.34
4 0+988.3549	Ampliada	176.2	1857.26	1859.52		2.26		1859.94	0.002908	2.87	61.85	30.62	0.63
3 1+002.4979	Actual	176.2	1857.21	1861.65		4.44		1861.83	0.001665	2.13	101.02	30.29	0.33
3 1+002.4979	Ampliada	176.2	1857.21	1859.25		2.04		1859.87	0.005127	3.48	50.62	25.86	0.79
2 1+017.5789	Actual	176.2	1857.19	1861.58		4.39		1861.8	0.001944	2.3	91.57	28.38	0.36
2 1+017.5789	Ampliada	176.2	1857.19	1859.07	1858.91	1.88	1.72	1859.77	0.006325	3.7	47.62	26.21	0.88
1 1+029.2379	Actual	176.2	1857.08	1861.39	1860.48	4.31	3.4	1861.75	0.004002	3.3	73.08	28.62	0.51
1 1+029.2379	Ampliada	176.2	1857.08	1859.15	1858.75	2.07	1.67	1859.66	0.004	3.15	55.98	28.72	0.72

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO 9

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

9.1. CONCLUSIONES:

1. Los gaviones que existen en la quebrada El Monte en el tramo de estudio son simplemente de protección de ladera, por lo que resulta insuficientes para el riesgo de inundación existente en la zona.
2. La ocupación del cauce de avenida con construcciones y viviendas resulta un importante agravante del peligro de inundación latente sobre la ciudad. El agua alcanza niveles propios de crecidas de rara ocurrencia con caudales que no parecen serlo.
3. El acelerado proceso erosivo constituye un factor importante que agrava el peligro de la inundación en la quebrada El Monte en el tramo de estudio; puesto que la pérdida de la capa de suelo reduce el efecto típicamente retardador de la vegetación, contribuyendo al incremento de parte la lluvia que escurre así como aumentar la velocidad de las corrientes.
4. Los desastres ocurridos, producto de las inundaciones han sido motivo de preocupación de las autoridades gubernamentales, sin embargo no se han encontrado evaluaciones económicas de los daños ocasionados.
5. Como consecuencia del propio estudio realizado para distintos periodo de retorno se pudo realizar criterios fundamentales para definir la extensión de dos zonas con diferente nivel de peligro de inundación: la zona de Exclusión como la que con mayor frecuencia se encuentra expuesta a estos peligros y la zona de Riesgo, de retorno de 10 años para definir la primera y el de 200 años para la segunda. Esta diferenciación tiene consecuencias prácticas positivas desde el punto legal y económico porque facilita la implementación de medidas de mitigación y prevención de forma gradual.

6. Se ha podido llegar a precisar:

Zonas de Exclusión:

- Complejo deportivo Barrio Villa Fátima

Zonas de Riesgo:

- Puente Peatonal Oscar Zamora Medinaceli
- Barrio 14 viviendas
- Puente Vehicular - Unión al Barrio La Salamanca
- Cancha Auxiliar IV Centenario
- Viviendas en la cuadra del Estadio IV Centenario
- Complejo deportivo Barrio Villa Fátima
- Hospital Obrero N° 7
- Barrio Palmarcito.

7. Es necesario tomar en cuenta para el futuro de la ciudad, las zonas de Exclusión (no se debe construir) y de las zonas de riesgo (tener cuidado).
8. Se propone como solución al problema de inundación la ampliación de las secciones transversales de la quebrada El Monte en el tramo de estudio.

9.2. RECOMENDACIONES:

1. Orientar a la población mediante campañas de concientización sobre la importancia de evitar el vertido de desechos sólidos u otras sustancias contaminantes a la quebrada El Monte en el tramo de estudio.
2. Implementar un adecuado uso y manejo de los suelos, orientado a prevenir los efectos de la erosión hídrica y controlar el volumen y velocidad del agua de escorrentía, unidos a campañas de reforestación de las riberas de los ríos con bosques de galería para el control de las corrientes.
3. Establecimiento de obras hidráulicas en aquellos puntos críticos que presentan problemas de drenajes, con el fin de darles solución a la problemática de la accesibilidad a algunas áreas productivas del municipio y de tránsito poblacional.