



Universidad de Caldas

**LUIS ARTURO GÓMEZ TOBÓN**  
INGENIERIA CIVIL - AMBIENTAL E HIDRÁULICA



**IMPLEMENTACIÓN DE HERRAMIENTAS DE SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA  
PARA LA CARACTERIZACIÓN DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS Y EL ANÁLISIS DE AMENAZA POR  
INUNDACIÓN**

**LUIS ARTURO GÓMEZ TOBÓN**  
INGENIERIA CIVIL - AMBIENTAL E HIDRÁULICA



Universidad de Caldas

**MANUELA ALVAREZ RINCÓN**

**PROGRAMA DE GEOLOGÍA**

**FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES**

**UNIVERSIDAD DE CALDAS**

**MANIZALES**

**2022**



Universidad de Caldas

**LUIS ARTURO GÓMEZ TOBÓN**  
INGENIERIA CIVIL - AMBIENTAL E HIDRÁULICA



**MANUELA ALVAREZ RINCÓN**

**Informe Práctica Académica realizada en la empresa AGT Ingeniería Civil – Ambiental e Hidráulica. Trabajo de grado modalidad pasantía como prerrequisito para optar por el título de Geóloga.**

**Asesor Universidad de Caldas**

**Diego Alberto Arango Arcila**



Universidad de Caldas

**PROGRAMA DE GEOLOGÍA**

**FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES**

**UNIVERSIDAD DE CALDAS**

**MANIZALES**

**2022**



Universidad de Caldas

**LUIS ARTURO GÓMEZ TOBÓN**  
INGENIERIA CIVIL - AMBIENTAL E HIDRÁULICA



NOTA DE APROBACIÓN

**APROBADO**

---

---

**Diego Alberto Arango Arcila**

**Asesor de práctica**

**Universidad de Caldas**

**Manizales, enero 2022.**



Universidad de Caldas

**LUIS ARTURO GÓMEZ TOBÓN**  
INGENIERIA CIVIL - AMBIENTAL E HIDRÁULICA



### **Agradecimientos**

A mis padres, por su esfuerzo constante y apoyo, este título es de ustedes.

Al Ingeniero Sebastián Gómez por darme la oportunidad de aprender junto a él durante éstos tres años, por ayudarme a encontrar el camino profesional que quiero desempeñar.

A Gaia, el amor más grande de mi vida que me acompañó durante 9 años y que siempre será esa lucecita y ese aliento que necesito cuando no todo va tan bien.

A mi abuela que siempre estaba preguntando como iba, y que, pues no podrá presenciar en cuerpo este logro, pero sé que su alma está acá conmigo.

A la Universidad de Caldas y profesores por compartir sus conocimientos y a mis compañeros por las valiosas vivencias que quedan en el recuerdo.

Al profesor Diego Arango por su asesoría en este capítulo final.



Universidad de Caldas

**LUIS ARTURO GÓMEZ TOBÓN**  
INGENIERIA CIVIL - AMBIENTAL E HIDRÁULICA



## Tabla de contenido

1	INTRODUCCIÓN.....	13
2	JUSTIFICACIÓN .....	13
3	METODOLOGÍA .....	14
4	OBJETIVOS.....	16
4.1	Objetivo General.....	16
4.2	Objetivos específicos.....	16
5	MARCO TEÓRICO.....	17
5.1	Datos Geográficos:.....	17
5.1.1	Componente espacial (localización): .....	17
5.1.2	Componente temático (atributo): .....	17
5.1.3	Componente temporal (tiempo): .....	17
5.2	Sistemas de información geográfica (SIG): .....	17
5.2.1	Modelos de datos: .....	18
5.3	Modelos Digitales de Terreno:.....	19
5.3.1	Variables topográficas .....	20
5.3.2	Cuenca Hidrográfica.....	20
5.3.3	Caracterización Morfométrica de una Cuenca Hidrográfica .....	21
5.4	Metodología Corine Land Cover .....	21
5.5	Metodología del Número de Curva (NC) .....	23



Universidad de Caldas

**LUIS ARTURO GÓMEZ TOBÓN**  
INGENIERIA CIVIL - AMBIENTAL E HIDRÁULICA



5.6	Tiempo de Concentración:.....	24
5.6.1	Témez:.....	25
5.6.2	Williams .....	25
5.6.3	Kirpich .....	25
5.6.4	California Culverts Practice .....	25
5.6.5	Giandotti .....	26
5.6.6	Ecuación de retardo SCS (1973).....	26
5.6.7	Ventura-Heras.....	26
5.6.8	Bransby-Williams .....	27
5.6.9	Passini .....	27
5.6.10	Federal Aviation Administration.....	27
5.7	Escorrentía .....	28
6	DESARROLLO.....	29
6.1	Localización del área de estudio .....	29
6.2	Procesamiento del modelo de elevación digital (MED).....	30
6.3	Parámetros morfométricos de la cuenca:.....	32
6.3.1	Coberturas y Usos de suelo, Corine Land Cover 2010-2012.....	33
6.3.2	Coeficiente de Escorrentía “C” y Coeficiente de Rugosidad de la cuenca “n” .....	35
6.3.3	Coeficiente de rugosidad de Manning “n” .....	36
6.3.4	Cálculo de Tiempo de Concentración:.....	39



Universidad de Caldas

**LUIS ARTURO GÓMEZ TOBÓN**  
INGENIERIA CIVIL - AMBIENTAL E HIDRÁULICA



6.4	Meteorología.....	40
6.4.1	Estaciones meteorológicas .....	40
6.4.2	Curvas Intensidad, Duración, Frecuencia (IDF).....	43
6.4.3	Lluvia de Diseño .....	45
6.5	Cálculo de caudales.....	47
6.5.1	Método Racional.....	47
6.5.2	Teoría del Hidrograma Unitario Triangular.....	49
6.5.3	Método de Burkli-Ziegler .....	51
6.5.4	Diagrama Unitario sintético del SCS .....	51
6.6	Cálculos y Resultados .....	52
6.7	Hidráulica .....	55
6.7.1	Punto 01-SI12-32.7 .....	55
7	CONCLUSIONES.....	78
8	RECOMENDACIONES.....	79
9	BIBLIOGRAFIA.....	80



Universidad de Caldas

**LUIS ARTURO GÓMEZ TOBÓN**  
INGENIERIA CIVIL - AMBIENTAL E HIDRÁULICA



## Lista de Figuras

Figura 1. Representación de pixel de un modelo raster. ....	18
Figura 2. Representación de modelos de datos vectoriales. ....	19
Figura 3. Modelo general de la metodología Corine Land Cover (CLC) .....	22
Figura 4. Mapa de localización de la cuenca del Río Timaná.....	29
Figura 5. Modelo de Elevación digital de la cuenca del Río Timaná.....	31
Figura 6. Principales características geomorfométricas para la cuenca del Río Timaná. ....	32
Figura 7. Mapa de coberturas y usos del suelo para el área de estudio. ....	34
Figura 8. Análisis de Frecuencias de la cobertura en el área de la cuenca.....	35
Figura 10. A: Coeficientes de escorrentía ponderados para un periodo de retorno ( $T_r$ ) de 2 años; B: Coeficientes de escorrentía ponderados para un periodo de retorno ( $T_r$ ) de 50 años; C: Coeficientes de escorrentía ponderados para un periodo de retorno ( $T_r$ ) de 100 años. ....	38
Figura 10. Resultados del cálculo del tiempo de concentración ( $T_c$ ). ....	40
Figura 11. Análisis de estaciones Meteorológicas y Polígonos de Thiessen.....	42
Figura 12. Curvas IDF estación Sevilla (Pitalito). (IDEAM,2016) .....	43
Figura 13. Curvas IDF estación Altamira el Grifo (Altamira). (IDEAM,2016).....	44
Figura 14. Lluvias de diseño SCS, $T_r$ 2 años.....	45
Figura 15. Lluvias de diseño SCS, $T_r$ 50 años.....	46
Figura 16. Lluvias de diseño SCS. $T_r$ 100 años.....	46
Figura 17. Localización Punto 01-SI12-32.7 correspondiente a la modelación hidráulica. ....	55
Figura 18. Evidencia de pérdida de banca producto de la socavación lateral dada por el río Timaná, en la vía que comunica el municipio de Timaná con Altamira.....	56
Figura 19. Topografía punto 01-SI12-32.7 .....	57



Universidad de Caldas

**LUIS ARTURO GÓMEZ TOBÓN**  
INGENIERIA CIVIL - AMBIENTAL E HIDRÁULICA



Figura 20. TIN y Geometría modelo HEC-RAS 5.0. .... 59

Figura 21. Planimetría del modelo hidráulico..... 61

Figura 22. Riesgo de fallo para diferentes periodos de retorno y tiempos de duración. .... 63

Figura 23. Sección transversal 180.6523, al lado izquierdo se observa la vista en planta, y al lado derecho el perfil del río en dicha sección. .... 65

Figura 24. Perfil longitudinal del cauce en el punto 01. .... 67

Figura 25. Perfil de velocidad para el tramo del río Timaná y sus diferentes periodos de retorno.  
..... 68

Figura 26. Resultado de modelación de velocidad, vista en planta para un Tr 2 años..... 69

Figura 27. Resultado de modelación de velocidad, vista en planta para un Tr 50 años ..... 69

Figura 28. Resultado de modelación de velocidad, vista en planta para un Tr 100 años ..... 70

Figura 29. Perfil de energía para el punto 1. .... 71

Figura 30. Resultado de energía vista en planta para un Tr 2 años..... 71

Figura 31. Resultado de energía vista en planta para un Tr 50 años..... 72

Figura 32. Resultado de energía vista en planta para un Tr 100 años..... 72

Figura 33. Perfil de esfuerzo cortante en los diferentes periodos de retorno en la zona de estudio. .... 73

Figura 34. Resultado de la modelación vista en planta del esfuerzo cortante para un Tr 2 años. 73

Figura 35. Resultado de la modelación vista en planta del esfuerzo cortante para un Tr 50 años.  
..... 74

Figura 36. Resultado de la modelación vista en planta del esfuerzo cortante para un Tr 100 años.  
..... 74

Figura 37. Vista en planta profundidad del cauce para un Tr 2 años. .... 75



Universidad de Caldas

**LUIS ARTURO GÓMEZ TOBÓN**  
INGENIERIA CIVIL - AMBIENTAL E HIDRÁULICA



Figura 38. Vista en planta profundidad del cauce para un Tr 50 años. ....	75
Figura 39. Vista en planta profundidad del cauce para un Tr 100 años. ....	76
Figura 40. Manchas de Inundación para un Tr 2 años. ....	76
Figura 41. Manchas de Inundación para un Tr 50 años. ....	77
Figura 42. Manchas de Inundación para un Tr 100 años. ....	77



Universidad de Caldas

**LUIS ARTURO GÓMEZ TOBÓN**  
INGENIERIA CIVIL - AMBIENTAL E HIDRÁULICA



## Lista de Tablas

Tabla 1. Valores de C para cada tipo de cobertura equivalente a cada periodo de retorno, y rugosidad "n" de la cuenca.....	37
Tabla 2. Coeficientes de escorrentía Ven-Te Chow (Chow et al., 1988).....	37
Tabla 3. En esta tabla se observan los parámetros morfométricos de la cuenca y los diferentes métodos para el cálculo del tiempo de concentración (Tc).....	39
Tabla 4. Estaciones meteorológicas del departamento del Huila y su localización.....	41
Tabla 5. Resultados de ponderación de las intensidades.....	45
Tabla 6. Resultados de precipitación máxima.....	47
Tabla 7. Condiciones de área para aplicar el método racional según diversos autores. (Tomaz,2010) .....	49
Tabla 8. Resultados de cálculo de caudal para un periodo de retorno (Tr) de 2 años .....	53
Tabla 9. Resultados de cálculo de caudal para un periodo de retorno (Tr) de 50 años.....	54
Tabla 10. Resultados de cálculo de caudal para un periodo de retorno (Tr) de 100 años.....	54
Tabla 11. Riesgo de fallo para 25 años de vida de la estructura.....	63
Tabla 12. Parámetros Hidráulicos sección 180.6523 para un Tr 100 años.....	66
Tabla 13. Parámetros Hidráulicos sección 180.6523 para un Tr 50 años.....	66
Tabla 14. Parámetros Hidráulicos sección 180.6523 para un Tr 2 años.....	67



Universidad de Caldas

**LUIS ARTURO GÓMEZ TOBÓN**  
INGENIERIA CIVIL - AMBIENTAL E HIDRÁULICA



## RESUMEN

Durante la práctica académica realizada en la empresa Ingeniería Civil-Ambiental e Hidráulica, se realizaron diversos estudios de consultoría en el ámbito ambiental, para ser más precisos en el área de la Hidrología e Hidráulica.

Durante este tiempo se me asignó la labor de recopilar información sobre estaciones pluviométricas, coberturas vegetales y usos del suelo, tipos de suelo; y apoyar la realización de cálculos para el análisis y caracterización de cuencas hidrográficas. Para tener un ejemplo puntual sobre las labores realizadas en la empresa, se presenta como ejemplo el estudio realizado sobre el río Timaná en el departamento del Huila, en el que se mostrará la metodología empleada para la caracterización de la cuenca, y sus resultados utilizando sistemas de información geográfica. Además, se evaluarán varios puntos con el fin de realizar su correspondiente modelo hidráulico para determinar las manchas de inundación, energía, velocidad, esfuerzo cortante y profundidad del cauce, dado que este cuerpo de agua presenta una socavación lateral produciendo una pérdida de la banca en la vía principal que conduce del municipio de Altamira al municipio de Timaná, pero que en el presente informe se presentará los resultados de un punto concretamente.



Universidad de Caldas

**LUIS ARTURO GÓMEZ TOBÓN**  
INGENIERIA CIVIL - AMBIENTAL E HIDRÁULICA



## 1 INTRODUCCIÓN

La empresa AGT Ingeniería Civil – Ambiental e Hidráulica se encarga de realizar trabajos de consultoría en el sector civil y ambiental.

Durante la práctica se realizaron diversos estudios de los cuáles se tomará como ejemplo la caracterización de la cuenca hidrográfica del Río Timaná en el Departamento del Huila, y la modelación hidráulica de uno de los 10 puntos que se analizaron, con el fin de determinar la amenaza que representa este río en la vía que conduce del municipio de Altamira al municipio de Timaná-Huila, presentando en algunos puntos socavación lateral de la vía, obteniendo parámetros como manchas de inundación, esfuerzo cortante, velocidad, energía y profundidad del cauce, para diferentes periodos de retorno.

## 2 JUSTIFICACIÓN

Durante los meses de septiembre y diciembre del año 2021 se realizó la práctica académica, requisito para optar por el título de Geóloga de la Universidad de Caldas, en la empresa AGT Ingeniería Civil -Ambiental e Hidráulica, periodo durante el cual se desarrollaron entre otras actividades: Trabajo de Campo en sectores aledaños a la ciudad de Manizales como en la vía que conduce de la vereda Varsovia al municipio de Filadelfia, también en el sector de San Bernardo del Viento en la vereda La Trinidad.

Finalmente, se me asignaron las labores de procesamiento de datos para la realización de diferentes estudios y modelos hidráulicos ejecutados por la empresa, como, por ejemplo, para la cuenca del río Timaná ubicado en el Departamento del Huila, el estudio hidrológico de esta cuenca, y la modelación hidráulica de varios puntos sobre este río y dos afluentes del mismo, y del cual se presentarán los resultados en el presente informe.



Universidad de Caldas

**LUIS ARTURO GÓMEZ TOBÓN**  
INGENIERIA CIVIL - AMBIENTAL E HIDRÁULICA



### 3 METODOLOGÍA

Para cumplir satisfactoriamente con los objetivos de la práctica en la empresa AGT Ingeniería Civil – Ambiental de Hidráulica, y para la realización de trabajo de grado se ejecuta una metodología dividida en varias etapas, desde septiembre hasta diciembre del año 2021.

#### **Etapas:**

**-Recopilación de información:** se recopiló información del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) para las diferentes estaciones pluviométricas aferentes al área de la cuenca del río Timaná, recolección de capas (en formato shp) para las Coberturas y Usos de Suelo según la metodología Corine Land Cover (CLC) para Colombia 2010-2012, y la capa (shp) de la geología de la zona tomada del Servicio Geológico Colombiano (SGC), revisión de información obtenida mediante visitas técnicas realizadas por el equipo de trabajo de la empresa QUASAR Ingenieros Consultores S.A.S como vuelos de drone y topografías.

**- Procesamiento de datos:** Toda la información recopilada se clasificó de acuerdo a las variables obtenidas, los vuelos de drone fueron procesados en el software AgiSoft generando una imagen en 3D que fueron utilizadas netamente para fines visuales y de medida. El modelo digital del terreno para la caracterización de la cuenca fue tomado de EOS Land Viewer y procesado en Arcgis 10.5 desktop, con la topografía se realiza un despiece de cada una de las capas, cargándolas posteriormente en Arcgis 10.5 donde se procesaron y se generan los modelos de elevación digital para cada uno de los puntos hidráulicos a modelar en el software HEC-RAS 6.0. Teniendo esto como base se procede a la generación de mapas de geología, coberturas y usos de suelo, número de curva, coeficientes de escorrentía, pendientes, acumulación y dirección de flujo, densidades de flujo para la hidrología, y para la hidráulica se



Universidad de Caldas

**LUIS ARTURO GÓMEZ TOBÓN**  
INGENIERIA CIVIL - AMBIENTAL E HIDRÁULICA



obtienen manchas de inundación, velocidades y esfuerzo cortante para diferentes periodos de retorno (2,50 y 100 años) , proyectados en coordenadas MAGNA Origen Nacional (CTM12).

**-Análisis de resultados:** Con base en los resultados obtenidos en los software Arcgis 10.5 y HEC-RAS 5.0, se realizó el análisis y se elaboró el informe final, definiendo las recomendaciones y conclusiones más acertadas con respecto a la amenaza de inundación, reconociendo estos como puntos críticos sobre el Río Timaná.



Universidad de Caldas

**LUIS ARTURO GÓMEZ TOBÓN**  
INGENIERIA CIVIL - AMBIENTAL E HIDRÁULICA



## 4 OBJETIVOS

### 4.1 Objetivo General

Prestar apoyo a las labores realizadas para los estudios hidrológicos e hidráulicos ejecutados por la firma AGT Ingeniería Civil – Ambiental e Hidráulica, en sus fases técnicas y en las investigaciones de tipo hidráulico que puedan generar afectación, estableciendo recomendaciones para mitigar y mejorar las condiciones de terreno.

### 4.2 Objetivos específicos.

- Apoyo en las metodologías de cálculo y análisis de las características propias de proyectos ambientales en sus fases técnicas relacionadas con la hidrología e hidráulica.
- Apoyar el Sistema de Información Geográfica de la firma mediante la generación de insumos para los proyectos de consultoría.



Universidad de Caldas

**LUIS ARTURO GÓMEZ TOBÓN**  
INGENIERIA CIVIL - AMBIENTAL E HIDRÁULICA



## 5 MARCO TEÓRICO

### 5.1 Datos Geográficos:

Los datos geográficos se refieren a una unidad de observación asociada a una localización espacial sobre el que se hace la medición de ciertos atributos o características.

Los datos geográficos deben incorporar en su estructura tres componentes:

#### 5.1.1 Componente espacial (localización):

Se refiere a la localización geográfica que se expresa mediante un sistema de coordenadas (x,y) común a todos los elementos y capas de la zona de estudio.

Además, también incorpora las relaciones espaciales, denominada topología que recoge distintas posiciones entre los elementos de una capa (conectividad, contigüidad, proximidad, adyacencia, etc.).

#### 5.1.2 Componente temático (atributo):

Corresponde a las características de los objetos que se conocen como variables o atributos que pueden variar en el tiempo y en el espacio.

#### 5.1.3 Componente temporal (tiempo):

La distribución espacial de las unidades de observación se va modificando con el transcurso del tiempo. Se pueden producir cambios que afectan exclusivamente la componente temática sin que exista una modificación en la componente espacial.

### 5.2 Sistemas de información geográfica (SIG):

Los sistemas de información geográfica NCGIA (1990) los define como un “sistema de hardware y software, y procedimientos diseñados para realizar la captura, almacenamiento, manipulación, análisis, modelización y representación de datos referenciados espacialmente para la resolución de problemas complejos de planificación y gestión”.

Es un sistema de información diseñado para trabajar datos georreferenciados en el que el almacenamiento de la información espacial se realiza de forma lógica y estructurada propia de una base de datos en capas temáticas.

Una cualidad importante de los Sistemas de Información Geográfica, es que están diseñados para el análisis espacial de capas o relacionarlas entre sí para ejecutar consultas más complejas y producir mapas derivados que puedan representar situaciones reales o hipotéticas.

### 5.2.1 Modelos de datos:

Existen dos modelos de datos para representar la realidad: el modelo raster, donde los individuos geográficos se diferencian por un criterio de locación; y el modelo vectorial, donde las propiedades son el criterio de la diferenciación de los individuos geográficos.

- Modelo raster: el espacio geográfico real es subdividido en pequeñas unidades de igual tamaño (celda, pixel), formando una malla rectangular para luego asignar los valores temáticos a cada una de esas posiciones. (Ver Figura 1 )



Figura 1. Representación de pixel de un modelo raster.

Fuente: Curso experto en SIG y Teledetección. Ingeoexpert abril 2021.

Nótese como cada objeto vectorial de la imagen de la izquierda se transforma en un conjunto de pixeles con el mismo valor del polígono en la imagen derecha.



Universidad de Caldas

**LUIS ARTURO GÓMEZ TOBÓN**  
INGENIERIA CIVIL - AMBIENTAL E HIDRÁULICA



El área que representa cada celda define la resolución de la información que es lo que define la resolución espacial. En este modelo no quedan registrados de forma explícita los límites entre elementos geográficos.

- Modelo Vectorial: las entidades vectoriales pueden representarse como: puntos definidos por un par de coordenadas, líneas definidas por dos o más pares de coordenadas, y polígonos definidos por tres o más pares de coordenadas, pero con la particularidad que la primera y última coordenada deben coincidir. (Ver Figura 2)

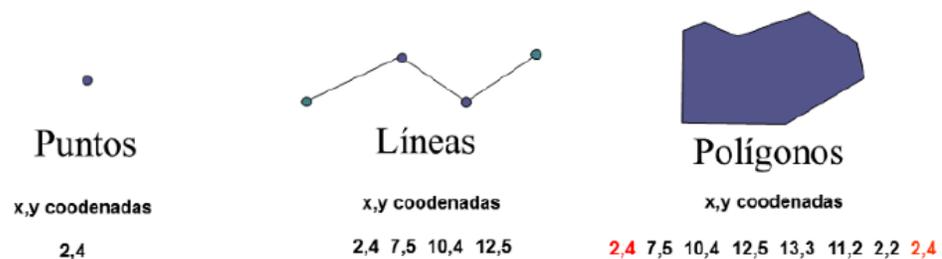


Figura 2. Representación de modelos de datos vectoriales.

Fuente: Curso experto en SIG y Teledetección. Ingeoexpert, abril 2021

Cada objeto fue creado a partir de las coordenadas de cada uno de los vetices que los componen.

### 5.3 Modelos Digitales de Terreno:

Un modelo digital de terreno (MDT), es una representación estadística de la superficie del terreno mediante un número elevado de puntos selectos con coordenadas (x,y,z) conocidos en la que se representa la distribución espacial de una variable cuantitativa y continua. Un MDE es la fuente de información necesario para realizar el análisis morfométrico del terreno y con el que se derivan numerosas variables del terreno. Cuando la variable que se quiere representar es la altura del terreno se habla de Modelo Digital de Elevaciones (MDE).



Universidad de Caldas

**LUIS ARTURO GÓMEZ TOBÓN**  
INGENIERIA CIVIL - AMBIENTAL E HIDRÁULICA



El procesado y análisis de estos modelos permiten extraer información útil para diferentes aplicaciones, tales como:

### 5.3.1 Variables topográficas

Con aplicaciones a modelos hidrológicos (escorrentía superficial, canalización, aludes, flujos), mapas de riesgo de erosión, geomorfología, modelos predictivos de pérdidas de suelo, descripción y análisis de unidades geomorfológicas, etc. A partir de un MDE se puede obtener:

- Pendientes: ángulo existente entre el vector normal de la superficie en ese punto y la vertical.
- Orientación: ángulo existente entre el vector que señala el norte donde se produce la máxima pendiente.
- Sombreados del terreno: son modelos que se basan en las sombras que arrojan un terreno al ser iluminado por una fuente de luz oblicua: Azimut solar:  $315^\circ$  y Altura solar  $45^\circ$ .

Para el presente estudio se utilizó un MED proveído por la EOS Land Viewer la cual permite encontrar y descargar imágenes satelitales históricas y actualizadas de diferentes satélites, también modelos de elevación digital desde su plataforma, y que para este caso se usó uno con una resolución espacial de  $76.4 \times 76.4$  m.

### 5.3.2 Cuenca Hidrográfica

Una cuenca hidrográfica hace referencia a una unidad espacial en donde las características del terreno, permiten que las aguas drenen a lo largo de una red de canales naturales que se encuentran intercomunicados, hacia un drenaje principal o mayor, el cual



Universidad de Caldas

**LUIS ARTURO GÓMEZ TOBÓN**  
INGENIERIA CIVIL - AMBIENTAL E HIDRÁULICA



finalmente desemboca en otro drenaje más grande, un depósito natural o artificial de agua o al mar.

Las cuencas hidrográficas conforman una unidad adecuada para la planificación del territorio, dado que sus límites fisiográficos se mantienen en un tiempo considerable mayor a otras unidades de análisis, además involucran una serie de factores y elementos tanto espaciales como sociales que permiten una comprensión integral de la realidad del entorno (IDEAM, 2013).

La cuenca hidrográfica es utilizada como una unidad fundamental, para estudios de geomorfología, fisiografía y procesos erosivos; este hecho se debe a las características que gobiernan en su interior todo el flujo superficial de agua (Horton, 1945). Así, viene siendo considerada una unidad territorial ideal para el planeamiento integrado del manejo de los recursos naturales (Pisarra et al., 2004; Hott et al., 2007)

### 5.3.3 Caracterización Morfométrica de una Cuenca Hidrográfica

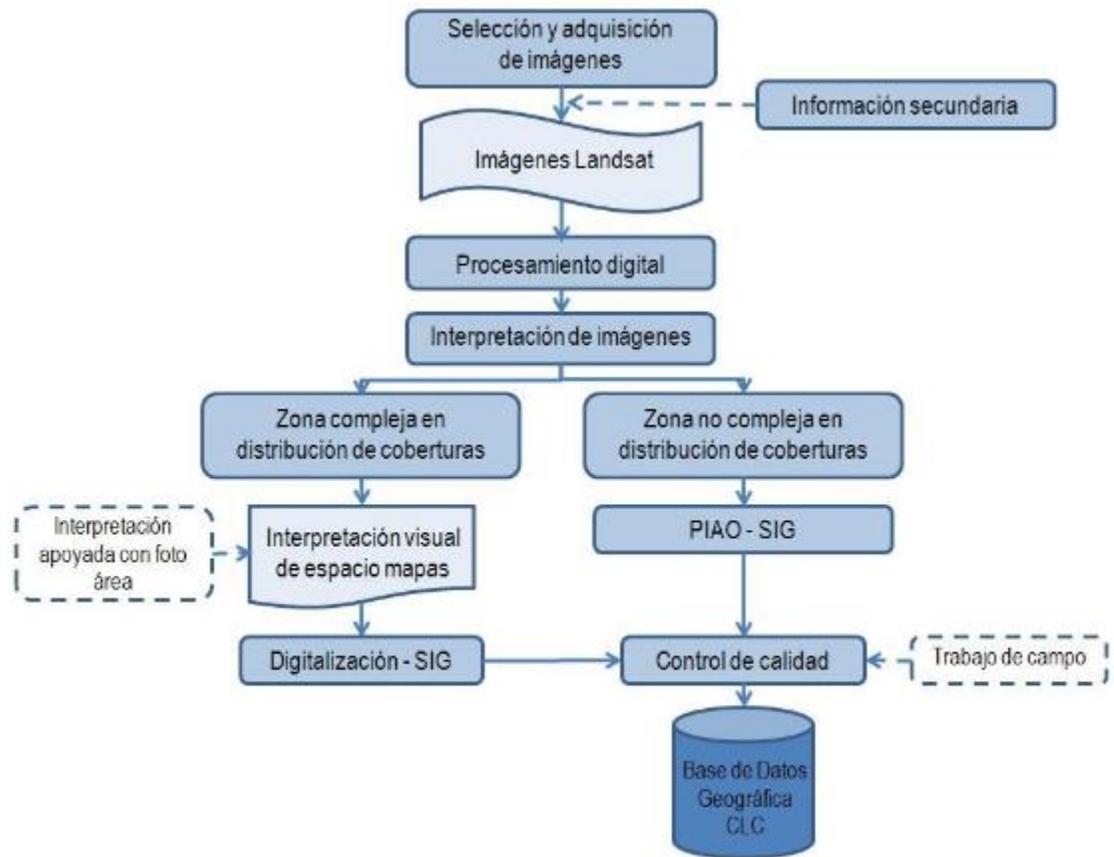
La caracterización morfométrica tiene como objetivo obtener índices cuantitativos, los cuales apoyan los estudios hidrológicos de las cuencas hidrográficas (Alves y Castro, 2003; Cardoso et al., 2006; Hott et al., 2007). Con el análisis de estas características se busca entender la relación suelo-superficie como consecuencia de los procesos erosivos sobre estructuras litológicas variadas (Luo & Harbin, 2003; Glennon y Groves, 2002).

## 5.4 Metodología Corine Land Cover

Dentro del programa CORINE (Coordination of information on the environment) promovido por la Comisión de la Comunidad Europea fue desarrollado el proyecto de cobertura de la tierra "CORINE Land Cover" 1990 (CLC90), el cual definió una metodología específica para

realizar el inventario de la cobertura de la tierra (ver Figura 3). La base de datos Corine Land Cover Colombia (CLC) permite describir, caracterizar, clasificar y comparar las características de la cobertura de la tierra, interpretadas a partir de la utilización de imágenes de satélite de resolución media (Landsat), para la construcción de mapas de cobertura a diferentes escalas. (IDEAM et al., 2007)

Figura 3. Modelo general de la metodología Corine Land Cover (CLC)



Fuente: Melo y Camacho, 2005, en Mapa de Cobertura de la Tierra Cuenca Magdalena-Cauca, Metodología Corine Land Cover Adaptada para Colombia, escala 1:100.000, IDEAM, IGAC, CORMAGDALENA (2007)

Nótese como sin importar la complejidad de la zona al final siempre se termina generando la geodatabase que contiene los elementos cartográfico generados.



Universidad de Caldas

**LUIS ARTURO GÓMEZ TOBÓN**  
INGENIERIA CIVIL - AMBIENTAL E HIDRÁULICA



## 5.5 Metodología del Número de Curva (NC)

La metodología del número de curva es la más empleada para transformar la precipitación total en precipitación efectiva. El número de curva es una técnica desarrollada por el SCS (Soil Conservation Service) de Estados Unidos que determina el umbral de escorrentía (PO) a través de un número hidrológico o número de curva (CN) agregado de la cuenca. El número de curva toma un valor de 0 a 100 según sea su capacidad de generar escorrentía superficial. Valores cercanos a 0 representan condiciones de permeabilidad muy alta, mientras que valores cercanos a 100 representan condiciones de impermeabilidad. (AGUA Y SIG, 2017)

El número de curva depende las de las siguientes propiedades generadoras de escorrentía de la cuenca:

- Tipo hidrológico de suelo.
- Uso de la tierra y tratamiento.
- Condición previa de humedad.

El método fue desarrollado a partir de registros de lluvia y escorrentía en 24 horas, por lo que no considera explícitamente la variación temporal de la escorrentía. Considera todas las pérdidas netas menos la evaporación real.

Respecto al tipo de suelo hay que clasificarlo en uno de los cuatro grupos hidrológicos existentes. Estos grupos van desde A hasta D, representando el grupo A un potencial de escurrimiento mínimo y el D un potencial de escurrimiento alto. Para asignar a un suelo un grupo determinado hay que considerar su composición, su textura y la profundidad del nivel freático. (AGUA Y SIG, 2017)



Universidad de Caldas

**LUIS ARTURO GÓMEZ TOBÓN**  
INGENIERIA CIVIL - AMBIENTAL E HIDRÁULICA



## 5.6 Tiempo de Concentración:

El tiempo de concentración de una cuenca, se define como el tiempo mínimo necesario para que todos los puntos de una cuenca estén aportando agua de escorrentía de forma simultánea al punto de salida, punto de desagüe o punto de cierre.

Se atribuye comúnmente al tiempo que tarda una gota de agua caída en el punto más alejado de la cuenca hasta el sitio de desagüe. Lo cual no corresponde al fenómeno real, pues pueden existir lugares en la cuenca en los que el agua caída tarde más en llegar al desagüe más alejado. (UPEGUI & GUTIÉRREZ, 2011)

El tiempo de concentración de la cuenca es muy importante porque en los modelos lluvia-escorrentía, la duración de la lluvia se asume igual al tiempo de concentración de la cuenca, puesto que es para esta duración cuando la totalidad de la cuenca está aportando al proceso de escorrentía, por lo cual se espera que se presenten caudales máximos. Las diversas metodologías existentes para determinar el tiempo de concentración de una cuenca a partir de sus parámetros morfométricos, fueron determinados a partir de ajustes empíricos de registros hidrológicos.

En la literatura existen múltiples expresiones para el cálculo del tiempo de concentración propuestas por diferentes autores: Témez, William, Kirpich, California Culverts Practice, Giandotti, S.C.S, Ventura-Heron, Bransby-Williams, Passini, Federal Aviation Administration (1970).(AGUA Y SIG, 2014)

Debido a las diferentes formas como fueron concebidas estas expresiones, la variabilidad de los resultados entre una y otro puede ser bastante alta, razón por la cual el criterio del analista juega un papel fundamental en la definición del tiempo de concentración de una determinada cuenca.(AGUA Y SIG, 2014)



Universidad de Caldas

**LUIS ARTURO GÓMEZ TOBÓN**  
INGENIERIA CIVIL - AMBIENTAL E HIDRÁULICA



### 5.6.1 Témez:

Tc: Tiempo de concentración (hr), L: Longitud del cauce principal en (km), So: Diferencia de cotas sobre L (%).

$$Tc = 0.3 \left( \frac{L}{So^{0.25}} \right)^{0.75}$$

### 5.6.2 Williams

A: área de la cuenca (mll 2), L: distancia en línea recta desde el sitio de interés al punto mas alto (mll), So: diferencia de cotas entre los puntos más extremos dividida por L (%), d: diámetro de una cuenca circular con área (mll).

$$Tc = \frac{LA^{0.4}}{DSO^{0.2}}$$

### 5.6.3 Kirpich

Desarrollada a partir de información del SCS en siete cuencas rurales en Tennessee con canales bien definidos y pendientes empinadas (3 a 10%).

L: longitud desde la estación de aforo hasta la divisoria siguiendo el cauce principal (km),  
So: diferencia de cotas entre los puntos extremos de la corriente en m/m.

$$Tc = 0.666 \left( \frac{L}{\sqrt{S}} \right)^{0.77}$$

### 5.6.4 California Culverts Practice

Esencialmente es la ecuación de Kirpich; desarrollada para pequeñas cuencas montañosas en California.

L: longitud del curso de agua más largo (m), H: Diferencia de nivel entre la divisoria de aguas y la salida (m).

$$Tc = 0.0195 \left( \frac{L^3}{H} \right)^{0.385}$$



Universidad de Caldas

**LUIS ARTURO GÓMEZ TOBÓN**  
INGENIERIA CIVIL - AMBIENTAL E HIDRÁULICA



### 5.6.5 Giandotti

$T_c$ : tiempo de concentración (hr),  $S$ : área de la cuenca en (km<sup>2</sup>),  $L$ : longitud del cauce principal (Km),  $i$ : elevación media de la cuenca o diferencia del nivel principal (m).

$$T_c = \frac{4\sqrt{S} + 1.5L}{0.8\sqrt{H}}, \text{ siempre que } \frac{L}{3600} \geq T_c \geq \frac{L}{3600 + 1.5}$$

### 5.6.6 Ecuación de retardo SCS (1973)

Ecuación desarrollada por el SCS a partir de información de cuencas de uso agrícola; ha sido adaptada a pequeñas cuencas urbanas con áreas inferiores a 800 Ha; se ha encontrado que generalmente es buena cuando el área se encuentra completamente pavimentada; para áreas mixtas tiene tendencia a la sobreestimación; se aplican factores de ajuste para corregir efectos de mejoras de canales e impermeabilización de superficies; la ecuación supone que  $t_c = 1.67 \times$  retardo de la cuenca.

$L$ : longitud hidráulica de la cuenca mayor trayectoria de flujo (m),  $CN$ : Número de Curva SCS,  $S$ : Pendiente promedio de la cuenca (m/m).

$$T_c = \frac{0.0136L^{0.8} \left( \frac{1000}{CN} - 9 \right)^{0.7}}{S^{0.5}}$$

### 5.6.7 Ventura-Heras

$T_c$ : Tiempo de concentración (hr),  $i$ : pendiente media del cauce principal (%),  $S$ : área de la cuenca (km<sup>2</sup>),  $L$ : longitud del cauce principal (km),  $a$ : alejamiento medio.

$$T_c = a \frac{S^{0.5}}{i}, \text{ siendo } 0.05 \leq a \leq 0.5$$

$$a = \frac{L}{\sqrt{S}}$$



Universidad de Caldas

**LUIS ARTURO GÓMEZ TOBÓN**  
INGENIERIA CIVIL - AMBIENTAL E HIDRÁULICA



### 5.6.8 Bransby-Williams

T: tiempo de concentración (hr), L: distancia máxima a la salida (km), D: diámetro del círculo de área equivalente a la superficie de la cuenca (km<sup>2</sup>), M: área de la cuenca (km<sup>2</sup>), F: pendiente media del cauce principal (%).

$$T = \frac{L}{1.5 D} \sqrt{\frac{M^2}{F}}$$

### 5.6.9 Passini

Tc: tiempo de concentración (hr), i: pendiente media del cauce principal (%), S: área de la cuenca (km<sup>2</sup>), L: longitud del cauca principal (km), a: alejamiento medio.

$$Tc = a \frac{(SL)^{\frac{1}{3}}}{i^{0.5}}, \text{ Siendo } 0.04 \leq a \leq 0.13$$

$$a = \frac{L}{\sqrt{S}}$$

### 5.6.10 Federal Aviation Administration

Desarrollada de información sobre drenaje de aeropuertos recopilada por el Corps of Engineers: el método tiene como finalidad el ser usado en problemas de drenaje de aeropuertos pero ha sido usada frecuentemente para el análisis de flujo superficial en cuencas urbanas.

C: Coeficiente de escorrentía del método racional, L: Longitud del flujo superficial (m), S: pendiente de la superficie (m/m)

$$Tc = 0.7035 \frac{(1.1 - C)L^{0.50}}{S^{0.333}}$$



Universidad de Caldas

**LUIS ARTURO GÓMEZ TOBÓN**  
INGENIERIA CIVIL - AMBIENTAL E HIDRÁULICA



## 5.7 Escorrentía

La escorrentía es la parte de la precipitación que llega a alimentar las corrientes superficiales, continuas o intermitentes, de una cuenca. Existen distintos tipos de escorrentías dependiente de su procedencia: a) Escorrentía Superficial o Directa, b) Escorrentía Hipodérmica o Subsuperficial y c) Escorrentía

Subterránea. ([http://caminos.udc.es/info/asignaturas/grado\\_itop/415/pdfs/Capitulo%205.pdf](http://caminos.udc.es/info/asignaturas/grado_itop/415/pdfs/Capitulo%205.pdf))

La Escorrentía Superficial o Directa es la precipitación que no se infiltra en ningún momento y llega a la red de drenaje moviéndose sobre la superficie del terreno por la acción de la gravedad.

La Escorrentía Hipodérmica o Subsuperficial es el agua de precipitación que, habiéndose infiltrado en el suelo, se mueve sub-horizontalmente por los horizontes superiores para reaparecer súbitamente al aire libre como manantial e incorporarse a microsurcos superficiales que la conducirán a la red de drenaje.

Escorrentía Subterránea es la precipitación que se infiltra hasta el nivel freático, desde donde circula hasta alcanzar la red de drenaje. La Escorrentía Superficial es la más rápida de todas y la Escorrentía Subterránea la más lenta (del orden de m/h). ([http://caminos.udc.es/info/asignaturas/grado\\_itop/415/pdfs/Capitulo%205.pdf](http://caminos.udc.es/info/asignaturas/grado_itop/415/pdfs/Capitulo%205.pdf))

## 6 DESARROLLO.

### 6.1 Localización del área de estudio

El área de estudio se encuentra localizada al sur del departamento del Huila, entre los municipios de Timaná y Altamira, el río Timaná es afluente del río Magdalena que corresponde a las estribaciones de la cordillera Central y la cordillera Oriental, la cuenca presenta una altura máxima de 1630 msnm y mínima de 847 msnm aproximadamente y presenta una temperatura promedio de 24°C.

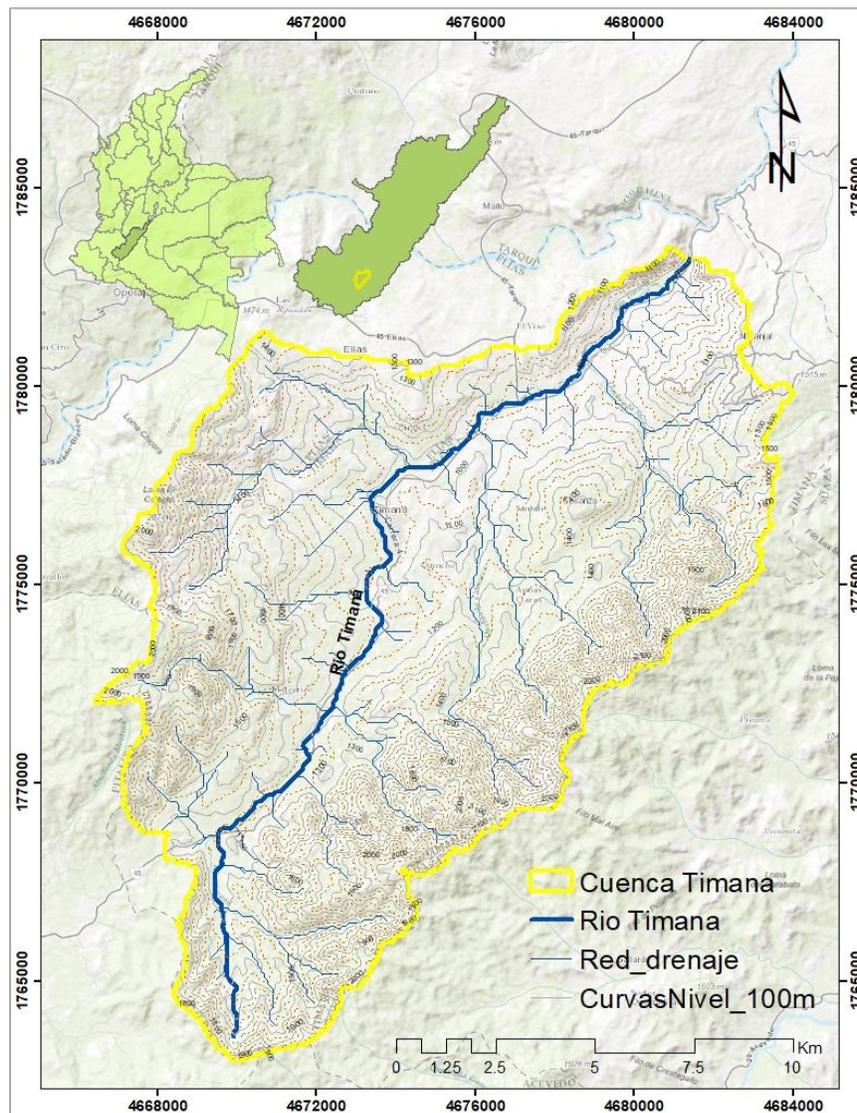


Figura 4. Mapa de localización de la cuenca del Río Timaná.



Universidad de Caldas

**LUIS ARTURO GÓMEZ TOBÓN**  
INGENIERIA CIVIL - AMBIENTAL E HIDRÁULICA



## 6.2 Procesamiento del modelo de elevación digital (MED)

El insumo principal para el cálculo de las características geomorfológicas, es el modelo de elevación digital, que consiste en un modelo de dato raster, el cual fue explicado anteriormente en el marco teórico. Este modelo de elevación digital lo provee la Earth Observing System (EOS), en esta ocasión se recurre a una tesela de nivel once (Z11), cuyo tamaño de pixel es de 76.4x76.4m, escala suficiente para el desarrollo del estudio.

Se realiza la manipulación del Modelo de Elevación Digital (MED), utilizando las herramientas hidrológicas de ArcGis 10.5 desktop, con la que en primer lugar se corrigen los errores que puedan tener el DEM con la herramienta "Fill", continuando con el proceso se obtienen los modelos de datos raster de direcciones de flujo y acumulación de flujo, densidades de acumulación de flujo, para luego encontrar la cuenca y las líneas de drenaje. (Ver Figura 5)

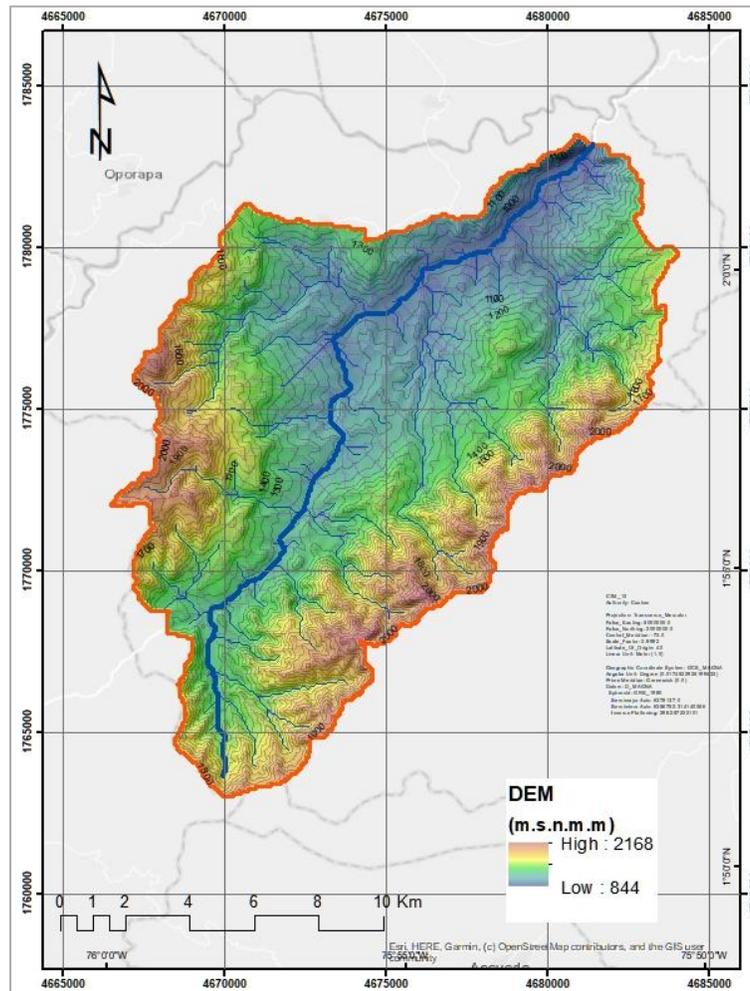


Figura 5. Modelo de Elevación digital de la cuenca del Río Timaná.

Nótese la gran densidad de drenaje que se observa dentro de la cuenca dada su amplia diferencia en alturas.

### 6.3 Parámetros morfométricos de la cuenca:

Con la ayuda de herramientas de Información Geográfica (SIG), se determinan las características morfométricas principales de la cuenca. Recurriendo al modelo de elevación digital, y se aplican técnicas hidrológicas que permiten una descripción completa de la cuenca, de esta manera se calculan parámetros tales como, área, perímetro, longitud, elevaciones máxima y mínima del cauce, pendiente promedio de la cuenca y el cauce. (Ver Figura 6)

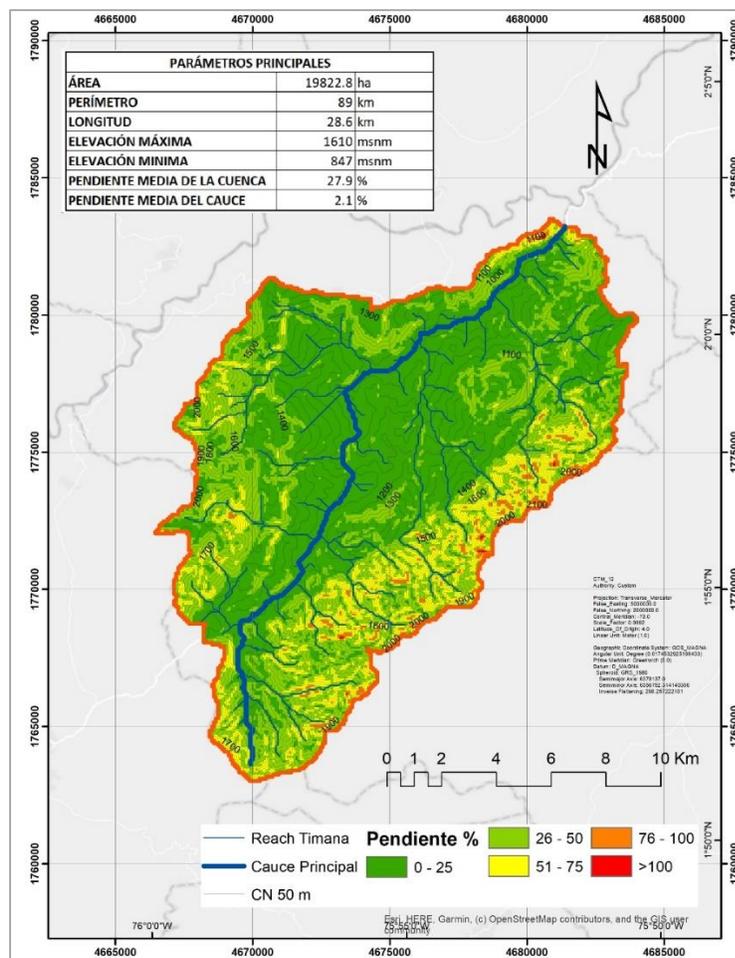


Figura 6. Principales características geomorfométricas para la cuenca del Río Timaná.

Se puede observar cómo las pendientes más bajas se encuentran alrededor del cauce principal dando lugar a zonas más planas y que por la densidad de drenaje se pueda presentar la acumulación de agua produciendo inundaciones y socavación lateral en algunos puntos críticos.



Universidad de Caldas

**LUIS ARTURO GÓMEZ TOBÓN**  
INGENIERIA CIVIL - AMBIENTAL E HIDRÁULICA



### 6.3.1 Coberturas y Usos de suelo, Corine Land Cover 2010-2012

Se analizan los componentes referentes a la cobertura y usos del suelo, con el fin de determinar los parámetros necesarios para emplear en los métodos de estimación de caudal.

Esta información es obtenida a partir del mapa de coberturas y usos de suelo 2010-2012 Escala 1:100000 realizado por el IDEAM, IGAC, SINCHI, IAvH, INVEMAR; CORMAGDALENA y la UAESPNN; en el que se clasifica el uso de suelo y caracterizando las coberturas del territorio nacional. (Ver Figura 7)

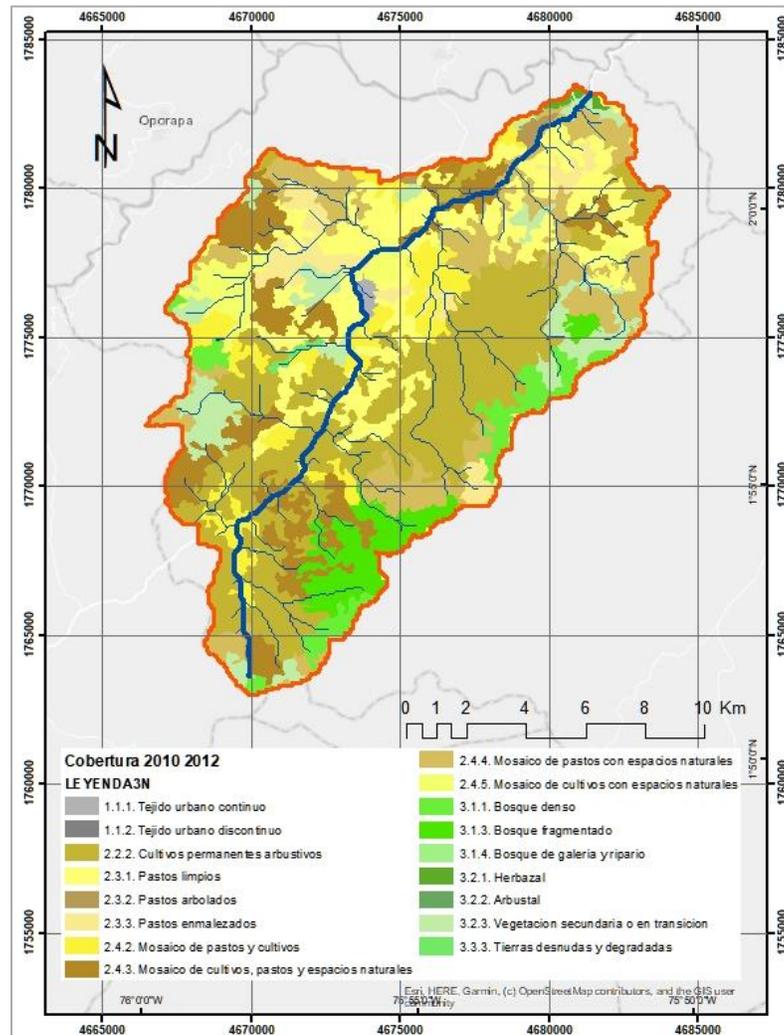


Figura 7. Mapa de coberturas y usos del suelo para el área de estudio.

Se puede observar la distribución de coberturas a través de la cuenca y cómo los pastos y cultivos son las coberturas que más predominan en la misma.



Universidad de Caldas

**LUIS ARTURO GÓMEZ TOBÓN**  
INGENIERIA CIVIL - AMBIENTAL E HIDRÁULICA



### 6.3.2 Coeficiente de Escorrentía “C” y Coeficiente de Rugosidad de la cuenca “n”

Con base en el mapa de coberturas, los coeficientes propuestos por (Bolinaga I,1979) y (Chow et al., 1988) en función del periodo de retorno ( $T_r$ ) y las características de la superficie, se toma un valor ponderado para determinar C y n, de la siguiente manera:

Se realiza un análisis de frecuencias del área que ocupa cada tipo de cobertura presente en la cuenca (ver Figura 8), se asignan valores para los coeficientes de escorrentía para cada periodo de retorno y la rugosidad “n” de Manning para la cuenca (ver Tabla 1); se ponderan los valores para las variables descritas para los periodos de retorno ( $T_r$ ) 2, 50 y 100 años. (Ver Figura 9).

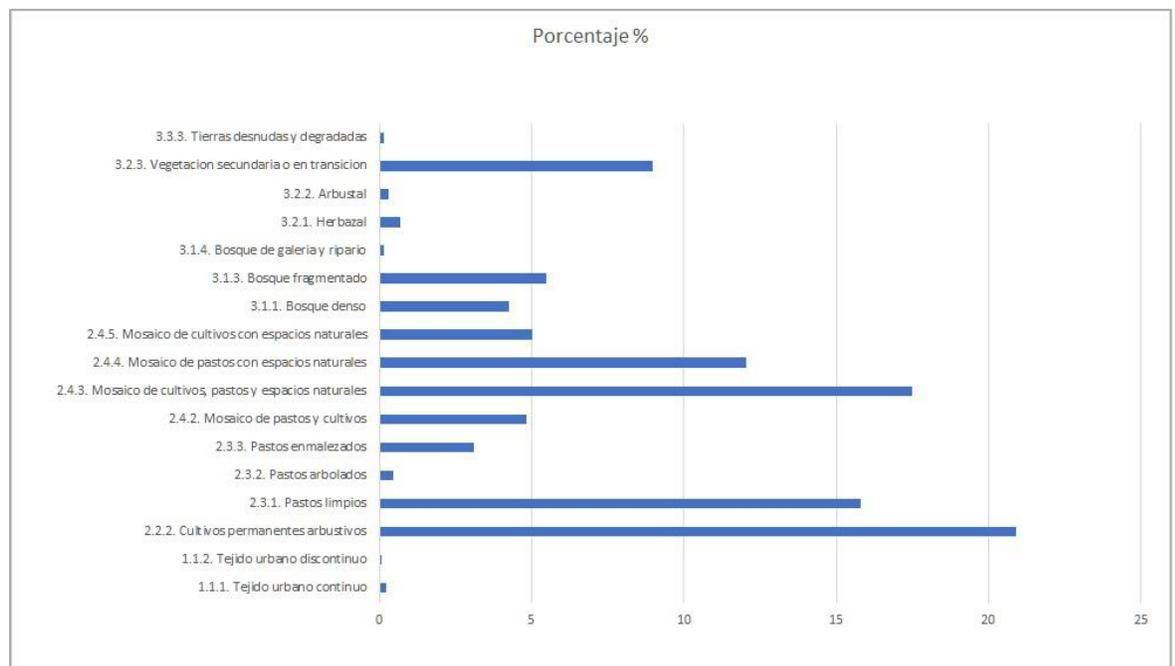


Figura 8. Análisis de Frecuencias de la cobertura en el área de la cuenca.

Nótese como los cultivos permanentes arbustivos son los más frecuentes en la cuenca.



Universidad de Caldas

**LUIS ARTURO GÓMEZ TOBÓN**  
INGENIERIA CIVIL - AMBIENTAL E HIDRÁULICA



### 6.3.3 Coeficiente de rugosidad de Manning “n”

Es un índice el cual determina la resistencia de un flujo en un canal, es usada para determinar la velocidad de un caudal en canales abiertos y tuberías, propuesta por el ingeniero irlandés Robert Manning en 1889.

$$V = \frac{1}{n} R_h^{\frac{2}{3}} \cdot S^{\frac{1}{2}}$$

Donde,

R<sub>h</sub>: radio hidráulico en m

n: Coeficiente que depende de la rugosidad de la pared

V: Velocidad media del agua.

S: pendiente de la línea de agua en m/m.



Universidad de Caldas

**LUIS ARTURO GÓMEZ TOBÓN**  
INGENIERIA CIVIL - AMBIENTAL E HIDRÁULICA



Tabla 1. Valores de C para cada tipo de cobertura equivalente a cada periodo de retorno, y rugosidad "n" de la cuenca.

COBERTURA	C2	C50	C100	Rugos_n
1.1.1. Tejido urbano continuo	0.75	0.92	0.97	0.03
1.1.2. Tejido urbano discontinuo	0.73	0.9	0.95	0.05
2.2.2. Cultivos permanentes arbustivos	0.39	0.51	0.54	0.07
2.3.1. Pastos limpios	0.33	0.45	0.49	0.033
2.3.2. Pastos arbolados	0.37	0.49	0.53	0.025
2.3.3. Pastos enmalezados	0.25	0.37	0.41	0.033
2.4.2. Mosaico de pastos y cultivos	0.39	0.51	0.54	0.04
2.4.3. Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	0.35	0.48	0.51	0.038
2.4.4. Mosaico de pastos con espacios naturales	0.39	0.51	0.54	0.04
2.4.5. Mosaico de cultivos con espacios naturales	0.35	0.48	0.51	0.055
3.1.1. Bosque denso	0.31	0.43	0.47	0.07
3.1.3. Bosque fragmentado	0.35	0.48	0.52	0.055
3.1.4. Bosque de galería y ripario	0.35	0.48	0.52	0.045
3.2.1. Herbazal	0.31	0.43	0.47	0.033
3.2.2. Arbustal	0.22	0.35	0.39	0.055
3.2.3. Vegetación secundaria o en transición	0.34	0.47	0.51	0.033
3.3.3. Tierras desnudas y degradadas	0.4	0.52	0.55	0.045

Tabla 2. Coeficientes de escorrentía Ven-Te Chow (Chow et al., 1988)

Coeficientes de escorrentía para ser usados en el método racional							
Característica de la superficie	Periodo de retorno (años)						
	2	5	10	25	50	100	500
<b>Áreas desarrolladas</b>							
Asfáltico	0.73	0.77	0.81	0.86	0.90	0.95	1.00
Concreto/techo	0.75	0.80	0.83	0.88	0.92	0.97	1.00
Zonas verdes (jardines, parques, etc.)							
<i>Condición pobre</i> (cubierta de pasto menor del 50% del área)							
Plano, 0-2%	0.32	0.34	0.37	0.40	0.44	0.47	0.58
Promedio, 2-7%	0.37	0.40	0.43	0.46	0.49	0.53	0.61
Pendiente, superior a 7%	0.40	0.43	0.45	0.49	0.52	0.55	0.62
<i>Condición promedio</i> (cubierta de pasto del 50 al 75% del área)							
Plano, 0-2%	0.25	0.28	0.30	0.34	0.37	0.41	0.53
Promedio, 2-7%	0.33	0.36	0.38	0.42	0.45	0.49	0.58
Pendiente, superior a 7%	0.37	0.40	0.42	0.46	0.49	0.53	0.60
<i>Condición buena</i> (cubierta de pasto mayor del 75% del área)							
Plano, 0-2%	0.21	0.23	0.25	0.29	0.32	0.36	0.49
Promedio, 2-7%	0.29	0.32	0.35	0.39	0.42	0.46	0.56
Pendiente, superior a 7%	0.34	0.37	0.40	0.44	0.47	0.51	0.58
<b>Áreas no desarrolladas</b>							
Área de cultivos							
Plano, 0-2%	0.31	0.34	0.36	0.40	0.43	0.47	0.57
Promedio, 2-7%	0.35	0.38	0.41	0.44	0.48	0.51	0.60
Pendiente, superior a 7%	0.39	0.42	0.44	0.48	0.51	0.54	0.61
Pastizales							
Plano, 0-2%	0.25	0.28	0.30	0.34	0.37	0.41	0.53
Promedio, 2-7%	0.33	0.36	0.38	0.42	0.45	0.49	0.58
Pendiente, superior a 7%	0.37	0.40	0.42	0.46	0.49	0.53	0.60
Bosques							
Plano, 0-2%	0.22	0.25	0.28	0.31	0.35	0.39	0.48
Promedio, 2-7%	0.31	0.34	0.36	0.40	0.43	0.47	0.56
Pendiente, superior a 7%	0.35	0.39	0.41	0.45	0.48	0.52	0.58

*Nota:* Los valores de la tabla son los estándares utilizados en la ciudad de Austin, Texas. Utilizada con autorización.

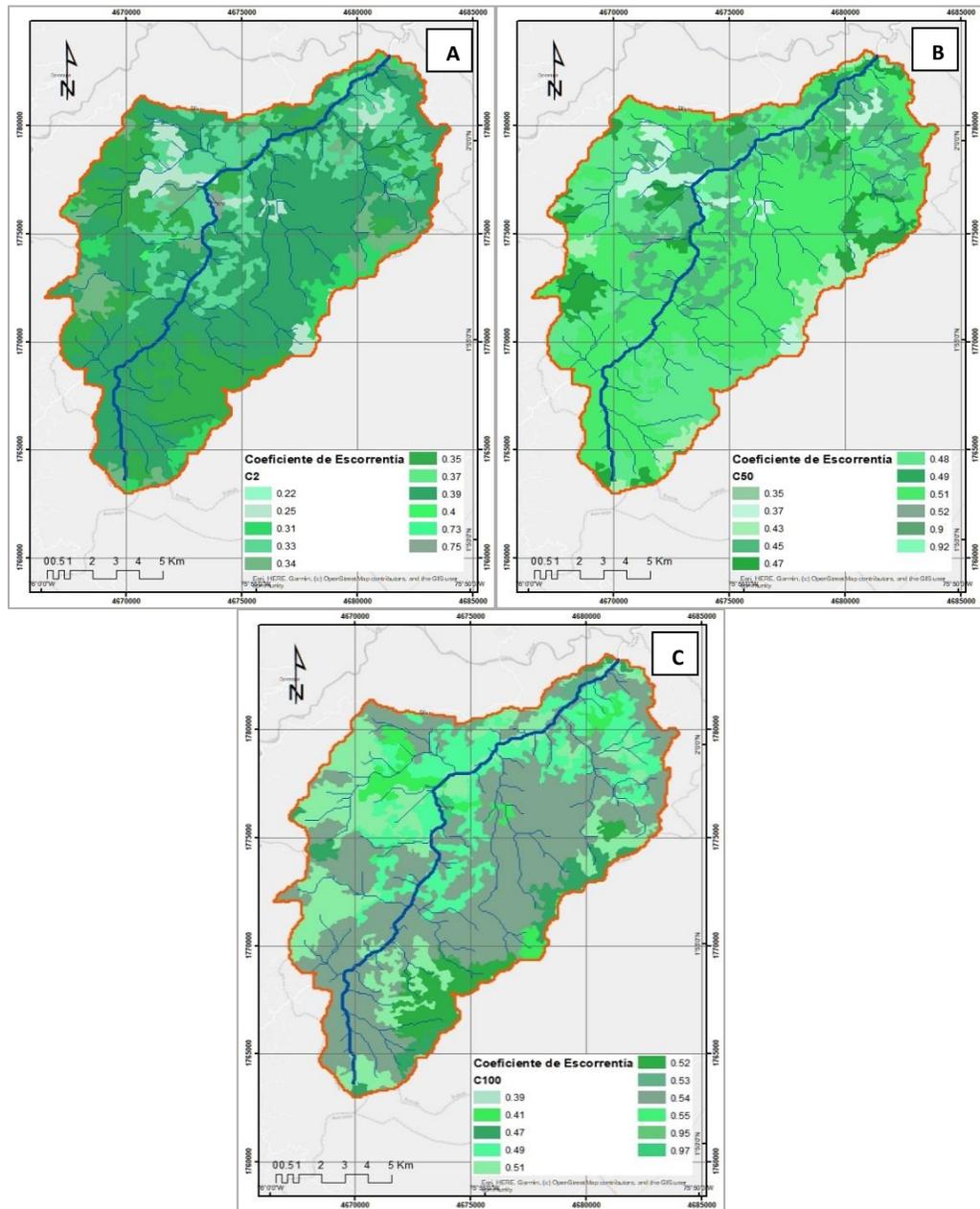


Figura 9. A: Coeficientes de escorrentía ponderados para un periodo de retorno ( $T_r$ ) de 2 años; B: Coeficientes de escorrentía ponderados para un periodo de retorno ( $T_r$ ) de 50 años; C: Coeficientes de escorrentía ponderados para un periodo de retorno ( $T_r$ ) de 100 años.

Nótese como los valores no se representan por rangos si no por valores únicos obtenidos a partir de cada tipo de cobertura.



Universidad de Caldas

**LUIS ARTURO GÓMEZ TOBÓN**  
INGENIERIA CIVIL - AMBIENTAL E HIDRÁULICA



Una vez realizado el análisis descrito anteriormente se obtienen los valores ponderados para las variables:

$$n = 0.045$$

$$C_{Tr2} = 0.33$$

$$C_{Tr50} = 0.44$$

$$C_{Tr100} = 0.47$$

### 6.3.4 Cálculo de Tiempo de Concentración:

Para este cálculo se emplean diferentes métodos que los relacionan con otros parámetros propios de la cuenca, se recomienda utilizar varias ecuaciones empíricas disponibles en la literatura, y de las cuales hemos mencionado algunas anteriormente. (Ver Tabla 3)

Tabla 3. En esta tabla se observan los parámetros morfométricos de la cuenca y los diferentes métodos para el cálculo del tiempo de concentración ( $T_c$ ).

CÁLCULO DEL TIEMPO DE CONCENTRACIÓN					
261.1					
VARIABLE	VALOR	NÚMERO	Tc (MÉTODO)	RESULTADO	Tc (min)
A (Km <sup>2</sup> )	198.230	1	KIRPICH (1942) (min)	213.00199	213.00199
L (pies)	94296.076	2	KIRPICH (I) (min)	212.17625	212.17625
L (millas)	17.770	3	KIRPICH (1990) (horas)	3.53337	212.00205
L (m)	28600.000	4	KIRPICH (II) (horas)	3.53870	212.32230
L (Km)	28.600	5	CALIFORNIA (1942) (min)	212.44623	212.44623
S = J (adim)	0.0267	6	HATHAWAY (min)	95.51596	95.51596
S (%)	2.668	7	F.A.A. (min)	318.93231	318.93231
n(hathaway)	0.045	8	FEDERAL AVIATION AGENCY (1970) (min)	318.11183	318.11183
C(F.A.A)	0.300	9	PILGRIM (min)	340.32136	340.32136
C	0.470	10	RACIONAL GENERALIZADO (min)	110.11786	110.11786
K	0.470	11	TÉMEZ (horas)	7.63817	458.29020
Z = H (m)	763.0	12	CLARK (horas)	22.58969	1355.38134
H (pies)	2502.640	13	PASSINI (I) (horas)	11.79025	707.41494
p	0.900	14	PASSINI (II) (horas)	0.00000	0.00000
β		15	CALIFORNIA CULVERT PRACTICE (1942) (h)	26.52425	1591.45487
NC		16	GEORGE RIVERO (min)	530.36969	530.36969
N (kerby)		17	FLA PARA DISEÑO DE AEROPUERTOS (min)	251.07706	251.07706
i (mm/hr)		18	FLA CALIFORNIANA U.S.B.R. (horas)	3.52269	211.36156
n (maning)	0.045	19	GIANDOTTI (horas)	4.48959	269.37512
		20	VENTURA-HERAS (horas)	19.52666	1171.59945
		21	FLA CALIFORNIA (1946)(min)	212.49126	212.49126

Luego de analizar los resultados obtenidos del tiempo de concentración por todos los métodos, se descartan los valores extremos superiores e inferiores y se obtiene un promedio entre los restantes, el resultado será el valor a emplear para el cálculo de las intensidades de lluvia. (Ver Figura 10)

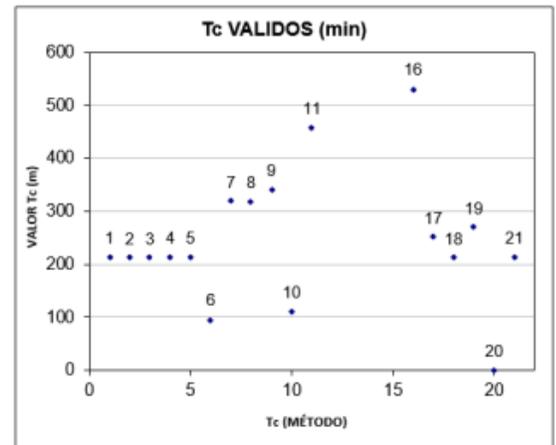


Universidad de Caldas

**LUIS ARTURO GÓMEZ TOBÓN**  
INGENIERIA CIVIL - AMBIENTAL E HIDRÁULICA



Número	Tc (MÉTODO)	Tc VALIDOS (min)
1	KIRPICH (1942) (min)	213.00199
2	KIRPICH (I) (min)	212.17625
3	KIRPICH (1990) (horas)	212.00205
4	KIRPICH (II) (horas)	212.32230
5	CALIFORNIA (1942) (min)	212.44623
6	HATHAWAY (min)	95.51596
7	F.A.A. (min)	318.93231
8	FEDERAL AVIATION AGENCY (1970) (min)	318.11183
9	PILGRIM (min)	340.32136
10	RACIONAL GENERALIZADO (min)	110.11786
11	TÉMEZ (horas)	458.29020
12	CLARK (horas)	
13	PASSINI (I) (horas)	
14	PASSINI (II) (horas)	
15	CALIFORNIA CULVERT PRACTICE (1942) (h)	
16	GEORGE RIVERO (min)	530.36969
17	FLA PARA DISEÑO DE AEROPUERTOS (min)	251.07706
18	FLA CALIFORNIANA U.S.B.R. (horas)	211.36156
19	GIANDOTTI (horas)	269.37512
20	VENTURA-HERAS (horas)	Anulado
21	FLA CALIFORNIA (1946)(min)	212.49126



**Tc Cauce Cuenca (min) 261.1**  
**Tc Cauce Cuenca (Horas) 4.4**  
**Velocidad Media (m/s) 1.8**

Figura 10. Resultados del cálculo del tiempo de concentración (Tc).

## 6.4 Meteorología

Se analiza la información disponible en el IDEAM del departamento del Huila, la variable principal a estudiar es la precipitación. Los datos diarios de la variable mencionada no tienen la calidad suficiente para un análisis estadístico detallado, sin embargo, para muchas estaciones se encuentran disponibles las curvas Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF), la cuál es suficiente para aplicar en la mayoría de métodos empíricos para el cálculo de caudal.

### 6.4.1 Estaciones meteorológicas

En el departamento del Huila se encuentran varias estaciones meteorológicas, cuya información es administrada por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), de las estaciones disponibles (ver Tabla 4), se eligieron las cuatro más cercanas al área de estudio, las cuáles fueron: Sevilla, Parque Arqueológico, Altamira el Grifo y Resina; descartando el resto de estaciones dada su lejanía. Se hace un análisis mediante polígonos de Thiessen en el que se generan a partir de un conjunto de puntos (en este caso las estaciones



Universidad de Caldas

**LUIS ARTURO GÓMEZ TOBÓN**  
INGENIERIA CIVIL - AMBIENTAL E HIDRÁULICA



seleccionadas), de tal modo que los lados de los polígonos sean equidistantes con respecto a los puntos vecinos; para encontrar el porcentaje de influencia de las estaciones en la cuenca (ver Figura 11), se puede notar que las dos estaciones que tienen influencia sobre la cuenca son Sevilla y Altamira el Grifo.

Tabla 4. Estaciones meteorológicas del departamento del Huila y su localización.

Código	Nombre Estación	Latitud				Longitud			
21015020	SEVILLA	1	49	29.4	N	76	7	49	W
21015030	PARQUE ARQUEOLOGICO	1	53	18.5	N	76	17	41.9	W
21025020	ALTAMIRA EL GRIFO	2	4	0	N	75	48	0	W
21035020	RESINA	1	54	50	N	75	40	44.4	W
21105030	ALGECIRAS	2	31	18.1	N	75	19	20.1	W
21115020	APTO BENITO SALAS	2	56	55.5	N	75	17	35	W

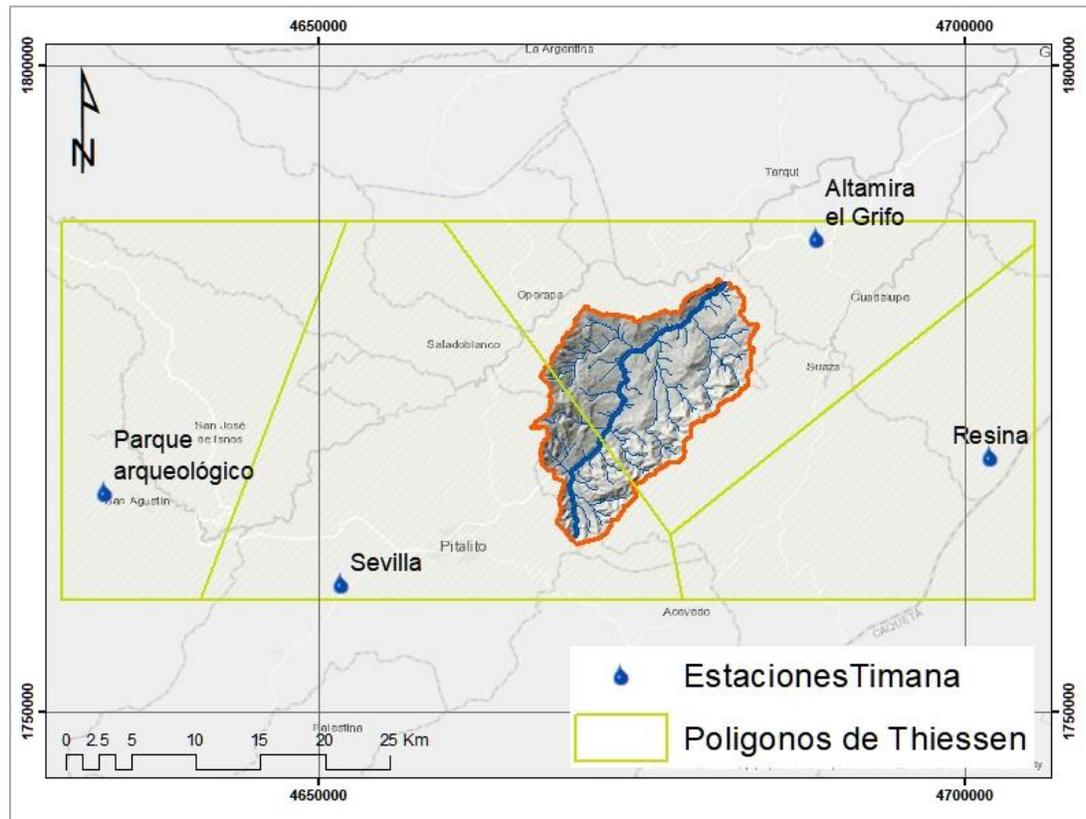


Figura 11. Análisis de estaciones Meteorológicas y Polígonos de Thiessen.

Se puede observar claramente como a partir de los polígonos de Thiessen, las estaciones de El Grifo y Sevilla se encuentran influenciando la cuenca del río Timaná.

### 6.4.2 Curvas Intensidad, Duración, Frecuencia (IDF)

Una vez realizado el análisis de influencia en el numeral anterior, se presentan las curvas

IDF correspondientes a las estaciones Sevilla y Altamira el Grifo. (Ver Figura 12 y Figura 13)

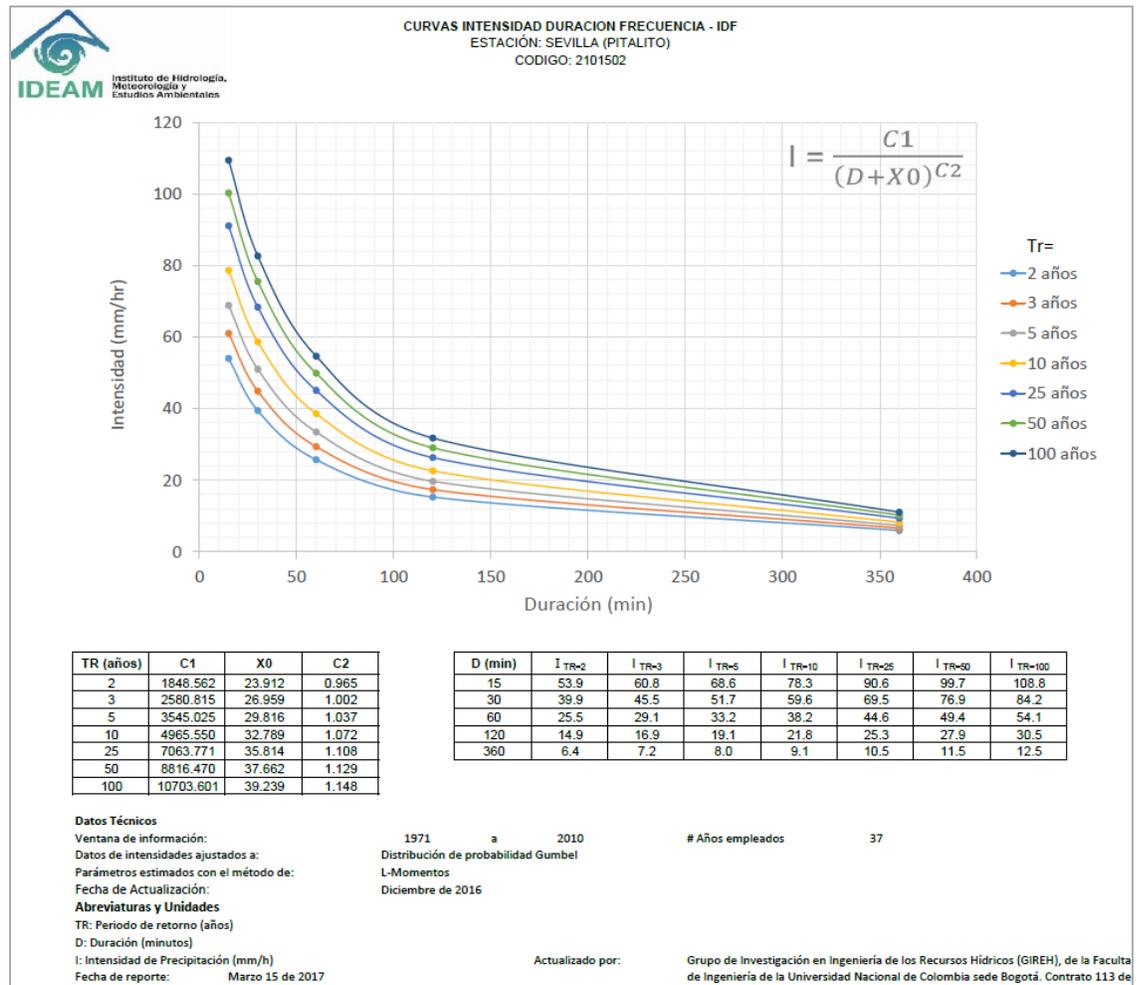


Figura 12. Curvas IDF estación Sevilla (Pitalito). (IDEAM,2016)

Estas curvas se encuentran estandarizadas para la estación mencionada y su fórmula

será usada para el cálculo de intensidades para periodos de retorno de 2,50 y 100 años.

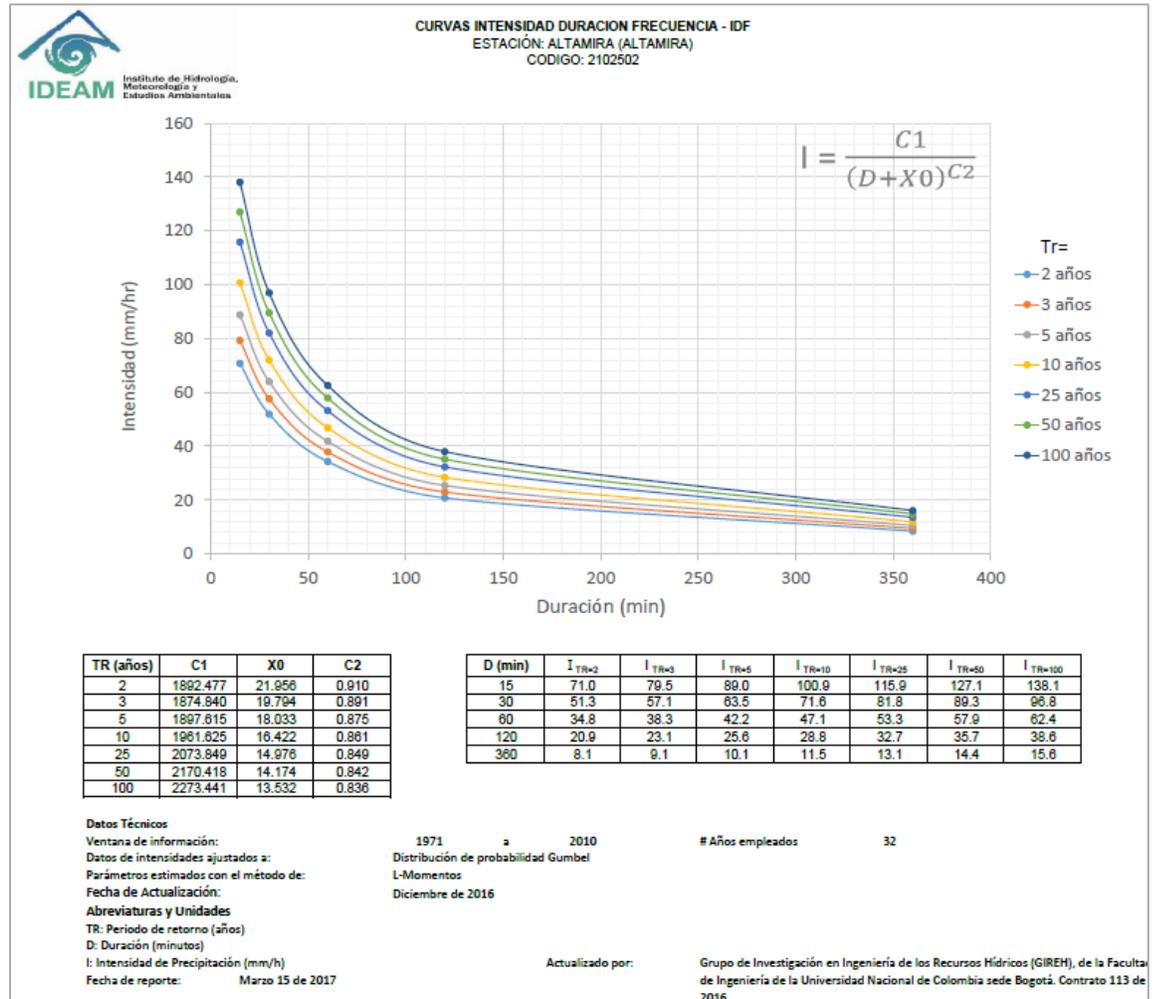


Figura 13. Curvas IDF estación Altamira el Grifo (Altamira). (IDEAM,2016)

Para el tiempo de concentración se calcula la intensidad en cada una de las estaciones para cada periodo de retorno (2, 50 y 100 años), luego se pondera el resultado de acuerdo a los porcentajes obtenidos a partir de los polígonos de Thiessen. (Ver Tabla 5)



Universidad de Caldas

**LUIS ARTURO GÓMEZ TOBÓN**  
INGENIERIA CIVIL - AMBIENTAL E HIDRÁULICA



Tabla 5. Resultados de ponderación de las intensidades.

D= T <sub>c</sub> =	261.1	min		
				Thiessen
	i2 (mm/h)	i50 (mm/h)	i100 (mm/h)	Porcentaje
Sevilla	7.9	14.15	15.32	25.9
Altamira el Grifo	11.11	19.15	20.79	74.1
<b>Ponderado</b>	<b>10.28</b>	<b>17.86</b>	<b>19.37</b>	

### 6.4.3 Lluvia de Diseño

Los métodos de hidrogramas sintéticos requieren dentro de su cálculo la cantidad de lluvia diaria asociada a periodos de retorno, debido a la carencia de serie de lluvia máxima de 24 horas se recurre al método de los aguaceros de diseño de la Soil Conservation Service (SCS) que consiste en encontrar la lluvia cuya intensidad sea igual a la calculada en el numeral 6.4.2 y ajustado a la medida de los tipos de distribución temporal de la lluvia que proporciona el método.

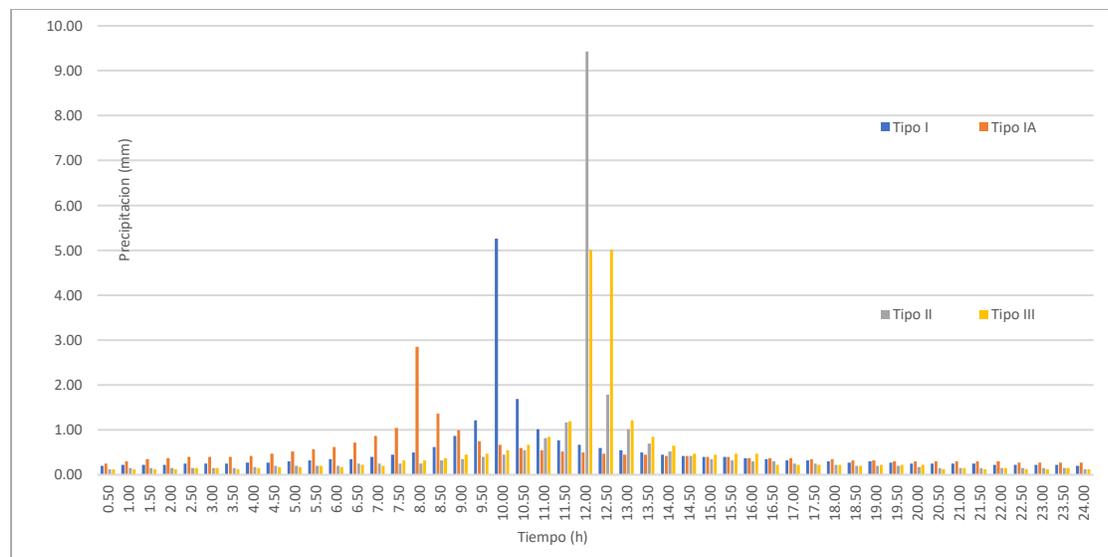


Figura 14. Lluvias de diseño SCS, Tr 2 años.

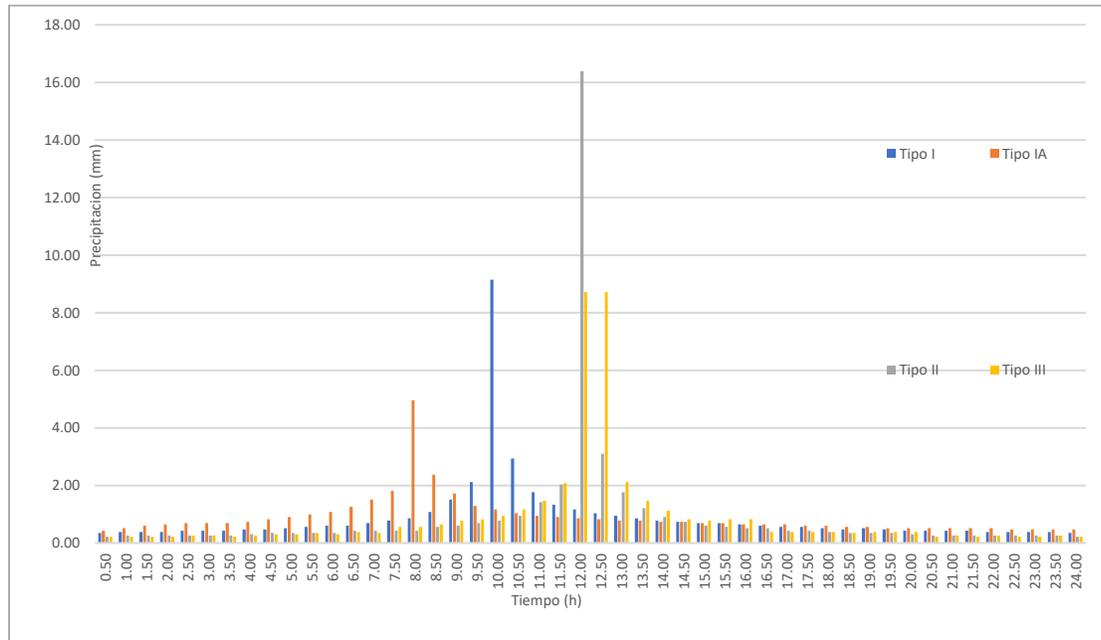


Figura 15. Lluvias de diseño SCS, Tr 50 años.

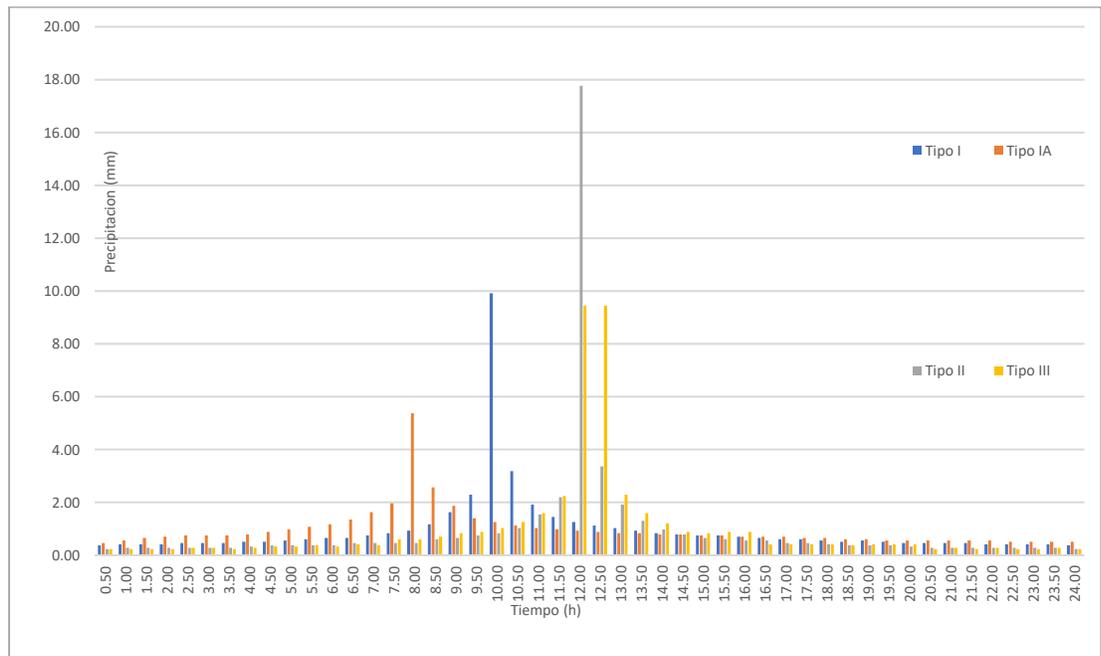


Figura 16. Lluvias de diseño SCS. Tr 100 años.

Se Puede observar que, para los hietogramas de lluvia de diseño, los hietogramas Tipo II son aquellos que muestran una mayor precipitación con respecto a los otros tipos de hietogramas de diseño.



Universidad de Caldas

**LUIS ARTURO GÓMEZ TOBÓN**  
INGENIERIA CIVIL - AMBIENTAL E HIDRÁULICA



Una vez calculada la distribución temporal de la lluvia se tiene que los resultados son presentados en la Tabla 6.

Tabla 6. Resultados de precipitación máxima.

Periodo de retorno (Tr)	Precipitación máxima
	PPT (mm)
Tr 2 años	24.8 mm
Tr 50 años	43.1 mm
Tr 100 años	46.8 mm

Se observa que, para periodos de retorno de 50 y 100 años la precipitación máxima es muy similar.

## 6.5 Cálculo de caudales

Para el cálculo de caudales se emplearon varias metodologías existentes en la literatura, como el Hidrograma Unitario Triangular, el método de Burkli-Ziegler, método Racional y el método Empírico; para cada uno de los periodos de retorno.

### 6.5.1 Método Racional

Este método empezó a utilizarse alrededor de la mitad del siglo XIX, es quizás el método más ampliamente utilizado hoy en día (Pilgrim y Linsley, 1986).

La idea detrás del método racional es que, si una lluvia con intensidad  $i$  empieza en forma instantánea y continúa en forma indefinida, la tasa de escorrentía continuará hasta que se llegue al tiempo de concentración  $T_c$ , en el cuál toda la cuenca está contribuyendo al flujo en la salida. El producto de la intensidad de lluvia  $i$  y el área de la cuenca  $A$  es el caudal de entrada al sistema,  $iA$ , y la relación entre este caudal y el caudal pico  $Q$  (que ocurre en el tiempo  $T_c$ ) se



Universidad de Caldas

**LUIS ARTURO GÓMEZ TOBÓN**  
INGENIERIA CIVIL - AMBIENTAL E HIDRÁULICA



conoce como el coeficiente de escorrentía  $C$  ( $0 \leq C \leq 1$ ). (Chow et al., 1988) Este se expresa en la fórmula racional.

$$Q = CiA$$

El método racional es empleado también en cuencas de tamaño medio si se hacen las hipótesis mínimas requeridas (ver Tabla 7). Para estimar caudales máximos a través del método racional se considera que la lluvia máxima cae con intensidad uniforme sobre toda la cuenca y que el valor del coeficiente de escorrentía representa el área de la cuenca.

El método racional se atribuye generalmente a Kuicling en 1889 y Lloyd Davis en 1906, pero Mulvaney desde 1850 había explicado claramente en un artículo, el procedimiento a seguir para la aplicación de la siguiente expresión conocida como fórmula racional. (Chow et al., 1988)

$$Qp = 0.278CiA$$

Donde,

$Qp$ : caudal máximo en  $m^3/s$  para un periodo de retorno dado.

$C$ : Coeficiente de escorrentía.

$I$ : intensidad en  $mm/h$

$A$ : área que está dada en  $km^2$

0.278 es el factor de conversión de unidades para que el caudal este dado en  $m^3/s$ .

Los efectos de la lluvia y el tamaño de la cuenca son considerados en la expresión explícitamente y otros procesos son considerados implícitamente en el tiempo de concentración y en el coeficiente de escorrentía. El almacenamiento temporal y las variaciones espacio-temporales de la lluvia no son tenidos en cuenta, razón por la cual no se debe aplicar en cuencas mayores. La intensidad se obtiene de las curvas IDF de la región de estudio o cercanas a la zona para una lluvia con una duración igual al tiempo de concentración ( $T_c$ ). (Smith y Velez, 1997).



Universidad de Caldas

**LUIS ARTURO GÓMEZ TOBÓN**  
INGENIERIA CIVIL - AMBIENTAL E HIDRÁULICA



En la literatura existen diversos autores que limitan o brindan unas condiciones de frontera para el empleo de este modelo. (Ver Tabla 7)

Tabla 7. Condiciones de área para aplicar el método racional según diversos autores. (Tomaz,2010)

Autores	Área	
	(ha)	(km <sup>2</sup> )
David H. Pilgrim e Ian Cordery (Australia) Método probabilístico, 1993	de 2000 a 50.000	20 a 500
Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica de São Paulo (FCTH) 1998 (*)	300	3
Wanielista et al.,1997	20 a 40	0,2 a 0,4
Ven Te Chow	40 a 81	0,4 a 0,81
DAEE, 2005 para pequeñas barragens	200	2
DAEE-Cetesb	até 100	1
Porto,1995	até 300	3
Linsley et al.	40 a 486	0,4 a 4,86
Paulo Sampaio Wilken	até 500	5
Linsley e Franzini	até 500	5
Osman Akan, 1993	até 1300	13
Califórnia Hihgways	até 4.050	40,5
Otto Pfasstetter	até 20.000	200
ASCE,1992	até 80	0,8
Debo e Reese,1995	até 40	0,4
Regulamento do sul da Califórnia proibe acima de oito hectares.	até 8	0,08
McCuen,1998	Pequenas Bacias	

(\*) Adotado pelo Eng° Plínio Tomaz

En la tabla se muestran los diferentes autores y las restricciones de áreas que cada uno plantea para utilizar el método racional.

## 6.5.2 Teoría del Hidrograma Unitario Triangular

Se define como hidrograma unitario, al hidrograma de escorrentía directa que resulta de una precipitación efectiva de magnitud uno (1pulg o 1cm, etc), uniformemente distribuida sobre toda la cuenca, de intensidad constante y duración específica.

La teoría del hidrograma unitarios considera esta respuesta como única, y característica de cada cuenca bajo las siguientes hipótesis:

- El sistema es invariante en el tiempo, es decir, la cuenca no ha cambiado ni de vegetación, ni de cobertura, ni de condición topográfica; y estas características no cambiantes del sistema las refleja el hidrograma de escorrentía directa



Universidad de Caldas

**LUIS ARTURO GÓMEZ TOBÓN**  
INGENIERIA CIVIL - AMBIENTAL E HIDRÁULICA



resultante de una lluvia de duración conocida. Así mismo la duración de dicho hidrograma es constante para cada cuenca.

- El sistema es lineal, eso es, las ordenadas correspondientes a hidrogramas de igual tiempo base, son proporcionales al total de escorrentía directa de cada hidrograma, lo que permite la superposición.
- La precipitación se distribuye uniformemente o de manera arbitraria invariable sobre toda la cuenca, con intensidad constante.

Los hidrogramas unitarios sintéticos son todos aquellos hidrogramas contruidos sin registros de caudal, que relacionan sus puntos principales con características geomorfológicas o morfométricas de la cuenca. Para su construcción se han desarrollado diferentes modelos, tanto conceptuales como empíricos.

La teoría del hidrograma unitario, sintético o real, se aplica para derivar hidrogramas de escorrentía directa, producidos por lluvias de cualquier magnitud e igual duración a la del hidrograma unitario conocido.

Conociendo el hidrograma unitario de una cuenca es posible calcular el hidrograma producido por cualquier precipitación suponiendo linealidad en la relación lluvia-escorrentía. Inicialmente se analizan las metodologías más simples, las cuales emplean información geomorfológicas y datos de lluvia máxima para la estimación de los caudales máximos.

$$Q_p = 0.208 \frac{A}{t_p}$$

Donde,

$Q_p$ : caudal pico en ( $m^3/s/mm$ )

$t_p$ : Tiempo pico en horas

$$t_r = 1.67 t_p$$



Universidad de Caldas

**LUIS ARTURO GÓMEZ TOBÓN**  
INGENIERIA CIVIL - AMBIENTAL E HIDRÁULICA



$$tp = \sqrt{tc} + 0.6tc$$

Donde,

tr: Tiempo de recesión en horas.

tc: Tiempo de concentración en horas.

### 6.5.3 Método de Burkli-Ziegler

En esta fórmula debe tenerse en cuenta el tiempo de concentración de la cuenca, que se supone será el mismo de la duración de la lluvia, pues en el momento en que la obra comienza a evacuar no acumulará más agua, es decir, la lluvia será de suficiente duración para permitir la llegada simultánea del agua que cae sobre toda la superficie de la cuenca a la boca o entrada de la estructura de drenaje.

$$Q = 27.78 C I S^{1/4} A^{3/4}$$

Donde,

Q: Caudal máximo en m<sup>3</sup>/s para un periodo de retorno dado.

C: Coeficiente de escorrentía.

I: Intensidad en mm/h.

S: pendiente de la cuenca (%)

A: Área de la cuenca (Km<sup>2</sup>)

### 6.5.4 Diagrama Unitario sintético del SCS

$$Qp = 0.208 * A/Tp$$

Donde,

Qp: Caudal pico (m<sup>3</sup>/s)

A: Área de drenaje de la cuenca (Km<sup>2</sup>)



Universidad de Caldas

**LUIS ARTURO GÓMEZ TOBÓN**  
INGENIERIA CIVIL - AMBIENTAL E HIDRÁULICA



Tp: tiempo al pico del hidrograma unitario triangular (h).

Para estimar el tiempo pico la Soil Conservation Service (SCS) establece la siguiente relación con el tiempo de retardo:

$$T_p = \left(\frac{10}{9}\right) T_r$$

El método del número de curva (NC), expresa el tiempo de retardo de la cuenca a través de la siguiente ecuación:

$$T_r = \frac{[^{0.8}[2540 - 22.86CN]^{0.7}]}{14104CN^{0.7}y^{0.5}}$$

Esta ecuación está restringida a números de curva NC en un rango de 52 a 95.

## 6.6 Cálculos y Resultados

Como criterio de diseño se establece el periodo de retorno de (Tr) 100 años, igualmente se calculan los caudales para Tr 2 y 50 años, con el propósito de observar el comportamiento en dichos periodos de retorno. (Ver Tabla 8, Tabla 9 y Tabla 10)



Universidad de Caldas

**LUIS ARTURO GÓMEZ TOBÓN**  
INGENIERIA CIVIL - AMBIENTAL E HIDRÁULICA



Tabla 8. Resultados de cálculo de caudal para un periodo de retorno ( $T_r$ ) de 2 años

CUENCA TIMANÁ	
Tr Años	2
Probabilidad acumulada	0.500
Ppt maxima	24.800
Ppt ( $T_c$ ) reducida	23.089
Abstracciones $I_a$ (mm)	1.835
Ppt efectiva	21.254
Coef. Escorrentía	0.360
Formula emp. K	0.417
Intensidad	10.280

Parámetros	
Área [km <sup>2</sup> ]	198.230
Longitud del cauce [km]	28.60
Pendiente cauce [m/m]	0.021
Diferencia nivel [m]	763
Tiempo Conc. [hr]	4.350
Pendiente de la cuenca milésimas	0.02790

HU triangular $t_p$	4.696
Factor Reduccion Areal	0.950
Factor Reduccion Temp	0.980
HU triangular Tiempo Base	7.8417612

Metodología	Q (m <sup>3</sup> /s)
	Tr=2 años
HU Triangular	217.76
HU Triangular SCS	186.62
Método Burkli Siegler	195.14
Método Racional	203.94
<b>PROMEDIO</b>	200.87
<b>MEDIANA</b>	199.54
<b>MEDIA GEOMÉTRICA</b>	200.54
<b>MEDIA ARMÓNICA</b>	200.22
<b>PERCENTIL 95%</b>	207.40

Máximo
<b>217.76</b> m <sup>3</sup> /s



Tabla 9. Resultados de cálculo de caudal para un periodo de retorno ( $T_r$ ) de 50 años.

CUENCA TIMANÁ	
Tr Años	<b>50</b>
Probabilidad acumulada	0.980
Ppt maxima	43.100
Ppt ( $T_c$ ) reducida	40.126
Abstracciones $I_a$ (mm)	3.189
Ppt efectiva	36.937
Coef. Escorrentía	0.480
Formula emp. K	4.090
Intensidad	17.860

Parámetros	
Área [ $km^2$ ]	198.230
Longitud del cauce [km]	28.60
Pendiente cauce [m/m]	0.021
Diferencia nivel [m]	763
Tiempo Conc. [hr]	4.350
Pendiente de la cuenca milésimas	0.02790

HU triangular $t_p$	4.696
Factor Reduccion Areal	0.980
Factor Reduccion Temp	0.950
HU triangular Tiempo Base	7.8417612

Métodología	Q ( $m^3/s$ ) Tr=50 años
HU Triangular	324.33
HU Triangular SCS	324.33
Método Burkli Siegler	452.04
Método Racional	472.43
<b>PROMEDIO</b>	393.29
<b>MEDIANA</b>	388.19
<b>MEDIA GEOMÉTRICA</b>	387.15
<b>MEDIA ARMÓNICA</b>	381.12
<b>PERCENTIL 95%</b>	457.14

Máximo

**472.43**  $m^3/s$

Tabla 10. Resultados de cálculo de caudal para un periodo de retorno ( $T_r$ ) de 100 años.

CUENCA TIMANÁ	
Tr Años	<b>100</b>
Probabilidad acumulada	0.990
Ppt maxima	46.880
Ppt ( $T_c$ ) reducida	43.645
Abstracciones $I_a$ (mm)	3.469
Ppt efectiva	40.176
Coef. Escorrentía	0.520
Formula emp. K	5.237
Intensidad	19.370

Parámetros	
Área [ $km^2$ ]	198.230
Longitud del cauce [km]	28.60
Pendiente cauce [m/m]	0.021
Diferencia nivel [m]	763
Tiempo Conc. [hr]	4.350
Pendiente de la cuenca milésimas	0.02790

HU triangular $t_p$	4.696
Factor Reduccion Areal	0.980
Factor Reduccion Temp	0.950
HU triangular Tiempo Base	7.8417612

Métodología	Q ( $m^3/s$ ) Tr=100 años
HU Triangular	352.78
HU Triangular SCS	352.78
Método Burkli Ziegler	531.11
Método Racional	555.07
<b>PROMEDIO</b>	447.94
<b>MEDIANA</b>	441.95
<b>MEDIA GEOMÉTRICA</b>	437.66
<b>MEDIA ARMÓNICA</b>	427.64
<b>PERCENTIL 95%</b>	537.10

Máximo

**555.07**  $m^3/s$

## 6.7 Hidráulica

La modelación hidráulica se realizó para 10 puntos diferentes a lo largo el río Timaná en los que se presenta socavación lateral y pérdida de banca sobre carretera principal; y en algunos que contienen puente, estas estructuras presentan saturación de material transportado. Ya que el procedimiento para hallar las manchas de inundación, velocidad, esfuerzo cortante y profundidad es similar para todos los puntos, solo se presenta como ejemplo el punto 01-SI12-32.7 en el que hay socavación lateral del río y pérdida de banca.

### 6.7.1 Punto 01-SI12-32.7

Este punto representa una zona de inestabilidad aguas abajo correspondiente al estudio. Se encuentra a 11 Km al noreste de la cabecera municipal de Timaná por la vía principal Timaná-Altamira.

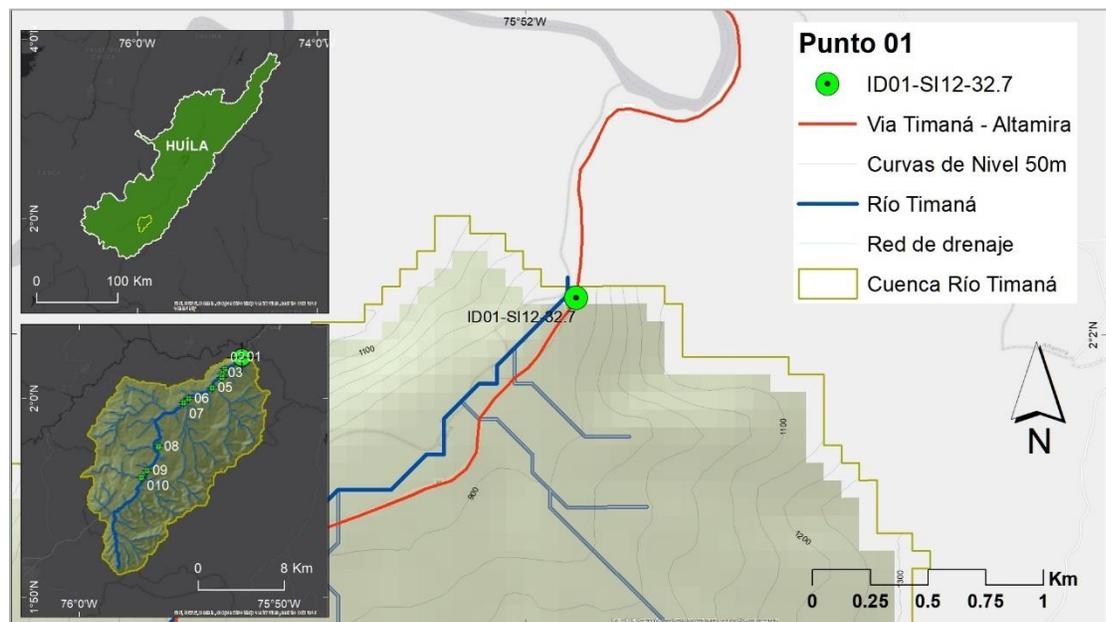


Figura 17. Localización Punto 01-SI12-32.7 correspondiente a la modelación hidráulica.

Se puede observar en la imagen la distribución de todos los puntos hidráulicos que se modelaron durante el estudio, y en la parte central la ubicación del punto al que se mostrarán los resultados.

#### 6.7.1.1 Análisis punto 01-SI12-32.7

En este punto se presenta un desprendimiento del talud que da soporte a la vía por causa de una socavación lateral provocada por el cauce.



Figura 18. Evidencia de pérdida de banca producto de la socavación lateral dada por el río Timaná, en la vía que comunica el municipio de Timaná con Altamira.

Se realiza la modelación hidráulica con el objetivo de determinar las características propias del cauce y sus dinámicas que brinden la información necesaria para el diseño de estructuras geotécnicas con el fin de proteger la vía.

### 6.7.1.2 Topografía

Para el desarrollo de los estudios en el sector, se realizan levantamientos topográficos detallados (ver Figura 19), que como resultado proporcionan una superficie idónea para ser usados como entrada del modelo. De la topografía se extraen las características geométricas necesarias para el desarrollo del modelo, tales como: curvas de nivel, líneas de quiebre, superficie de agua en el momento del levantamiento, estructuras existentes, etc. Con estos elementos se carga el modelo computacional como data de entrada para las condiciones de terreno.

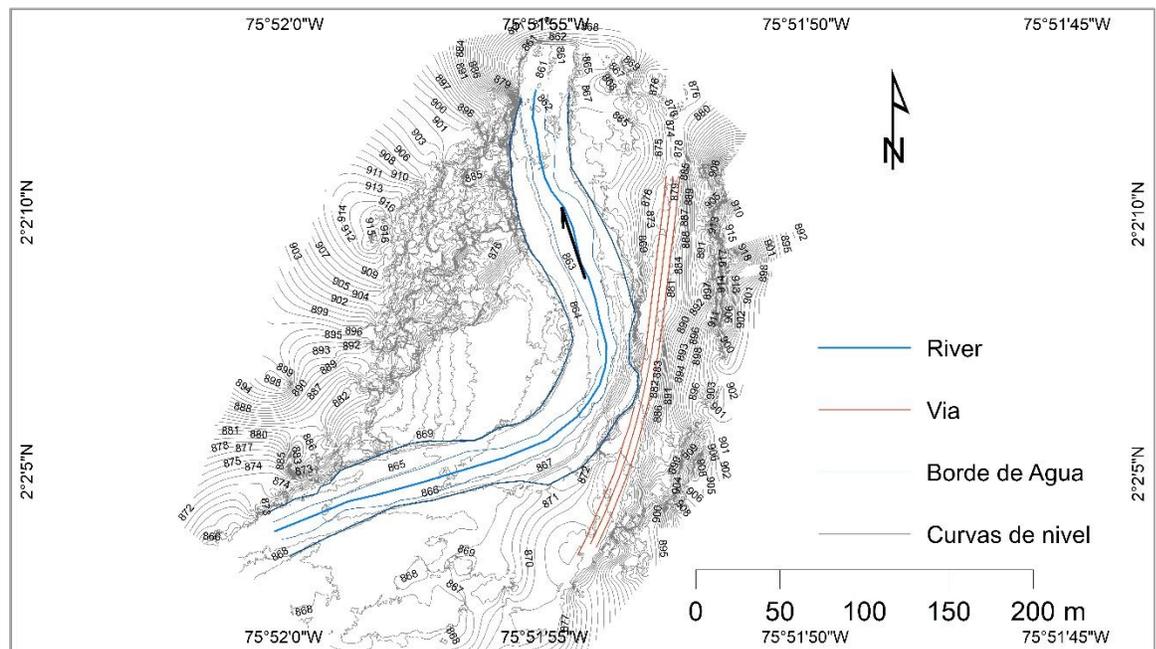


Figura 19. Topografía punto 01-SI12-32.7

Se puede observar en la topografía el sitio de socavación lateral a causa del río y cómo amenaza el desprendimiento de banca sobre la vía principal.



Universidad de Caldas

**LUIS ARTURO GÓMEZ TOBÓN**  
INGENIERIA CIVIL - AMBIENTAL E HIDRÁULICA



### 6.7.1.3 Modelo hidráulico

La modelación hidráulica consiste en la representación computacional de un fenómeno real, en este caso, las características hidráulicas de un cauce al fluir una cierta cantidad de agua. Con la ayuda de software computacionales, en este caso HEC-RAS v 5.0, se calculan dichas características resolviendo la ecuación de Manning sección por sección; a este tipo de modelación hidráulica se le denomina como modelación hidráulica de una dimensión (1D). Conjuntamente con la ecuación de la continuidad se pueden resolver las características principales en cada sección.

$$Q = V * A$$

Donde,

Q: Caudal en (m<sup>3</sup>/s)

V: Velocidad media (m/s)

A: Área de la sección transversal (m<sup>2</sup>)

Ecuación de Manning:

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

$$R = \frac{A}{P}$$

Donde,

V: Velocidad media (m/s)

n: Rugosidad de Manning (adim)

R: Radio hidráulico (m<sup>2</sup>/m)

S: pendiente (m/m)

A: Área mojada (m<sup>2</sup>)

P: Perímetro mojado (m).

### 6.7.1.3.1 Geometría

Se producen todos los elementos necesarios para realizar el modelo, comenzando por generar un TIN con los recursos obtenidos a partir de la topografía, con esta información se determina el cauce, las bancas, Llanura de Inundación (Flowpath) y Secciones transversales (XS Section). Cada uno de estos elementos forma parte de la geometría requerida para la realización del modelo hidráulico. (Ver Figura 20)

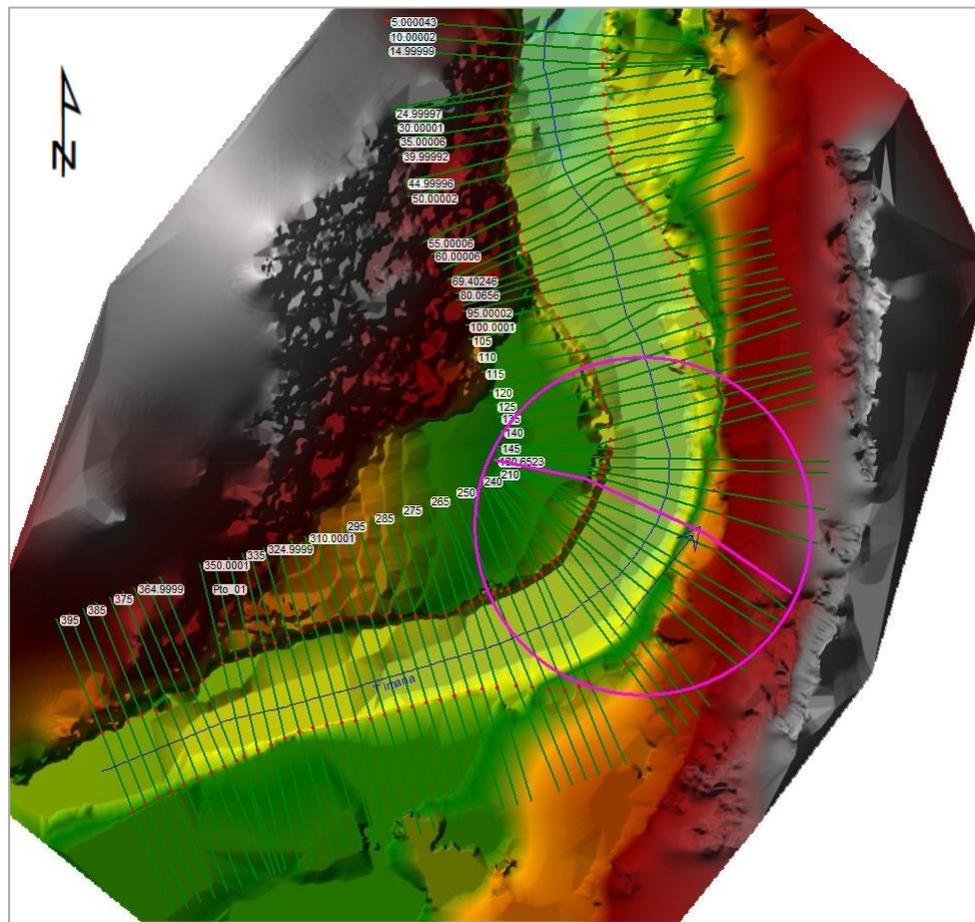


Figura 20. TIN y Geometría modelo HEC-RAS 5.0.

Esta figura pretende resaltar una sección transversal representativa en el modelo, ya que esta hace parte del sitio en el que se presenta el desprendimiento de la banca.



Universidad de Caldas

**LUIS ARTURO GÓMEZ TOBÓN**  
INGENIERIA CIVIL - AMBIENTAL E HIDRÁULICA



#### 6.7.1.3.2 Planimetría

La planimetría se compone de varios elementos, en este caso particular se determina el eje del cauce, las bancas y la llanura de inundación. Adicionalmente se sacan cortes transversales, perpendiculares al eje del río, para los que se determina su forma y su coeficiente de rugosidad como valores de entrada; esto para obtener principalmente la sección mojada, sus características de velocidad, esfuerzo cortante y energía.

El stream centerline (eje del río) y se traza en la dirección que corre el cauce, procurando mantener las distancias entre los bordes del río.

Los flowpath (llanura de inundación) se trazan a partir del eje del río, haciendo un buffer para conservar la simetría entre el eje del río, éstos también deben trazarse en la misma dirección del cauce.

Las bancas son la representación del canal del río. Se trazan a partir del cambio de cobertura presente en el terreno creando una división entre el cauce y ambas márgenes, esto con el fin de asignar coeficientes de rugosidad diferentes para cada componente de la sección, así el cauce tendrá un coeficiente de rugosidad diferente al de las márgenes fuera de las bancas.

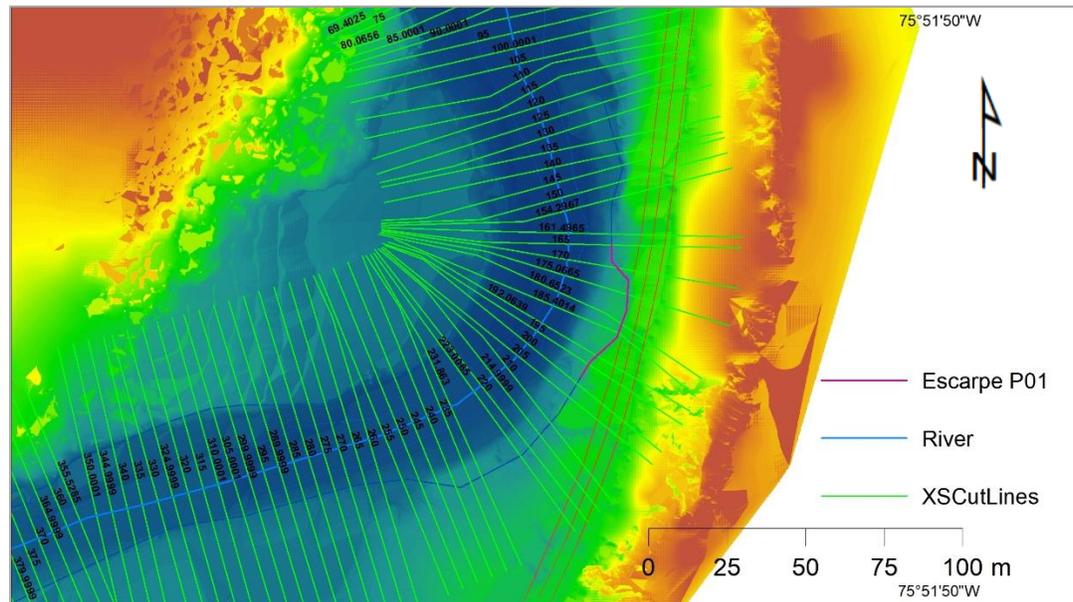


Figura 21. Planimetría del modelo hidráulico.

Se observa la distribución de las secciones transversales al largo del río y como se resalta el sitio que se está viendo afectado por la socavación lateral del río Timaná.

#### 6.7.1.3.3 Secciones transversales

Las secciones transversales (XS Section), son cortes que se trazan perpendiculares al eje del cauce, y que permiten ver los perfiles del río con el fin de evaluar su comportamiento hidráulico a través de su recorrido, determinando mediante la ecuación de Manning variables como la velocidad, esfuerzo cortante, energía, nivel de agua, etc.

#### 6.7.1.3.4 Coeficiente de rugosidad

En el sitio se realizan sondeos de suelo que determinan características fisicoquímicas del suelo, a partir de estos análisis se establece un coeficiente de rugosidad para el lecho del río. Por otra parte, con el método comparativo propuestos en el Manual de Hidrología de Antioquia (Smith y Vélez,1997), se determina un coeficiente “n” para las zonas ribereñas.



Universidad de Caldas

**LUIS ARTURO GÓMEZ TOBÓN**  
INGENIERIA CIVIL - AMBIENTAL E HIDRÁULICA



#### 6.7.1.3.5 Período de retorno

Por definición el periodo de retorno es el inverso de la probabilidad de ocurrencia en un año, sin embargo, el riesgo de fallo es la probabilidad de que un evento asociado a un periodo de retorno determinado se presente al menos una vez durante la vida útil de la estructura. Para determinar los caudales a modelar se analiza la probabilidad de fallo de la estructura a construir, para lo que se hace necesario determinar probabilidades de ocurrencia y riesgo de fallo.

El riesgo de fallo está dado por el periodo de retorno y el tiempo de duración planificado para la obra de la siguiente manera:

$$R = 1 - \left(1 - \frac{1}{T_r}\right)^n$$

Donde,

$T_r$ : Periodo de retorno (años)

P: Probabilidad de ocurrencia

R: Riesgo de fallo

n: Vida útil de la estructura (años)

De acuerdo a lo expresado anteriormente, se puede observar en la Figura 22, de acuerdo al tiempo planeado de duración de la estructura el riesgo de fallo varía.

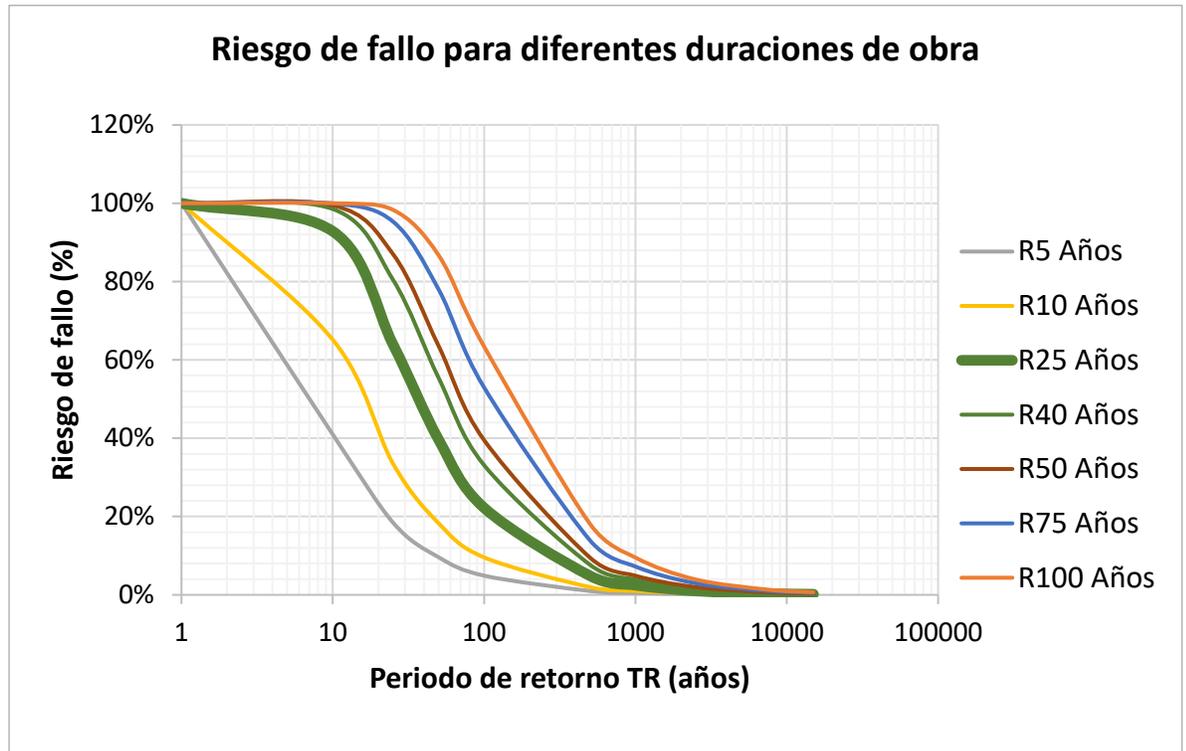


Figura 22. Riesgo de fallo para diferentes periodos de retorno y tiempos de duración.

Si la estructura es construida para un periodo de 25 años, el riesgo de fallo es de 100% para un evento con un periodo de retorno de 2 años, 40% para un evento de 50 años, y del 22% para un evento de 100 años, es decir, con una probabilidad anual de ocurrencia del 10%. Lo anterior significa que la estructura soportará al menos un evento con 100 años de periodo de retorno con una probabilidad del 22%. (Ver Tabla 11)

Tabla 11. Riesgo de fallo para 25 años de vida de la estructura.

Tr	P	n	R
2	0.5	25	100%
50	0.02	25	40%
100	0.01	25	22%

Por esta razón los periodos de retorno elegidos para la modelación son 2,50 y 100 años, dados que presentan riesgos de fallo característicos.



Universidad de Caldas

**LUIS ARTURO GÓMEZ TOBÓN**  
INGENIERIA CIVIL - AMBIENTAL E HIDRÁULICA



#### 6.7.1.3.6 Condiciones de frontera

Las condiciones de frontera en este caso son la pendiente media del cauce tanto a la entrada como a la salida, este dato permite realizar la modelación de la primera y última sección. La pendiente media del cauce en la zona es del 2% por lo tanto en el software HEC-RAS, se declaran las condiciones de frontera para profundidad normal con una pendiente del 2%.

#### 6.7.1.3.7 Condiciones de flujo

Existen tres condiciones de flujo a modelar en el software HEC-RAS, super crítico, subcrítico y mixto. Estas condiciones dependen del nivel alcanzado por la lámina de agua, si ésta se encuentra por encima en la altura crítica el flujo será super crítico, por el contrario, si se encuentra por debajo el flujo será subcrítico. La condición subcrítica supone velocidades menores, por lo tanto, láminas de agua altas. Esta modelación pretende un análisis del lado de la seguridad, es por esto que se trabaja en la condición de flujo subcrítica.

#### 6.7.1.4 Resultados

Luego de correr la modelación hidráulica en el software HEC-RAS 5.0, se analizan los resultados para las variables: altura de la lámina de agua, velocidades en cada una de las secciones, mapas de inundación, velocidad, energía y esfuerzo cortante.

##### 6.7.1.4.1 Sección típica sobre el sitio del escarpe o pérdida de banca.

En el sitio del desprendimiento se realiza el análisis de los fenómenos hidráulicos.

Las secciones representativas en el sitio de escarpe son localizadas en las abscisas 185.4014, 180.6523, 175.0665 y 170. El análisis para todas las secciones modeladas puede observarse en el anexo 1, a continuación, se describen los resultados para la sección 180.6523 al igual que los mapas en planta para la sección del cauce que se analizó.

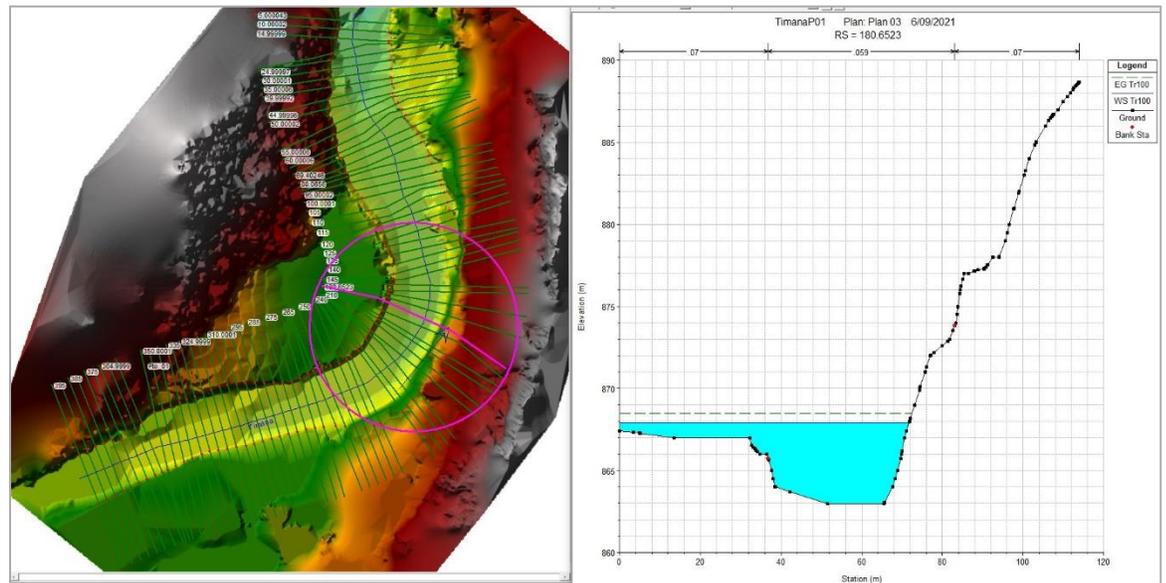


Figura 23. Sección transversal 180.6523, al lado izquierdo se observa la vista en planta, y al lado derecho el perfil del río en dicha sección.

Exageración vertical del perfil del río 1 a 4 m.

En las Tabla 12, Tabla 13 y Tabla 14 se encuentran los resultados de las variables para cada periodo de retorno evaluado, dado que el evento para 100 años de periodo de retorno es el evento de diseño se procede a analizar esta condición. Para un caudal total de  $555.07 \text{ m}^3/\text{s}$ , se obtiene una velocidad media en la sección de  $3.05 \text{ m/s}$  y una profundidad máxima de  $4.9 \text{ m}$ . La energía total se localiza en la cota  $868.48$  es decir,  $0.58 \text{ m}$  por encima de la lámina de agua. En cuanto al esfuerzo cortante es mayor en el canal que en las bancas, con valores de  $263.71$  y  $59.99 \text{ N/m}^2$  respectivamente.



Universidad de Caldas

**LUIS ARTURO GÓMEZ TOBÓN**  
INGENIERIA CIVIL - AMBIENTAL E HIDRÁULICA



Tabla 12. Parámetros Hidráulicos sección 180.6523 para un Tr 100 años.

Cross Section Output					
File Type Options Help					
River: Timana		Profile: Tr100			
Reach: Pto_01		RS: 180.6523		Plan: P03	
Plan: P03 Timana Pto_01 RS: 180.6523 Profile: Tr100					
Element		Left OB	Channel	Right OB	
E.G. Elev (m)	868.48				
Vel Head (m)	0.58	0.070	0.059		
W.S. Elev (m)	867.90	1.28	5.59	15.26	
Crit W.S. (m)					
E.G. Slope (m/m)	0.006816	33.79	148.26		
Q Total (m3/s)	555.07	33.79	148.26		
Top Width (m)	71.72	37.08	517.99		
Vel Total (m/s)	3.05	36.82	34.90		
Max Chl Dpth (m)	4.90	1.10	3.49		
Conv. Total (m3/s)	6723.4	0.92	4.25		
Length Wtd. (m)	5.30	449.2	6274.2		
Min Ch El (m)	863.00	37.65	37.58		
Alpha	1.23	59.99	263.71		
Frctn Loss (m)	0.04	65.83	921.35		
C & E Loss (m)	0.00	1.75	27.96	3.77	
		1.88	6.84	2.13	

Tabla 13. Parámetros Hidráulicos sección 180.6523 para un Tr 50 años.

Cross Section Output					
File Type Options Help					
River: Timana		Profile: Tr50			
Reach: Pto_01		RS: 180.6523		Plan: P03	
Plan: P03 Timana Pto_01 RS: 180.6523 Profile: Tr50					
Element		Left OB	Channel	Right OB	
E.G. Elev (m)	868.08				
Vel Head (m)	0.57	0.070	0.059		
W.S. Elev (m)	867.51	1.28	5.59	15.26	
Crit W.S. (m)					
E.G. Slope (m/m)	0.007117	19.55	134.86		
Q Total (m3/s)	472.43	19.55	134.86		
Top Width (m)	71.22	15.33	457.10		
Vel Total (m/s)	3.06	36.82	34.40		
Max Chl Dpth (m)	4.51	0.78	3.39		
Conv. Total (m3/s)	5600.2	0.53	3.92		
Length Wtd. (m)	5.45	181.7	5418.5		
Min Ch El (m)	863.00	37.26	36.95		
Alpha	1.19	36.62	254.72		
Frctn Loss (m)	0.04	28.71	863.38		
C & E Loss (m)	0.00	1.01	24.94	2.81	
		1.28	6.82	1.88	



Universidad de Caldas

**LUIS ARTURO GÓMEZ TOBÓN**  
INGENIERIA CIVIL - AMBIENTAL E HIDRÁULICA



Tabla 14. Parámetros Hidráulicos sección 180.6523 para un Tr 2 años.

Cross Section Output					
File Type Options Help					
River:	Timana	Profile:	Tr2		
Reach:	Pto_01	RS:	180.6523	Plan:	P03
Plan: P03 Timana Pto_01 RS: 180.6523 Profile: Tr2					
E.G. Elev (m)	866.45	Element	Left OB	Channel	Right OB
Vel Head (m)	0.31	Wt. n-Val.	0.070	0.059	
W.S. Elev (m)	866.14	Reach Len. (m)	1.28	5.59	15.26
Crit W.S. (m)		Flow Area (m <sup>2</sup> )	0.37	88.58	
E.G. Slope (m/m)	0.006113	Area (m <sup>2</sup> )	0.37	88.58	
Q Total (m <sup>3</sup> /s)	217.76	Flow (m <sup>3</sup> /s)	0.11	217.65	
Top Width (m)	35.80	Top Width (m)	2.62	33.18	
Vel Total (m/s)	2.45	Avg. Vel. (m/s)	0.29	2.46	
Max Chl Dpth (m)	3.14	Hydr. Depth (m)	0.14	2.67	
Conv. Total (m <sup>3</sup> /s)	2785.1	Conv. (m <sup>3</sup> /s)	1.4	2783.7	
Length Wtd. (m)	5.58	Wetted Per. (m)	2.72	35.08	
Min Ch El (m)	863.00	Shear (N/m <sup>2</sup> )	8.12	151.36	
Alpha	1.01	Stream Power (N/m s)	2.39	371.91	
Frctn Loss (m)	0.03	Cum Volume (1000 m <sup>3</sup> )	0.20	14.96	0.41
C & E Loss (m)	0.00	Cum SA (1000 m <sup>2</sup> )	0.28	6.64	0.55

Se puede observar en los parámetros hidráulicos, como los resultados para los periodos de retorno 50 y 100 años son muy similares en su velocidad y profundidad.

#### 6.7.1.4.2 Perfiles del cauce

Se analizan los resultados generales en el tramo del río y en particular en una sección representativa en el sitio del escarpe. Se analizan principalmente la velocidad del cauce y su esfuerzo cortante sobre las paredes de la sección. (ver Figura 24)

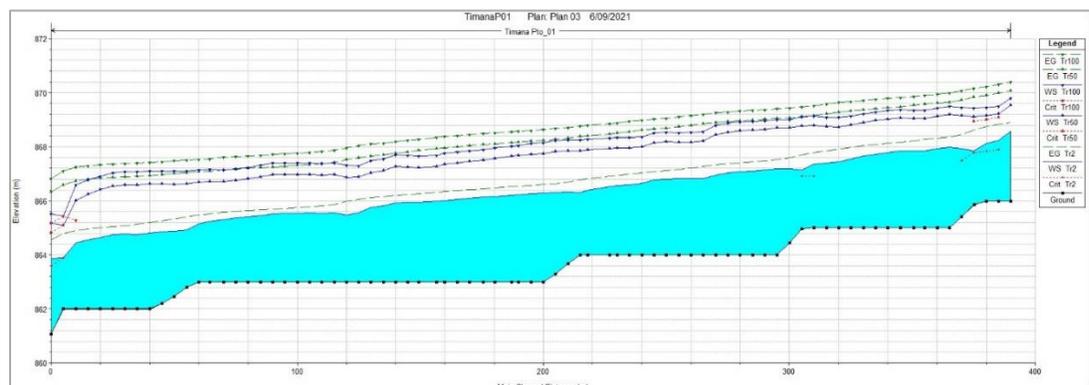


Figura 24. Perfil longitudinal del cauce en el punto 01.



Universidad de Caldas

**LUIS ARTURO GÓMEZ TOBÓN**  
INGENIERIA CIVIL - AMBIENTAL E HIDRÁULICA



Se obtienen los resultados de la modelación para los periodos de retorno 2,50 y 100 años, siendo el caudal para este último periodo de retorno el caudal de diseño par las obras propuestas.

#### 6.7.1.4.3 Velocidades

Se presentan los perfiles de velocidad a lo largo del tramo analizado sobre el río Timaná.

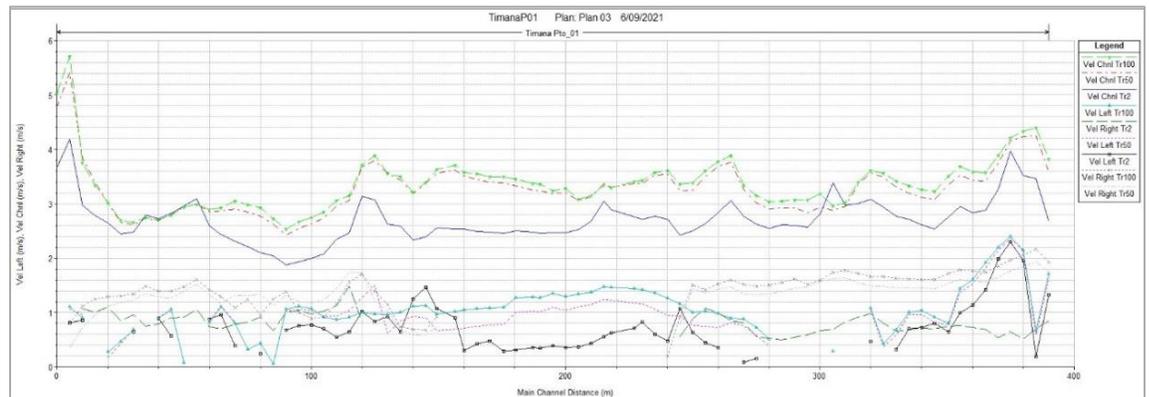


Figura 25. Perfil de velocidad para el tramo del río Timaná y sus diferentes periodos de retorno.

Nótese como los valores más críticos de velocidad corresponden a un periodo de retorno de 100 años.

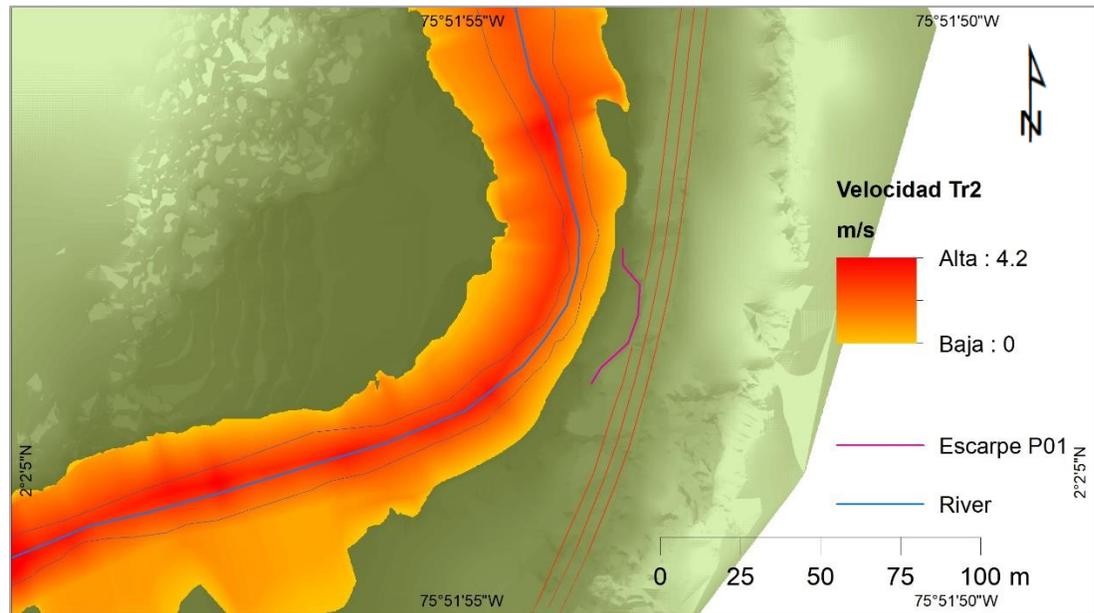


Figura 26. Resultado de modelación de velocidad, vista en planta para un Tr 2 años.

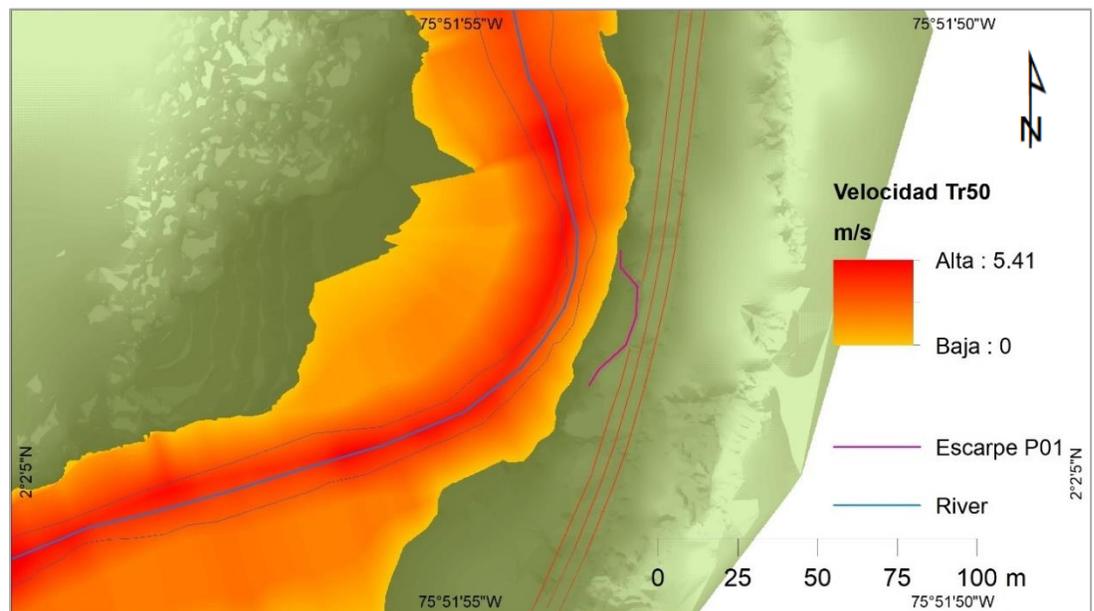


Figura 27. Resultado de modelación de velocidad, vista en planta para un Tr 50 años

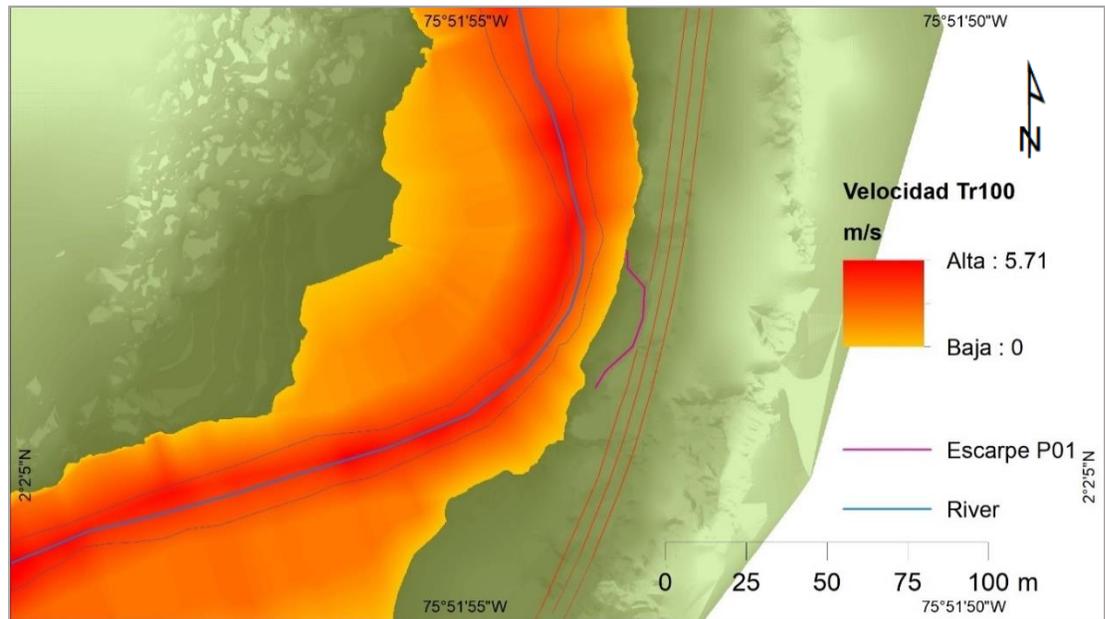


Figura 28. Resultado de modelación de velocidad, vista en planta para un Tr 100 años

En los resultados se observa como la velocidad máxima se concentra en el canal del río, y que para los periodos de retorno 50 y 100 años son similares.

#### 6.7.1.4.4 Energía

En el siguiente perfil se presenta la energía total para la zona de estudio.

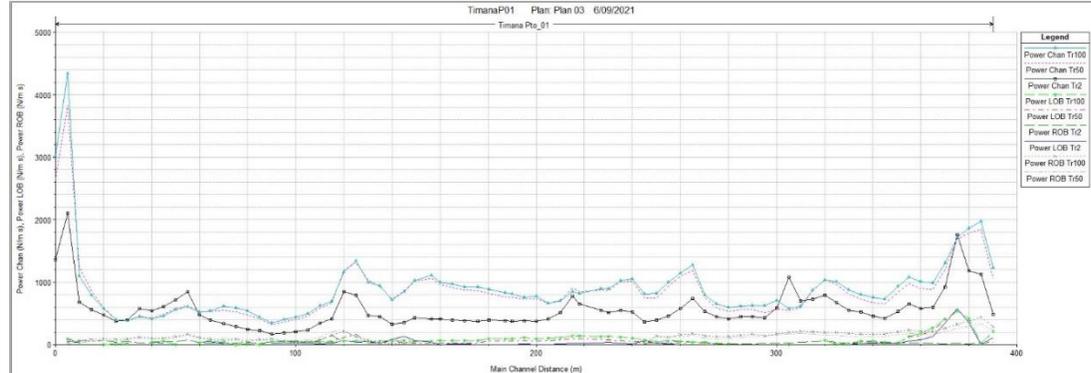


Figura 29. Perfil de energía para el punto 1.

Se observa que la mayor cantidad de energía pertenece al periodo de retorno ( $Tr$ ) de 100 años

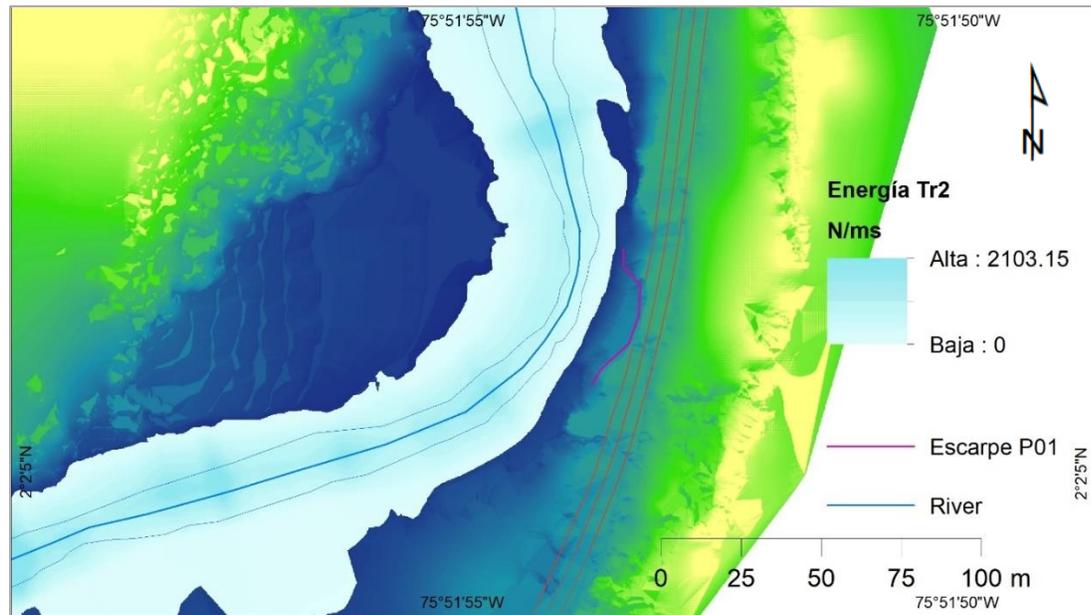


Figura 30. Resultado de energía vista en planta para un  $Tr$  2 años.

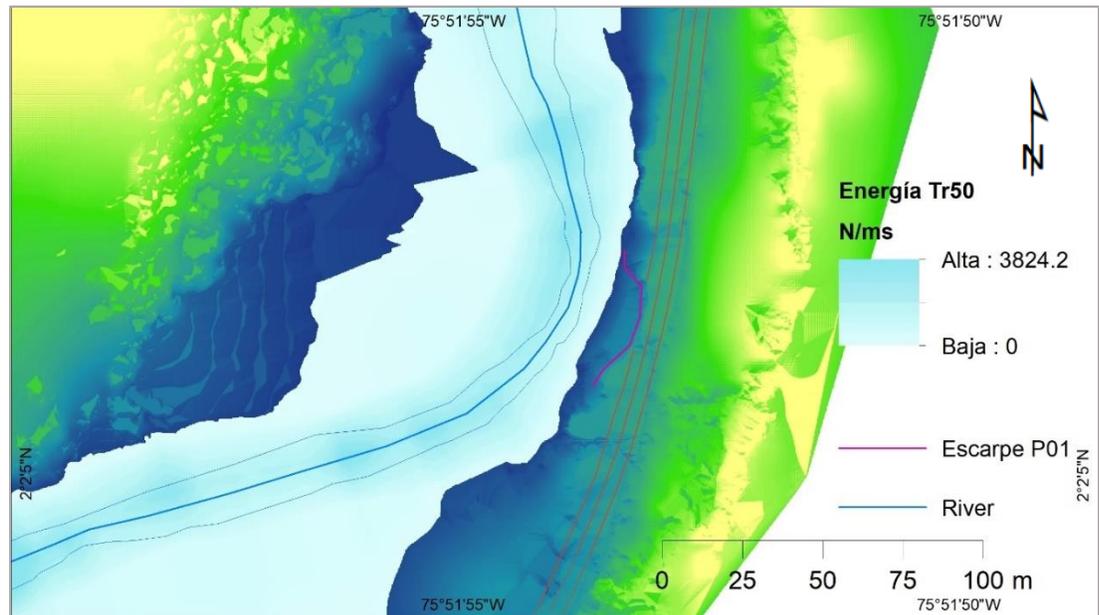


Figura 31. Resultado de energía vista en planta para un Tr 50 años.

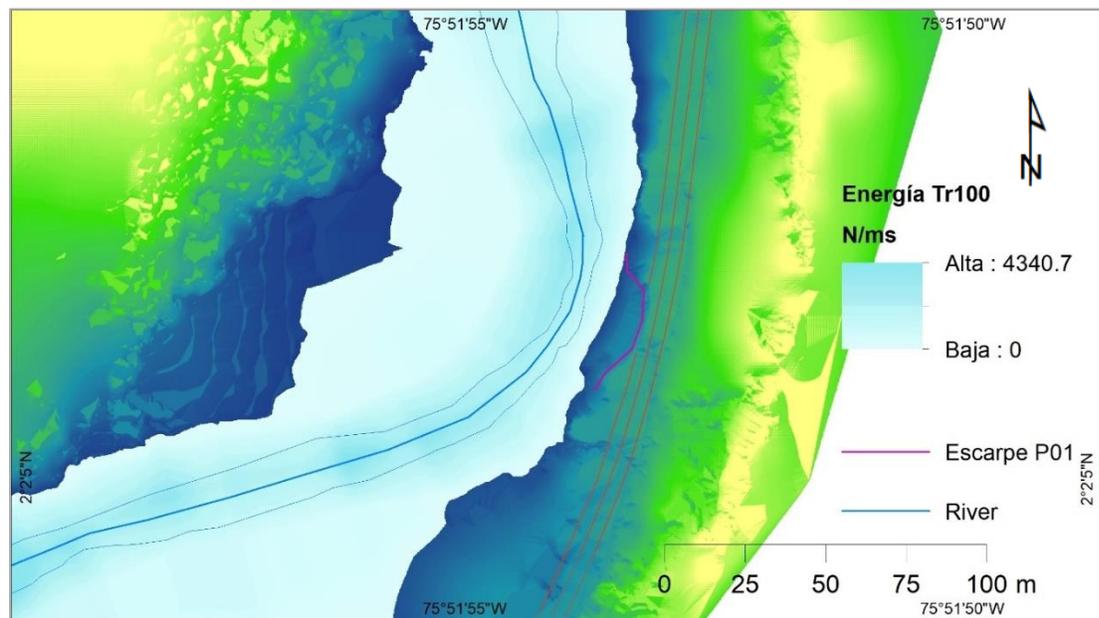


Figura 32. Resultado de energía vista en planta para un Tr 100 años.

La energía máxima para periodos de retorno de 50 y 100 años es muy cercana, y se observar cómo se concentra en el canal del río.

#### 6.7.1.4.5 Esfuerzo cortante

En el siguiente perfil se presenta el esfuerzo cortante total para la zona de estudio.

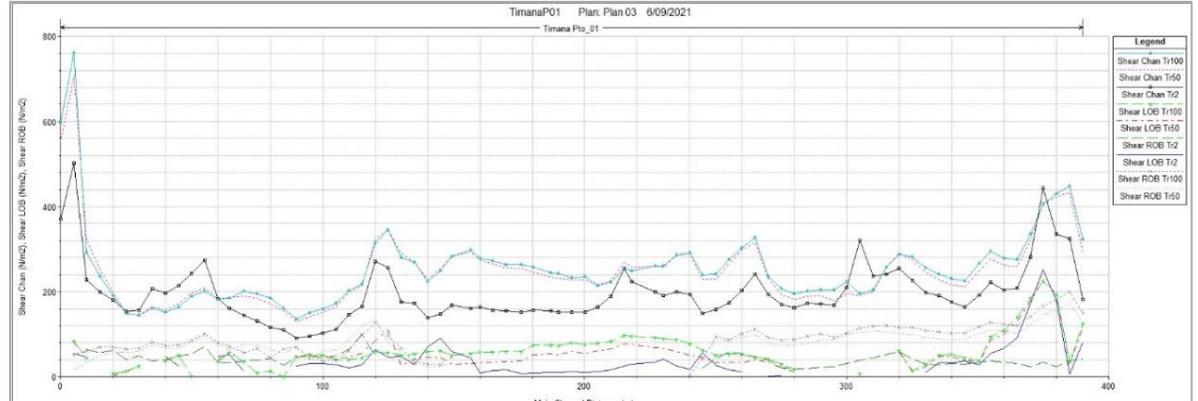


Figura 33. Perfil de esfuerzo cortante en los diferentes periodos de retorno en la zona de estudio.

El esfuerzo cortante para un periodo de 100 años es el más representativo en este perfil.

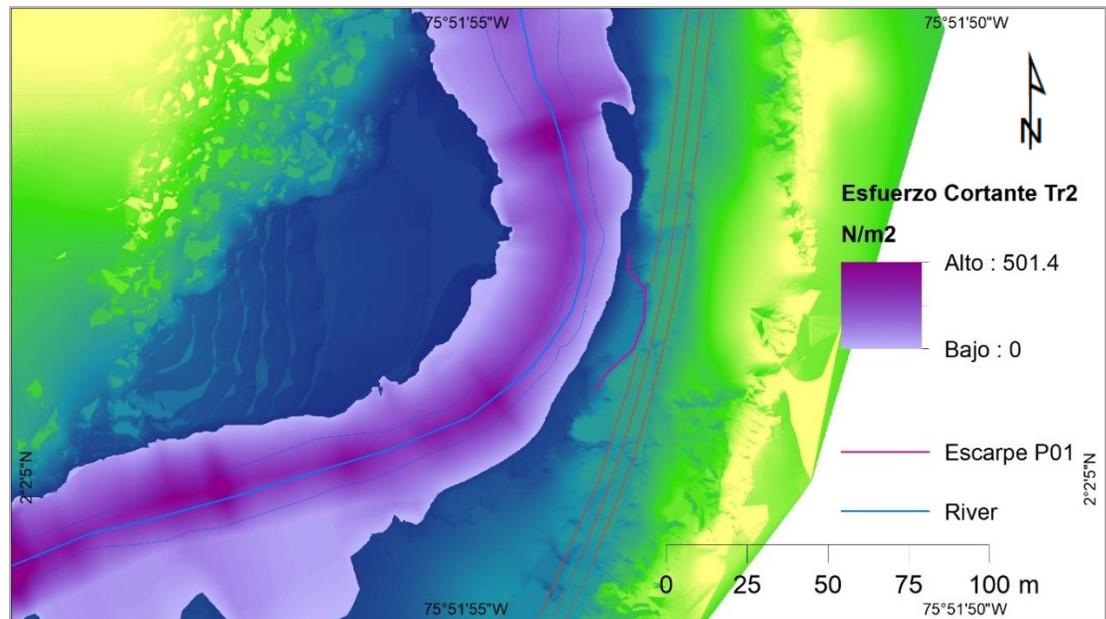


Figura 34. Resultado de la modelación vista en planta del esfuerzo cortante para un Tr 2 años.

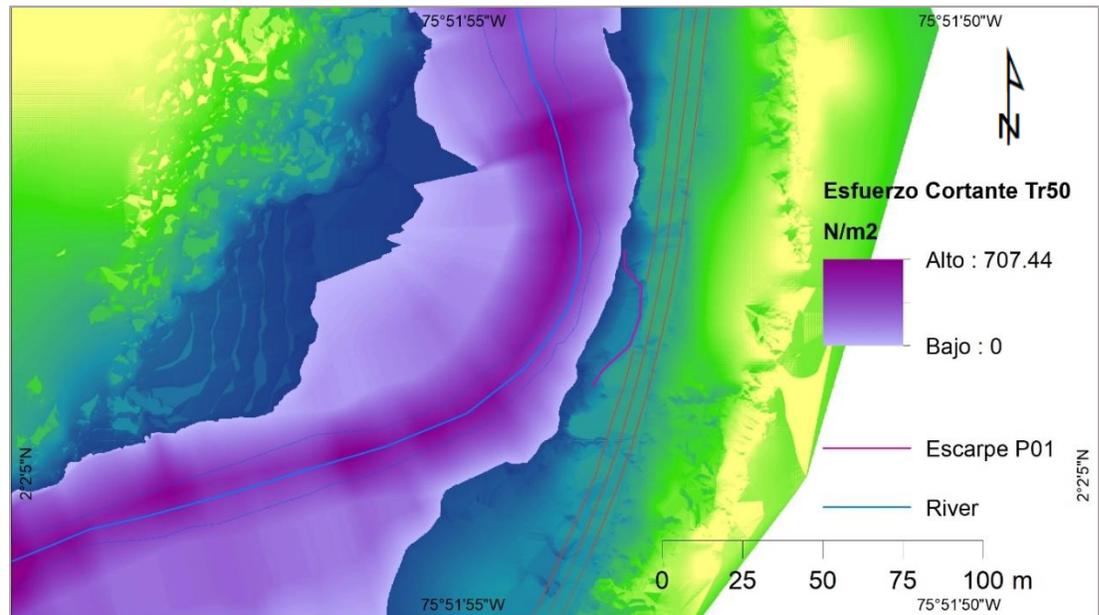


Figura 35. Resultado de la modelación vista en planta del esfuerzo cortante para un Tr 50 años.

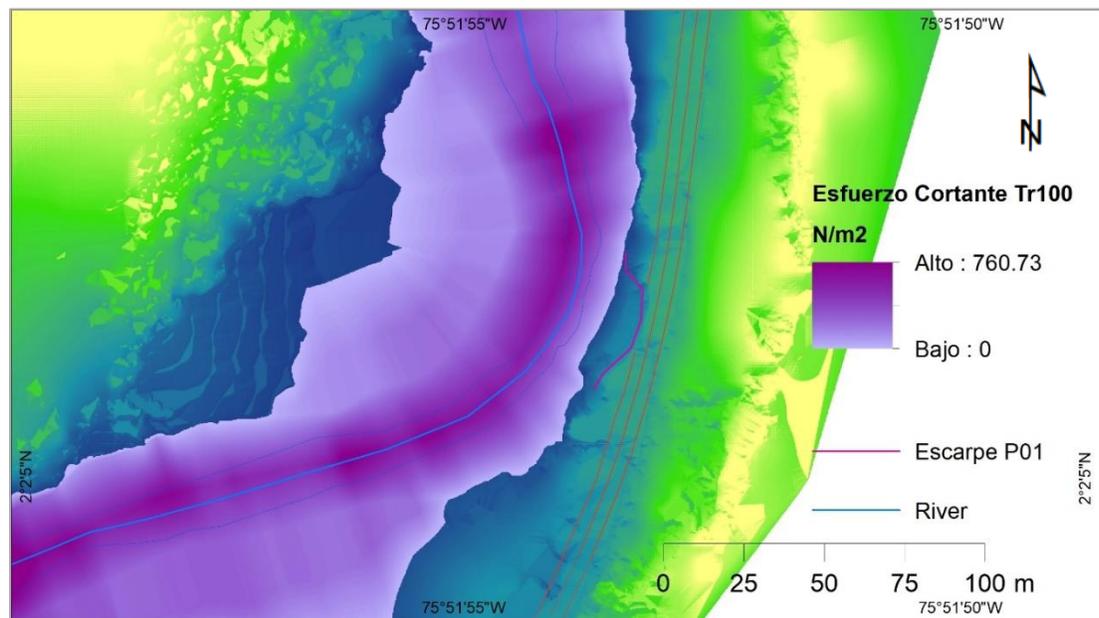


Figura 36. Resultado de la modelación vista en planta del esfuerzo cortante para un Tr 100 años.

Nótese como el esfuerzo cortante máximo para periodos de retorno de 50 y 100 años son similares, además como se ve reflejado en el punto crítico de desprendimiento de la banca sobre la vía principal.

6.7.1.4.6 Profundidad del cauce

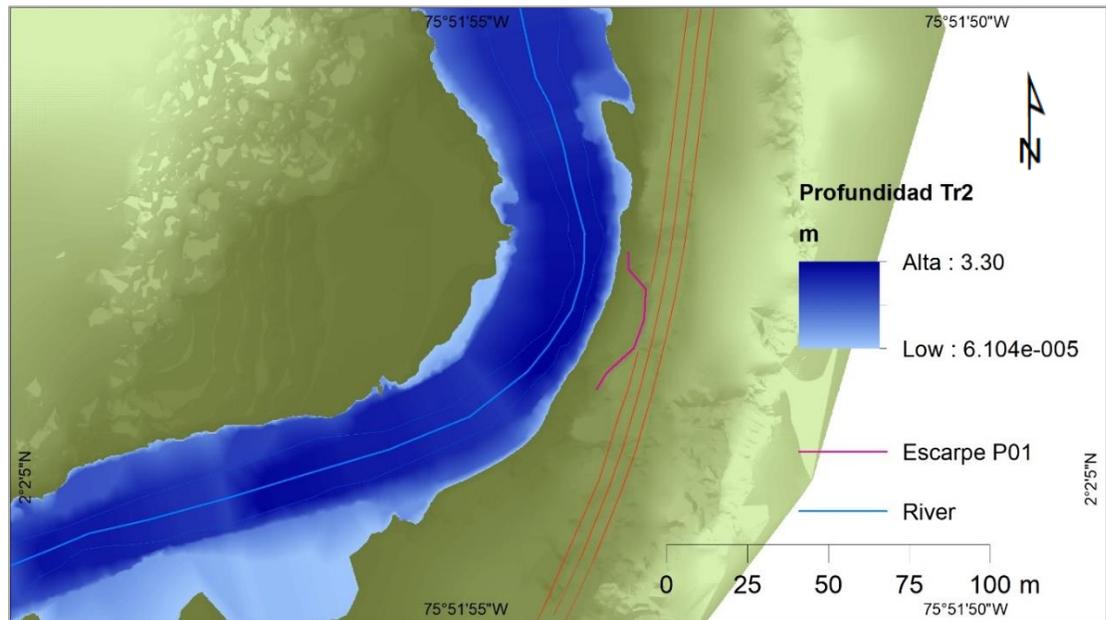


Figura 37. Vista en planta profundidad del cauce para un Tr 2 años.

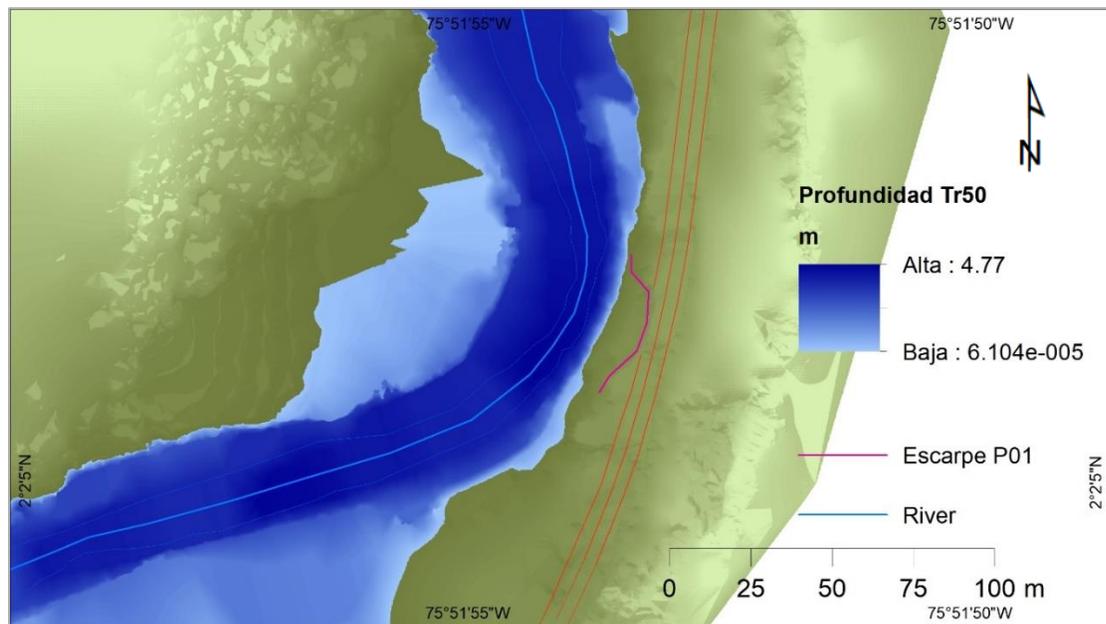


Figura 38. Vista en planta profundidad del cauce para un Tr 50 años.

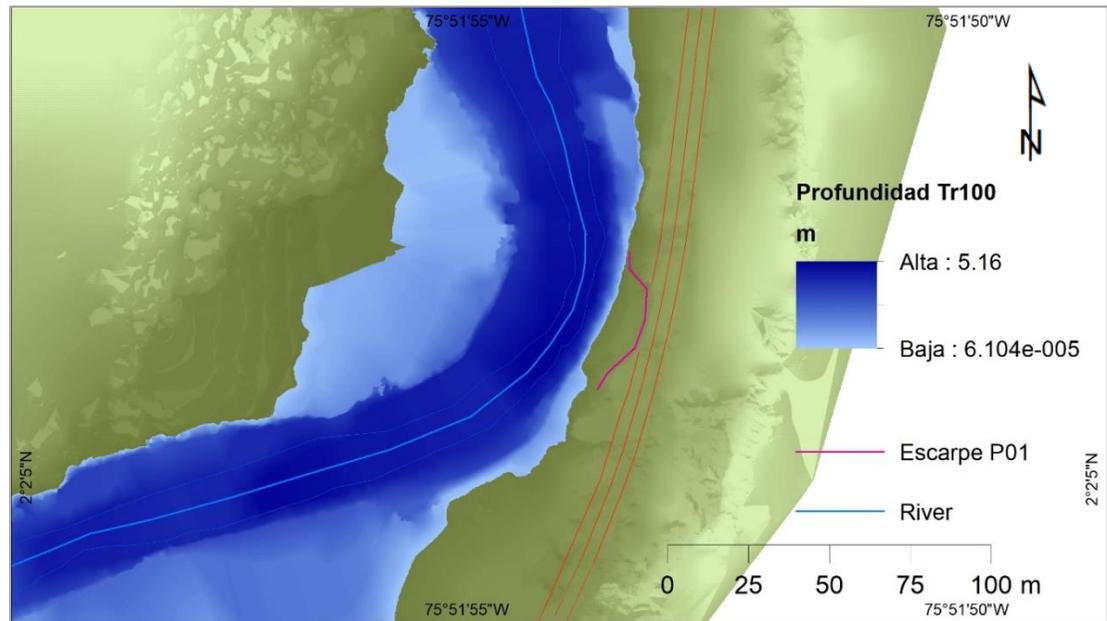


Figura 39. Vista en planta profundidad del cauce para un Tr 100 años.

Nótese como para cada periodo de retorno la altura máxima es cada vez mayor.

#### 6.7.1.4.7 Manchas de Inundación

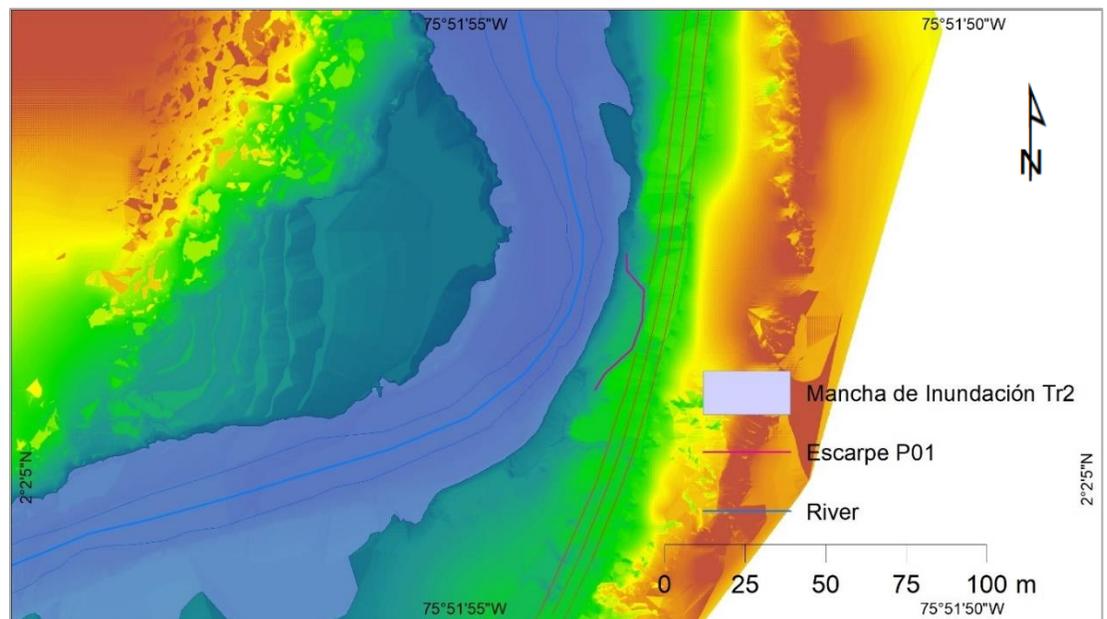


Figura 40. Manchas de Inundación para un Tr 2 años.

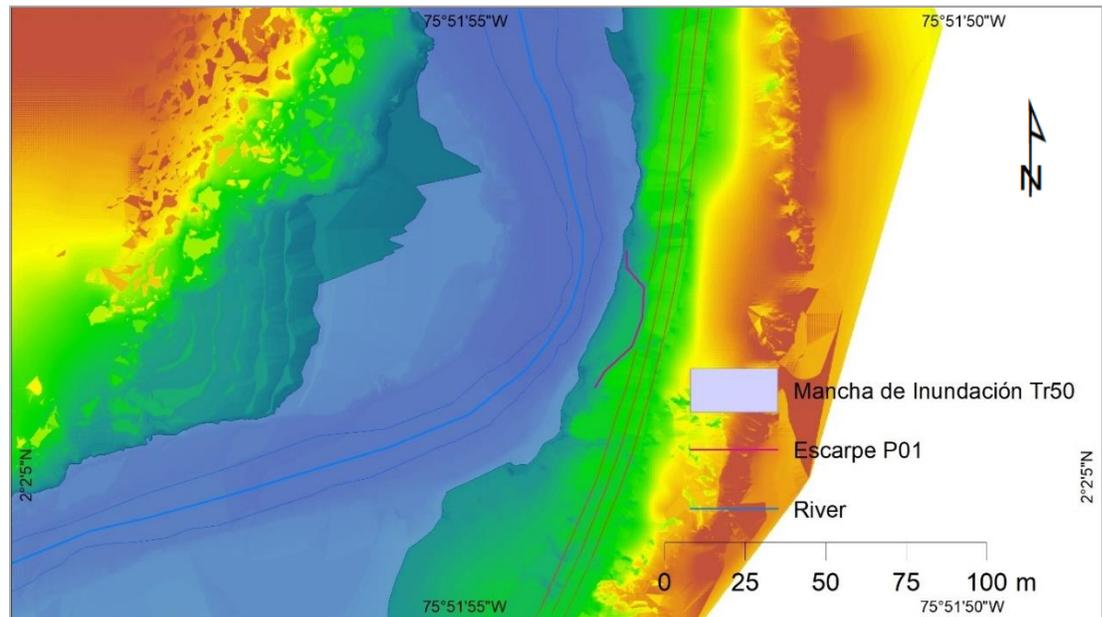


Figura 41. Manchas de Inundación para un Tr 50 años.

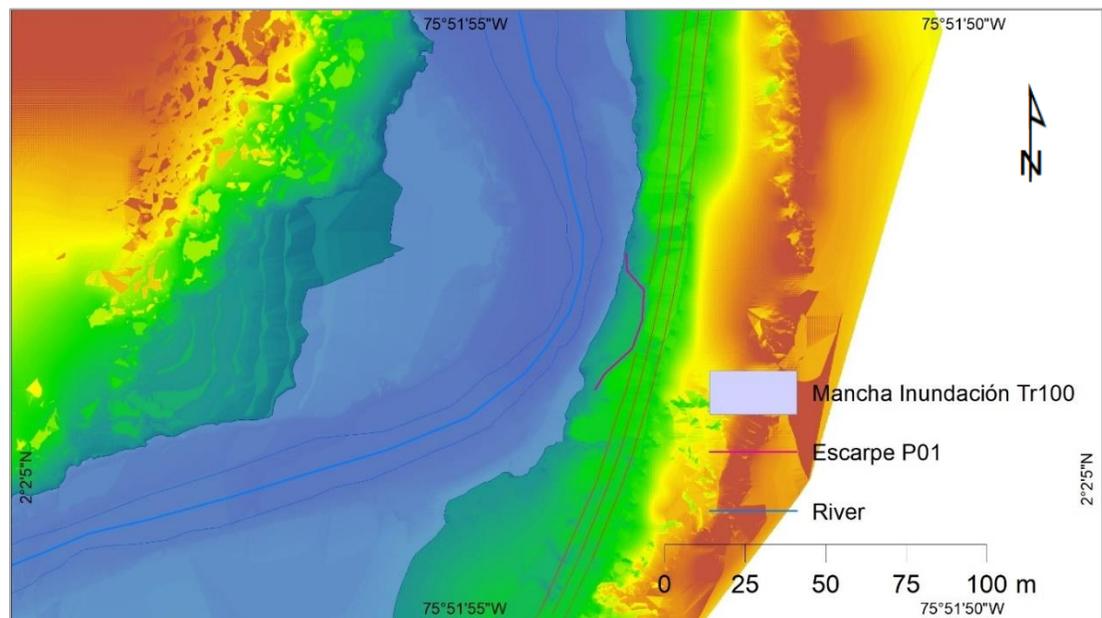


Figura 42. Manchas de Inundación para un Tr 100 años.

Se puede observar que para periodos de retorno de 50 y 100 años las manchas de inundación son muy similares, y que para el fin del estudio son concordantes con los análisis realizados durante el estudio, las manchas de inundación comienzan a afectar la vía en ese punto crítico, produciendo la socavación lateral del río hacia la vía principal.



Universidad de Caldas

**LUIS ARTURO GÓMEZ TOBÓN**  
INGENIERIA CIVIL - AMBIENTAL E HIDRÁULICA



## 7 CONCLUSIONES

En el ejercicio de desarrollo de la práctica académica en la empresa AGT Ingeniería Civil-Ambiental e Hidráulica, se constituyó una experiencia invaluable, llena de conocimiento que permitió complementar la formación recibida durante la carrera.

En relación con el estudio realizado en el río Timaná en el departamento del Huila, una vez realizado el procesamiento y análisis de la información se llegó a las conclusiones mencionadas a continuación:

- Los sistemas de información geográfica son de vital importancia como apoyo en la ejecución de diferentes proyectos en el área de la hidrología e hidráulica.
- La cuenca del río Timaná representa una gran extensión de área, además de importantes diferencias de alturas lo cual se ve reflejado en la densidad de drenajes que esta contiene.
- El tipo de drenaje predominante en la cuenca es dendrítico.
- Debido al tipo de litología predominante en la zona se presenta un alto impacto erosivo por parte del drenaje lo que genera alto volumen de sedimentos que se depositan en las partes más bajas.
- La coberturas que predominan en la cuenca son cultivos y mosaicos de pastos, lo que no permiten una buena fijación del suelo, dando lugar a altas probabilidades de erosión y degradación.
- La concentración de aguas en las zonas planas alrededor del río Timaná representan un alto grado de amenaza por inundación en épocas de lluvias, lo cual se evidencia en los resultados del análisis de intensidad de lluvias y los cálculos de caudal.



Universidad de Caldas

**LUIS ARTURO GÓMEZ TOBÓN**  
INGENIERIA CIVIL - AMBIENTAL E HIDRÁULICA



- Los resultados de la modelación hidráulica suponen un alto grado de amenaza por inundación en el punto de estudio para periodos de retorno de 50 y 100 años.
- La presente práctica permitió dar apoyo a la empresa para la determinación de parámetros geométricos y geomorfológicos de las diferentes áreas de estudio.
- Se generaron insumos cartográficos a partir de sistemas de información geográfica, tanto para el estudio de la cuenca del río Timaná como para los demás proyectos ejecutadas por la empresa.

## 8 RECOMENDACIONES

- Dados los problemas de inestabilidad que se presentan a lo largo del río Timaná, específicamente para el punto 01-SI12-32.7, es necesario adelantar obras de estabilidad para la vía y evitar así el avance de socavación del río en este punto.
- Proteger la ladera de la socavación causada por el río
- Monitorear los niveles del río
- Realizar obras de protección del cauce.



Universidad de Caldas

**LUIS ARTURO GÓMEZ TOBÓN**  
INGENIERIA CIVIL - AMBIENTAL E HIDRÁULICA



## 9 BIBLIOGRAFIA

AGUA Y SIG. (2014). *Tiempo de concentración de la cuenca*. Tiempo de Concentración de La Cuenca. <https://aguaysig.com/tiempo-de-concentracion-de-la-cuenca/>

AGUA Y SIG. (2017). *Método del Número de Curva del SCS*. <https://aguaysig.com/metodo-del-numero-de-curva-del-scs/>

Chow, V. te, Maidment, D. R., & Mays, L. W. (1988). *Applied hydrology*. McGraw-Hill.

IDEAM, IGAC, & CORMAGDALENA. (2007). *METODOLOGÍA CORINE LAND COVER - IDEAM*.

<http://www.ideam.gov.co/web/ecosistemas/metodologia-corine-land-cover>

Subterránea, E. (n.d.). *HIDROLOGÍA I: CICLO HIDROLÓGICO*.

UPEGUI, J. J. V., & GUTIÉRREZ, A. B. (2011). ESTIMACIÓN DEL TIEMPO DE CONCENTRACIÓN Y TIEMPO DE REZAGO EN LA CUENCA EXPERIMENTAL URBANA DE LA QUEBRADA SAN LUIS, MANIZALES. *DYNA*, 78(165), 58–71.

<https://revistas.unal.edu.co/index.php/dyna/article/view/25640>

Bolinaga I, J. J. (1979). *Drenaje Urbano*. Caracas Instituto Nacional de Obras Sanitarias 1979.

Chow, V. Te, Mays, L. W., & Maidment, D. R. (1994). *Hidrología aplicada*. McGraw-Hill.

Comision federal de electricidad. (1980). *Manual de diseño de obras civiles: Hidrotecnía* (H. Hiriart urdanivia (ed.); Segunda). Centro editorial de la C.F.E.

IDEAM, I. de H. M. y E. A. (2016). *CURVAS IDF - CURVAS IDF - IDEAM*.  
<http://www.ideam.gov.co/curvas-idf>



Universidad de Caldas

**LUIS ARTURO GÓMEZ TOBÓN**  
INGENIERIA CIVIL - AMBIENTAL E HIDRÁULICA



Smith Quintero, R. A., & Vélez Otálvaro, M. V. (1997). *Hidrología de Antioquia* (primera ed). departamento de Antioquia.

<https://eds.b.ebscohost.com/eds/detail/detail?vid=3&sid=3b12ecc8-74fe-489b-b0d4-dbb311376762%40sessionmgr102&bdata=Jmxhbm9ZXMmc2l0ZT1lZHMtbGl2ZQ%3D%3D#AN=unc.000553974&db=cat01725a>

Tomaz, P. (2010). *Curso de manejo de aguas pluviales* (P. Tomaz (ed.)).

<https://es.slideshare.net/Maufors/capitulo-02-mtodo-razional>