

**ESTUDIO DE AMENAZA DE INUNDACIÓN EN EL LOTE UBICADO EN LA
CALLE 126 ENTRE CARRERAS 45 Y 47 DEL MUNICIPIO DE
FLORIDABLANCA SANTANDER.**

**EDWIN ANTONIO GARCÉS SILVA
DIEGO GONZALO PLATA BALAGUERA**



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-QMECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA**

2014

**ESTUDIO DE AMENAZA DE INUNDACIÓN EN EL LOTE UBICADO EN LA
CALLE 126 ENTRE CARRERAS 45 Y 47 DEL MUNICIPIO DE
FLORIDABLANCA SANTANDER.**

**EDWIN ANTONIO GARCÉS SILVA
DIEGO GONZALO PLATA BALAGUERA**

**Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de Ingeniero
Químico**

**Director:
Ing. ALBERTO CAPACHO**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-QMECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA**

2014

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a nuestro director el Ingeniero Luis Alberto Capacho por darnos la oportunidad de desarrollar este proyecto, por la paciencia y apoyo brindados durante la ejecución del mismo. Gracias a nuestras familias por la confianza y acompañamiento, de igual forma agradecemos todas las entidades que nos brindaron información y personas que compartieron su conocimiento con nosotros para llevar a buen término la elaboración de nuestro proyecto de grado.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCION	14
1. GENERALIDADES	16
2. LOCALIZACIÓN	17
3. CARACTERÍSTICAS GEOMORFOMÉTRICAS	19
4. INTERCEPCIÓN DEL AFLUENTE CON LA ZONA DE ESTUDIO	20
5. PARÁMETROS GENERALES	21
6. RECOPIACIÓN DE LA INFORMACIÓN DE LA CUENCA	22
6.1 TOPOGRAFÍA GENERAL DE LA CUNECA	22
6.2 TOPOGRAFÍA DEL CANAL	22
6.3 PRECIPITACIÓN EN LA ZONA DE LA CUENCA	22
6.4 TIPOS Y USOS DEL SUELO	22
7. HERRAMIENTAS COMPUTACIONALES	23
8. MANEJO Y RESULTADOS OBTENIDOS POR EL SIG	24
9. MANEJO DEL SOFTWARE HEC – HMS	26
9.1 LA PRECIPITACIÓN EN LA CUENCA	26
9.2 CURVA IDF	27
9.3 PENDIENTE DE LA CUENCA	32
9.4 ALTURA PROMEDIO DE LA CUENCA	32
9.5 TIEMPO DE CONCENTRACIÓN	33
10. CÁLCULO DEL NÚMERO DE CURVA S.C.S	34
11. VALORES DEL NÚMERO DE CURVA SEGÚN EL USO DEL SUELO	35
11.1 TIEMPO DE RETARDO	35
12. RESULTADOS DE HEC – HMS	37
13. MANEJO DEL SOFTWARE HEC – RAS	38

13.1 TOPOGRAFÍA DEL SECTOR DE ESTUDIO	38
13.2 SECCIONES TRANSVERSALES (AFLUENTE)	38
13.3 PENDIENTE DE LA CUENCA	39
13.4 CAUDAL	40
13.5 COEFICIENTE DE RUGOSIDAD DE MANNING	40
13.6 RESULTADOS OBTENIDOS DESDE HEC-RAS	41
14. ANÁLISIS DE RESULTADOS	43
14.1 RESULTADOS DE HEC-RAS	43
15. OBRAS DE MITIGACIÓN DE INUNDACIÓN	45
16. CONCLUSIONES	47
17. OBSERVACIONES	48
18. RECOMENDACIONES	49
BIBLIOGRAFIA	50
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	52

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Localización espacial de la zona de estudio	17
Figura 2. Ubicación del lote	17
Figura 3. Tramo Quebrada Zapamanga	18
Figura 4. Afluente de la Quebrada Zapamanga	20
Figura 5. Delimitación de la cuenca que afecta el sector de estudio	24
Figura 6. Area de la cuenca calculada por el SIG	25
Figura 7 Longitud del afluente principal en la cuenca	25
Figura 8. Grafica de las curvas IDF para, 25, 50 y 100 años	30
Figura 9. Hietograma para tiempo de retorno de 100 años.	32
Figura 10. Mapa de usos de suelo que influyen en la cuenca.	34
Figura 11. Descripción del uso de suelo. (Imagen tomada del libro ven te chow).	35
Figura 12. Resultados arrojada por Hec-Hm	37
Figura 13. Ejemplo de Sección transversal en Hec-Ras	39
Figura 14. Coeficientes de rugosidad de manning	41
Figura 15. Sección transversal de la cota de inundación	43
Figura 16. Vista en 3D y en planta del resultado de la modelación de un escenario de inundación.	46

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Localización del sector de estudio	17
Tabla 2. Precipitación media anual estación club campestre	27
Tabla 3. Cálculo de la intensidad histórica para diferentes duraciones de lluvia	28
Tabla 4. Cálculo de parámetros para hallar las intensidades	29
Tabla 5. Análisis para tiempos de retorno a 25, 50 y 100 años	29
Tabla 6. Resultado del análisis de precipitación	30
Tabla 7. Cálculo del número de curva	35

RESUMEN

TITULO: ESTUDIO DE AMENAZA DE INUNDACIÓN EN EL LOTE UBICADO EN LA CALLE 126 ENTRE CARRERAS 45 Y 47 DEL MUNICIPIO DE FLORIDABLANCA SANTANDER.

AUTORES: EDWIN ANTONIO GARCÉS SILVA**
DIEGO GONZALO PLATA BALAGUERA

PALABRAS CLAVE: Geomorfométrico, Hidrológico, Hidráulico, Amenaza, Inundación

Este artículo muestra de manera breve y concisa la ejecución de un estudio para el cálculo de una cota de inundación con el fin de examinar la posible creación de escenarios de inundación en sectores aledaños a corrientes de agua, este estudio se basa en datos generales de un sector específico que para nuestro proyecto se ubicó en el municipio de Floridablanca Santander, de igual forma se tuvo en cuenta todos los parámetros morfométricos del sector consultados por los autores buscando reflejar digitalmente la verdadera situación del sector de estudio, todos estos datos se analizaron y procesaron con la ayuda de algunas herramientas computacionales desarrolladas para realizar procedimientos hidrológicos e hidráulicos como lo son el Hec-Hms y Hec-Ras, herramientas desarrolladas por las fuerzas armadas de Estados Unidos, al igual que un sistema de información geográfica, representando de forma digital el sector de estudio y el canal de agua colindante, logrando conocer e identificar el comportamiento del cauce de la cuenca en un tramo determinado, con la identificación del sector y las secciones transversales del canal en formato digital creados a partir de la información recogida se logra conocer la altura de la lámina de agua para un evento de lluvia a tiempo de retorno de 100 años, esta altura es la base para revisar la posible creación de un escenario de inundación en el sector en comparación con una cota base de construcción.

* Trabajo de grado

** Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingeniería Civil. Director: Ing. Alberto

** Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingeniería Civil. Director: Ing. Alberto Capacho

ABSTRACT

TITLE: FLOOD THREAT STUDY ON THE LOT LOCATED IN THE STREET 126 RACE BETWEEN 45 AND 47 OF THE MUNICIPALITY OF SANTANDER FLORIDABLANCA.

AUTHORS: EDWIN ANTONIO GARCÉS SILVA**
DIEGO GONZALO PLATA BALAGUERA

KEYWORDS: Geomorfometrico, Hydrological, Hydraulic, Threat, Flood

This article shows briefly and concisely the execution of a study for the calculation of flood level in order to examine the possible creation of flood scenarios in adjacent to waterways sectors , this study is based on data from a general specific sector for our project was located in the municipality of Floridablanca Santander , likewise took into account all the morphometric parameters of the authors consulted by industry looking digitally reflect the true situation of the sector study , these data were analyzed and processed with the help of some computational tools developed for hydrologic and hydraulic procedures such as the Hec- Hms and Hec- Ras , tools developed by the armed forces of the United States, as well as a geographic information system , digitally representing the sector study and adjacent water channel , achieving know and identify the behavior of the channel of the basin in a given section , identifying the sector and channel cross sections digitally created from the information gathered is possible to know the height of the sheet of water to a rain event to return time 100 years, this stage is the basis for reviewing the possible creation of a flood scenario in the sector compared to a base building height.

* Degree work

** Faculty of Mechanical Engineering and Physical. School of Civil Engineering. Directed by: Alberto Capacho

INTRODUCCION

Los recientes fenómenos climáticos que se han venido presentando en el país, han alterado sustancialmente el comportamiento fluvial a lo largo y ancho del territorio nacional, esto se ha evidenciado con la cantidad de desastres ocasionados por las diferentes inundaciones de las pasadas olas invernales, cuando los afluentes han superado sus niveles máximos esperados, generando desbordamientos.

Con el fin de buscar una mejor opción de seguridad en cuanto a las nuevas construcciones es necesario contar con los estudios adecuados que indiquen las condiciones del terreno y del sector que lo rodea, el cálculo de la cota de inundación, es uno de estos estudios a realizar en construcciones ubicadas en zonas muy cercanas a corrientes de agua.

Mediante la recopilación de datos específicos de la cuenca hidrológica que encierra el área de estudio y con la ayuda de herramientas computacionales diseñadas para este tipo de análisis es posible realizar un modelo digital aproximado a la realidad del sector que se desea analizar, en este proyecto se considerara como primer paso el tamaño de la cuenca como factor hidrológico, donde el caudal aportado estará en función las condiciones climáticas, fisiográficas, topográficas, tipo de cobertura vegetal, tipo de manejo de suelo y capacidad de almacenamiento.

En este artículo se estudió el cálculo de la cota de inundación de un tramo de la quebrada Zapamanga del municipio de Floridablanca con el fin de observar la viabilidad para algún tipo de proceso constructivo en el sector ubicado dentro de la ribera de la quebrada zapamanga, basados en el manejo de la información hidrológica y meteorológica disponible en el área de estudio y con base en los

datos registrados por las estaciones pluviométricas más cercanas y utilizando las herramientas computacionales como Hec-Hms y Hec-Ras.

A continuación se presenta un resumen de la información precisa que permite conocer el alcance y los componentes del proyecto.

1. GENERALIDADES

El proyecto tomó como punto de aplicación un lote ubicado en el sector conocido como “el Tejar” limitado por los barrios el Reposo y el Carmen del municipio de Floridablanca (S/der) con una altura aproximada de 900 m.s.n.m. tomando como referencia este sector se crearon algunos lineamientos metodológicos para la posible creación de escenarios de inundación por medio de herramientas computacionales comunes, y teniendo en cuenta las propiedades físicas y meteorológicas de la zona.

2. LOCALIZACIÓN

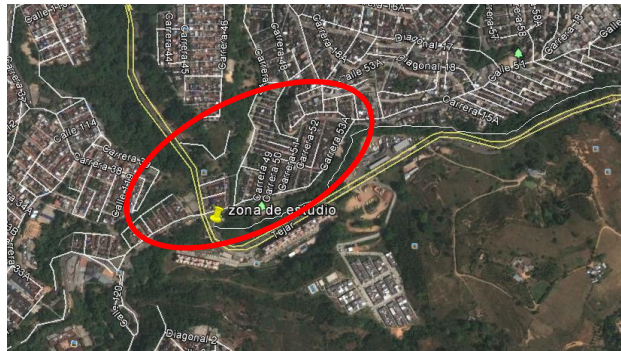
El lote está ubicado en la calle 126 entre carreras 45 y 47 este sector es más conocido como la entrada al barrio el Carmen frente a la unidad residencial Piamonti en el municipio de Floridablanca.

Tabla 1. Localización del sector de estudio

COORDENADAS DEL PUNTO DE ESTUDIO		
ESTE	NORTE	ALTITUD
1108694.5 m	1275529.46 m	900.00 m

Fuente: elaborada por los autores

Figura 1. Localización espacial de la zona de estudio



Fuente: tomada de google earth

Figura 2. Ubicación del lote



Fuente: tomada por los autores

Figura 3. Tramo Quebrada Zapamanga



Fuente: tomada por los autores

3. CARACTERÍSTICAS GEOMORFOMÉTRICAS

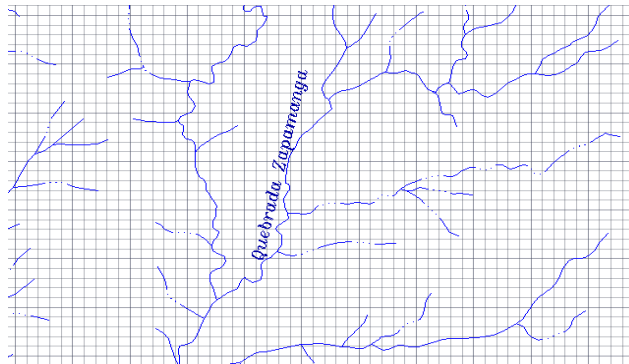
El sector de estudio se encuentra afectado principalmente por el afluente de la quebrada Zapamanga

Las mediciones fueron realizadas en las planchas 120-II-B que comprende las curvas de nivel del municipio de Floridablanca obtenidas por parte del instituto geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

4. INTERCEPCIÓN DEL AFLUENTE CON LA ZONA DE ESTUDIO

Es necesario recalcar que el estudio no se realizó con el área total de la cuenca de la quebrada zapamanga, solamente se consideró el área de afectación al punto de drenaje donde se hizo el cálculo de la cota de inundación ya que el área total de la cuenca es mayor al área de estudio, para esto se debe tener en cuenta los afluentes que pueden incidir en el análisis.

Figura 4. Afluente de la Quebrada Zapamanga



Fuente: tomada de la plancha 120 II-B del IGAC

En la elaboración y ejecución del proyecto se deben considerar algunos parámetros indispensables y fundamentales para un buen resultado del estudio los cuales se mencionaran a continuación:

5. PARÁMETROS GENERALES

- Topografía general de cuenca
- Topografía del canal
- Precipitación en la zona de la cuenca
- Tipos y Usos del suelo

Otros parámetros obtenidos para el análisis de la cuenca son:

- Área de la cuenca en estudio
- Longitud del afluente
- Curva IDF
- Pendiente de la cuenca
- Altura promedio de la cuenca
- Tiempo de concentración
- Numero de curva S.C.S.
- Tiempo de retardo
- Precipitación acumulada y efectiva
- Secciones transversales del canal
- Caudal
- Coeficiente de manning

6. RECOPIACIÓN DE LA INFORMACIÓN DE LA CUENCA

6.1 TOPOGRAFÍA GENERAL DE LA CUENCA

Para poder realizar la delimitación de la cuenca se utilizaron las curvas de nivel del municipio de Floridablanca a una escala de 1:25000 (plancha 120 II-B obtenida del instituto geológico Agustín Codazzi IGAC)

6.2 TOPOGRAFÍA DEL CANAL

para poder realizar el modelo del afluente que limita con el lote a construir fue necesario tener un levantamiento topográfico del sector, el cual se obtuvo por medio digital gracias a la colaboración del acueducto metropolitano de Bucaramanga, con una escala 1:1.

6.3 PRECIPITACIÓN EN LA ZONA DE LA CUENCA

Estos datos de precipitación se obtuvieron de una estación pluviométrica “estación club Campestre” con un tiempo representativo de datos, desde 17/08/1981 31/12/2010.dicha estación pertenece a la corporación por la defensa de la meseta de Bucaramanga.

6.4 TIPOS Y USOS DEL SUELO

Según cada tipo y uso de suelo se puede saber el nivel de infiltración de la cuenca, los tipos y usos de suelo se obtiene del Plan de ordenamiento Territorial del municipio de Floridablanca (POT) otorgados por la Gobernación de Santander

7. HERRAMIENTAS COMPUTACIONALES

Para la ejecución de este proyecto se contó con diferentes herramientas computacionales que ayudaron a la modelación y estudio de la cuenca.

Las herramientas computacionales utilizadas son:

- Sistema de Información Geográfica (SIG)
- HEC - HMS
- HEC - RAS
- Hec-GeoRas
- Excel

A partir de los datos obtenidos y por medio de la implementación de estos programas se realizara el análisis, la modelación de la cuenca y a su vez la del sector de estudio, también se procesaron los datos para obtener los parámetros faltantes que paso a paso nos llevaron a cumplir el objetivo de este proyecto. A continuación se mostrara de manera breve la implementación de cada herramienta computacional y cada uno de los resultados obtenidos.

Por medio de un SIG elaboramos el modelo de la cuenca en estudio, esta herramienta SIG nos permite trazar la delimitación de la cuenca que se necesita estudiar basada en la topografía general del municipio de Floridablanca, que permite conocer las direcciones del flujo de agua, el flujo acumulado, el área de la cuenca y la longitud del afluente que influye en el sector del lote previsto para la construcción, estos resultados serán los parámetros requeridos para iniciar el cálculo del caudal por medio del software especializado HEC-HMS.

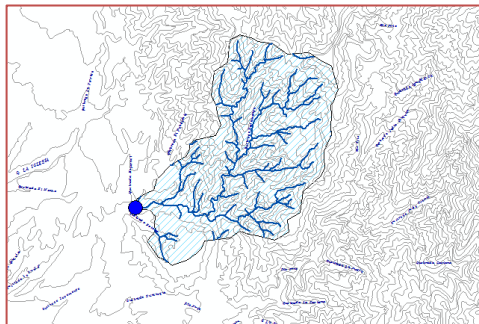
8. MANEJO Y RESULTADOS OBTENIDOS POR EL SIG

Se muestra un breve resumen del proceso a seguir para obtener los parámetros morfométricos de la cuenca por medio del SIG, en este caso se trabajó el programa Arcgis y su extensión Hec-GeoRas.

Inicialmente se adjunta al SIG el mapa de curvas de nivel de Floridablanca y se convierte este archivo de formato DWG a formato SHAPE el cual nos permitirá representar en forma tridimensional el terreno creando los archivos TIN y posteriormente un archivo RASTER.

Este SIG contiene dentro de sus herramientas una aplicación para la hidrología que permite calcular la dirección del flujo y el flujo acumulado en el terreno, una vez calculado el flujo acumulado solo se debe ubicar el punto de drenaje, y con la herramienta watershed (cuenca) del conjunto de herramientas de hidrología el programa nos mostrara la delimitación de cuenca.

Figura 5. Delimitación de la cuenca que afecta el sector de estudio



Fuente: elaborada por los autores en Arcgis

Esta cuenca de afectación es una sub-cuenca de la cuenca total de la quebrada Zapamanga.

Teniendo la delimitación de la cuenca en formato shape es necesario convertirla en un polígono y de allí ya se puede calcular el área de la cuenca y la longitud del tramo de la quebrada dentro de esta subcuenca.

De esta primera parte del estudio utilizando el SIG se pudo obtener los siguientes resultados:

Figura 6. Area de la cuenca calculada por el SIG

CUENCAPOL_PR					
FID	Shape *	ID	GRIDCODE	AREA	
0	Polygon	1	0	11.781868	

Fuente: elaborada por los autores en Arcgis

Figura 7 Longitud del afluente principal en la cuenca



Fuente: elaborada por los autores en Arcgis

AREA: 11.781868 KM²

LONGIUTUD: 5.7 km

9. MANEJO DEL SOFTWARE HEC – HMS

El siguiente paso consiste en la fase hidrológica de la cuenca de la quebrada Zapamanga basado en los parámetros morfométricos de la cuenca que se obtuvieron del SIG.

Esta etapa del proyecto se realizó utilizando la herramienta computacional HEC-HMS que además de los datos obtenidos anteriormente requiere de algunos datos propios de la hidrología de la cuenca como lo son:

- La precipitación en la cuenca
- Curva IDF
- Pendiente de la cuenca
- Altura promedio de la cuenca
- Tiempo de concentración
- Numero de curva
- Tiempo de retardo

Algunos de estos parámetros son conocidos gracias a los datos brindados por la CDMB y para los otros datos fue necesario elaborar un breve análisis en busca del valor propio de cada parámetro.

9.1 LA PRECIPITACIÓN EN LA CUENCA

Datos obtenidos por parte de CDMB de la estación pluviométrica “Club Campestre” los cuales se presentan con los valores diarios por un periodo de 30 años, pero para la comodidad del estudio se trabajó con el valor de la media anual.

Tabla 2. Precipitación media anual estación club campestre

Año	Precipitación media anual[mm]
1981	62
1982	104
1983	113
1984	72
1985	50
1986	60.2
1987	50.2
1988	90
1989	62.1
1990	47.5
1991	46.8
1992	55.5
1993	50.4
1994	74.5
1995	60
1996	41.4
1997	46.7
1998	59
1999	41.4
2000	61.5
2001	62
2002	56
2003	48.4
2004	37.7
2005	61.4
2006	42.6
2007	7.4
2008	10.05
2009	35.8
2010	40.8

Fuente: elaborada por los autores según datos CDMB

9.2 CURVA IDF

Calcular la intensidad de la lluvia para diferentes duraciones de lluvia y para cada año de la serie histórica. Generalmente se utilizan duraciones de lluvia de 5, 10, 15, 20, 25 y 30 minutos, etc. Se aplica la fórmula propuesta por Grunsky,

organizando los datos como se presentan en la Tabla 3 correspondiente a la estación meteorológica del Club Campestre. La fórmula de Grunsky es:

$$i_d = i_{24} \sqrt{24/d}$$

Dónde:

i_d = Intensidad de la lluvia sin considerar el período de retorno, en mm/h

i_{24} = Intensidad de la lluvia, en mm. Corresponde al valor horario en promedio del día más lluvioso del año de la serie histórica que se está analizando (P_{\max} 24h)

d = Duración del aguacero, en horas

Tabla 3. Cálculo de la intensidad histórica para diferentes duraciones de lluvia

Año	Pmax en 24 Horas	Intensidades historicas (mm/h)					
		Duracion del lluvia (min)					
		5	10	15	20	25	30
1981	62	43.84	31.000	25.311	21.920	19.606	17.898
1982	104	73.539	52.000	42.458	36.770	32.888	30.022
1983	113	79.903	56.500	46.132	39.952	35.734	32.620
1984	72	50.912	36.000	29.394	25.456	22.768	20.785
1985	50	35.355	25.000	20.412	17.678	15.811	14.434
1986	60.2	42.568	30.100	24.577	21.284	19.037	17.378
1987	50.2	35.497	25.100	20.494	17.748	15.875	14.491
1988	90	63.640	45.000	36.742	31.820	28.460	25.981
1989	62.1	43.911	31.050	25.352	21.956	19.638	17.927
1990	47.5	33.588	23.750	19.392	16.794	15.021	13.712
1991	46.8	33.093	23.400	19.106	16.546	14.799	13.510
1992	55.5	39.244	27.750	22.658	19.622	17.551	16.021
1993	50.4	35.638	25.200	20.576	17.819	15.938	14.549
1994	74.5	52.679	37.250	30.414	26.340	23.559	21.506
1995	60	42.426	30.000	24.495	21.213	18.974	17.321
1996	41.4	29.274	20.700	16.901	14.637	13.092	11.951
1997	46.7	33.022	23.350	19.065	16.511	14.768	13.481
1998	59	41.719	29.500	24.087	20.860	18.657	17.032
1999	41.4	29.274	20.700	16.901	14.637	13.092	11.951
2000	61.5	43.487	30.750	25.107	21.744	19.448	17.754
2001	62	43.841	31.000	25.311	21.920	19.606	17.898
2002	56	39.598	28.000	22.862	19.799	17.709	16.166
2003	48.4	34.224	24.200	19.759	17.112	15.305	13.972
2004	37.7	26.658	18.850	15.391	13.329	11.922	10.883
2005	61.4	43.416	30.700	25.066	21.708	19.416	17.725
2006	42.6	30.123	21.300	17.391	15.061	13.471	12.298
2007	7.4	5.233	3.700	3.021	2.616	2.340	2.136
2008	10.05	7.106	5.025	4.103	3.553	3.178	2.901
2009	35.8	25.314	17.900	14.615	12.657	11.321	10.335
2010	40.8	28.850	20.400	16.657	14.425	12.902	11.778

Fuente: elaborada por los autores

Ajustar la intensidad de la lluvia calculada en el paso anterior, involucrando el período de retorno. Generalmente se utilizan períodos de retorno de 25, 50 y 100 años. Se utiliza la fórmula propuesta por Gumbel:

$$i = -c \times \ln \left(-\ln \left(1 - \frac{1}{TR} \right) \right) - a$$

Dónde:

i: Intensidad de la lluvia mm/h, ajustada por período de retorno

$c = 0.78 \times \sigma$

σ : Desviación estándar de las intensidades

$a = 0.577 \times c \times i_m$

i_m : Intensidad promedio de las intensidades históricas, calculadas para cada duración de la lluvia, en mm/h.

TR: Período de retorno, en años

Tabla 4. Cálculo de parámetros para hallar las intensidades

PROMEDIO	38.899	27.506	22.458	19.450	17.396	15.881
DESV EST	15.506	10.964	8.952	7.753	6.934	6.330
C	12.094	8.552	6.983	6.047	5.409	4.938
a	-31.921	-22.571	-18.429	-15.960	-14.275	-13.032

Fuente: elaborada por los autores

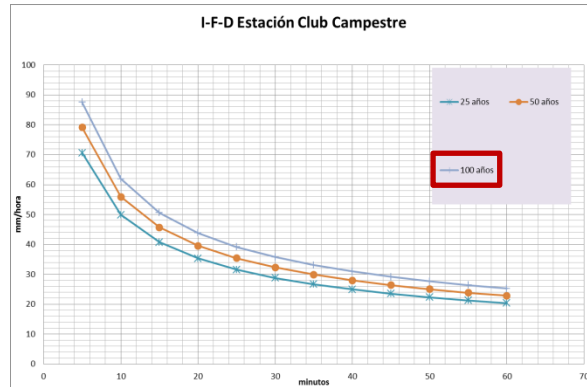
Tabla 5. Análisis para tiempos de retorno a 25, 50 y 100 años

Años	Duración de la lluvia (min)					
	5	10	15	20	25	30
25	70.605	49.925	40.764	35.303	31.576	28.824
50	79.112	55.941	45.676	39.556	35.380	32.298
100	87.557	61.912	50.551	43.778	39.157	35.745

Fuente: elaborada por los autores

Aplicando esta metodología para la estación seleccionada se encontraron las curvas IDF, a continuación se encuentran los resultados obtenidos:

Figura 8. Grafica de las curvas IDF para, 25, 50 y 100 años



Fuente: elaborada por los autores

Precipitación para un tiempo de retorno de 100 años:

Mediante los resultados de las intensidades calculadas se selecciona la intensidad para un tiempo de retorno de 100 años para continuar con el análisis de precipitación de los cuales se obtuvieron los siguientes datos:

Tabla 6. Resultado del análisis de precipitación

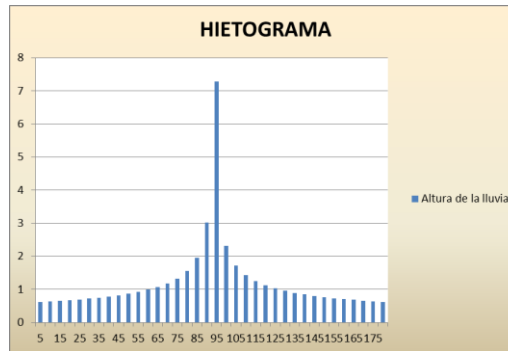
Duración min.	Altura de la lluvia[mm]
5	0.61231676
10	0.63033184
15	0.65003682
20	0.6717136
25	0.69571466
30	0.7224875
35	0.75261038
40	0.78684591
45	0.82622427
50	0.87217746

Duración min.	Altura de la lluvia[mm]
55	0.92676627
60	0.99308673
65	1.07605217
70	1.18404522
75	1.33287862
80	1.55721385
85	1.95506861
90	3.02227421
95	7.29641539
100	2.31907257
105	1.72245002
110	1.43200593
115	1.25186697
120	1.12618078
125	1.03207548
130	0.95820875
135	0.89822978
140	0.84826853
145	0.80581422
150	0.7691572
155	0.73708764
160	0.70872205
165	0.68339821
170	0.66060861
175	0.6399569
180	0.62112843

Fuente: elaborada por los autores

Con los datos obtenidos se representa el hietograma del estudio de la precipitación para el tiempo de retorno de 100 años y así mismo estos datos son los que se insertarán en Hec-Hms para el estudio del caudal.

Figura 9. Hietograma para tiempo de retorno de 100 años.



Fuente: elaborada por los autores

9.3 PENDIENTE DE LA CUENCA

Teniendo en cuenta la localización espacial de la cuenca se puede calcular la pendiente

Entonces:

Cota máxima=1900msnm

Cota mínima=900msnm

Longitud= 5700 m

$$S = \frac{1900 - 900}{5700 - 0} = 0.1754$$

9.4 ALTURA PROMEDIO DE LA CUENCA

Como su nombre lo dice es el promedio entre la altura máxima y la altura mínima de la cuenca.

$C_{min} = 900m$

$C_{max} = 1900m$

$h_{prom} = 1400 m$

9.5 TIEMPO DE CONCENTRACIÓN

El Tiempo de Concentración del área se define como el tiempo necesario para que la partícula de agua hidráulicamente más alejada, alcance la salida. El cálculo de este tiempo se hace mediante ecuaciones que tienen en cuenta parámetros morfológicos de las cuencas, la ecuación utilizada en el presente estudio es la ecuación de Giandotti.

$$T_c = \frac{4A^{0.5} + 1.5L}{0.8H^{0.5}}$$

Dónde:

Tc= Tiempo de concentración, en horas.

A= Superficie de la cuenca en Km²

L= Longitud del cauce de interés, en km.

H=Altura media de la cuenta sobre el punto estudiado, en m.

Entonces:

$$T_c = \frac{4(11.781868)^{0.5} + 1.5(5.7)}{0.8(1400)^{0.5}}$$

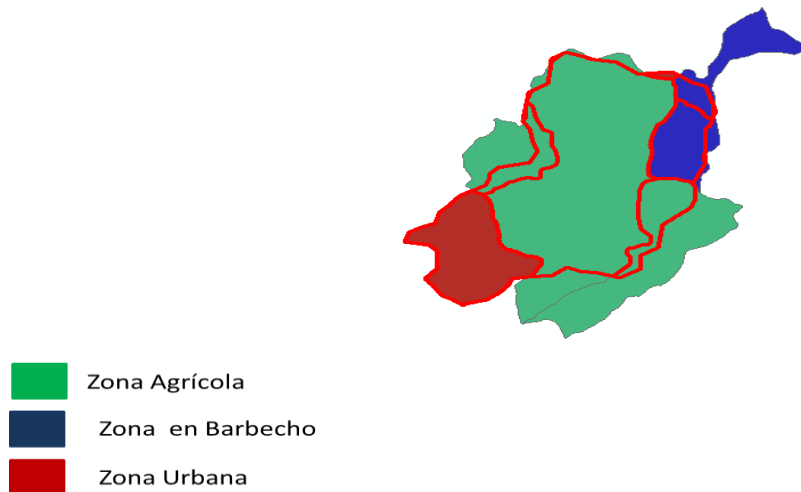
Tc = 0.74432 Horas

Tc=44.6592 Minutos aprox= 45 min

10. CÁLCULO DEL NÚMERO DE CURVA S.C.S

Para determinar el valor del número de curva para condiciones medias de humedad se debe conocer el tipo de uso del terreno perteneciente a nuestra cuenca, esta información la adquirimos con el plan de ordenamiento territorial (POT) del municipio de Floridablanca del cual obtuvimos el siguiente mapa:

Figura 10. Mapa de usos de suelo que influyen en la cuenca.



Fuente: elaborada por los autores según POT

Otra variable necesaria para determinar el número de curva es el mapa de tipos de suelo. Este mapa debe estar clasificado en los cuatro grupos que establece el SCS (servicio de conservación de suelos)

- A. En ellos el agua se infiltra rápidamente.
- B. Cuando están muy húmedos tienen una capacidad de infiltración moderada.
- C. Cuando están muy húmedos la infiltración es lenta.
- D. Cuando están muy húmedos la infiltración es muy lenta.

De acuerdo a estos grupos se clasifica el sector como tipo de suelo: **C**

11. VALORES DEL NÚMERO DE CURVA SEGÚN EL USO DEL SUELO

Figura 11. Descripción del uso de suelo. (Imagen tomada del libro ven te chow).

Descripción del uso de la tierra	Grupo hidrológico del suelo			
	A	B	C	D
Tierra cultivada ¹ : sin tratamientos de conservación	72	81	88	91
con tratamientos de conservación	62	71	78	81
Pastizales: condiciones pobres	68	79	86	89
condiciones óptimas	39	61	74	80
Áreas comerciales de negocios (85% impermeables)	89	92	94	95

Fuente: tomada del libro ven te chow

Entonces:

$$CN = \sum (\% \text{ del área}) * (CN \text{ del suelo}).$$

Tabla 7. Cálculo del número de curva

	area	porcentaje	cn	producto
	8.3474	71	78	55.263903
	1.2368	10	86	9.02804373
	2.1974	19	94	17.53205
Total	11.7816	100		81.8239967

CN =	82
-------------	-----------

Fuente: elaborada por los autores

11.1 TIEMPO DE RETARDO

Para calcular el tiempo de desfase de la cuenca hidrográfica, el método del S.C.S usa el método de número de curva CN que se expresa a través de la siguiente formula:

$$t_l = \frac{L^{0.8}(2540 - 22.86CN)^{0.7}}{14104CN^{0.7}S^{0.5}}$$

Dónde:

TI: tiempo de desfase, en horas (h).

CN: número de curva del S.C.S.

L: longitud del cauce principal, en metros (m).

S: pendiente del cauce principal, en metros por metro (m/m).

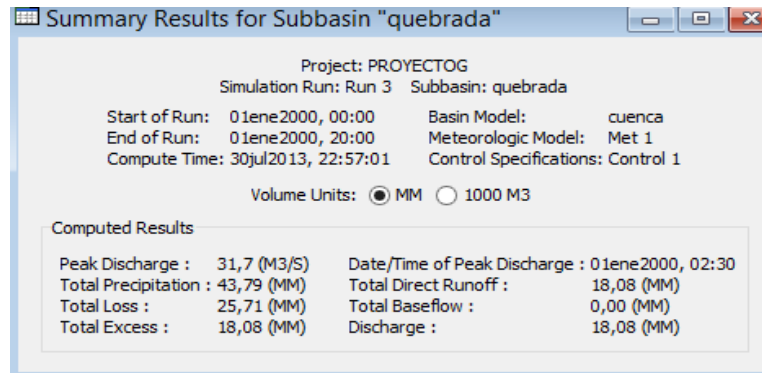
$$t_l = \frac{5700^{0.8} 2540 - 22.86 \times 82^{0.7}}{14104 \times 82^{0.7} 17.54^{0.5}}$$

$$\underline{Tlag = 0.744 h \quad Tlag = 44.64 min}$$

En base a los resultados obtenidos de los parámetros necesarios por el Hec – Hms se hace una modelación de las condiciones de cuenca para que con la ayuda del software se pueda conocer los valores de precipitación efectiva, hietograma, perdidas, y el valor del caudal para un tiempo de retorno de 100 años.

12. RESULTADOS DE HEC – HMS

Figura 12. Resultados arrojada por Hec-Hm



Fuente: elaborada por los autores

Precipitación efectiva: **43.79 mm**

Pérdidas totales: **25.71 mm**

Caudal para un tiempo de retorno de 100 años:

Q = 31,7 m3/s

13. MANEJO DEL SOFTWARE HEC – RAS

En base a la parte hidrológica de la cuenca se desarrolla el estudio final del proyecto con la ayuda de Hec–Ras logrando conocer la hidrología de la cuenca obteniendo así la cota de inundación del sector de estudio.

Al igual que las anteriores herramientas utilizadas Hec-Ras necesita de algunos parámetros para realizar su análisis

Parámetros requeridos por hec-ras:

- Topografía del sector de estudio
- Secciones transversales del tramo aledaño al escenario de inundación
- Pendiente de la cuenca
- Caudal
- Coeficiente de manning

13.1 TOPOGRAFÍA DEL SECTOR DE ESTUDIO

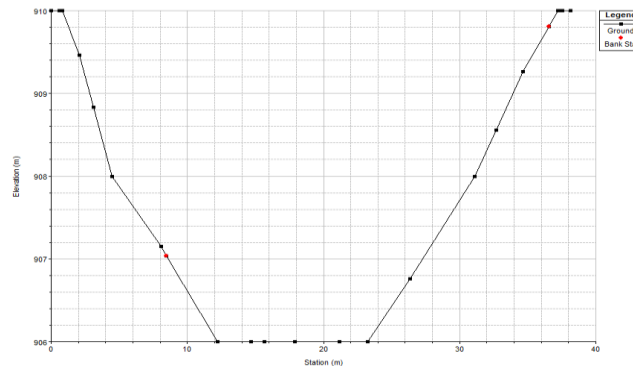
Esta topografía consiste en un levantamiento realizado al sector de la quebrada aledaño al lote de estudio, para este proyecto se utilizó una topografía existente obtenida gracias al acueducto de Bucaramanga.

13.2 SECCIONES TRANSVERSALES (AFLUENTE)

Por medio de la topografía del sector de estudio es posible realizar cortes perpendiculares a la dirección del flujo del afluente para conocer las secciones transversales de este tramo de la quebrada Zapamanga.

Este proceso se elaboró por medio de la extensión de Arcgis Hec-GeoRas la cual permite enlazar la herramienta SIG con Hec-ras ayudando a definir propiedades geométricas de la cuenca como longitud, ancho de banca, dirección de flujo y elevación. [3] La extensión Hec-GeoRas permite exportar estas características básicas para el modelo digital en Hec-Ras.

Figura 13. Ejemplo de Sección transversal en Hec-Ras



Fuente: elaborada por los autores

13.3 PENDIENTE DE LA CUENCA

Como tan solo se modeló un pequeño tramo de la quebrada, fue preciso obtener la pendiente de este sector como requisito necesario para el modelo, para el cálculo de la pendiente se tomaran los siguientes valores de acuerdo al mapa topográfico del sector.

Cota máxima=922msnm

Cota mínima=902msnm

Longitud= 623.8 m

$$S = \frac{922 - 902}{623.8 - 0} = 0.030$$

13.4 CAUDAL

Obtenido previamente como resultado final de la fase hidrológica para un periodo de retorno de 100 años.

$$\underline{Q = 31,7 \text{ m}^3/\text{s}}$$

13.5 COEFICIENTE DE RUGOSIDAD DE MANNING

para obtener este valor fue preciso hacer un reconocimiento de la zona de estudio identificando diversos factores tales como: la vegetación, las irregularidades del canal, el alineamiento del canal, la sedimentación y socavación, obstrucciones de piedras, nivel y caudal, cambio estacional y los materiales en suspensión y de carga del lecho.

A partir de estas características determinamos el valor del coeficiente de rugosidad a partir del método de Cowan

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

Dónde:

n_0 = rugosidad del material del cauce

n_1 = irregularidades de la superficie

n_2 = variaciones de la sección transversal

n_3 = obstrucciones

n_4 = vegetación y condiciones de flujo

n_5 = estructura de los meandros

Figura 14. Coeficientes de rugosidad de manning

Coeficiente de rugosidad de Manning por el método de Cowan						
FACTOR		MARGEN IZQUIERDO		CAUCE CENTRAL		MARGEN DERECHO
Material Involucrado	n0	Arena	0.020	Arena	0.020	Arena 0.020
Grado de Irregularidad	n1	Menor	0.005	Menor	0.005	Menor 0.005
Variaciones sección transversal	n2	Ocasional	0.005	Ocasional	0.005	Ocasional 0.005
Obstrucciones	n3	Menor	0.010	Menor	0.005	Menor 0.010
Vegetación	n4	Baja	0.005	Baja	0.005	Baja 0.005
Meandros	n5	Menor	1.00	Menor	1.00	Menor 1.00
Rugosidad de Manning	n		0.045		0.040	0.045

Fuente: tomada del manual de drenaje ára carreteras

Con base en las características del tramo de la quebrada Zapamanga aledaña al sector de estudio y a las consideraciones mostradas por la tabla de coeficientes del manual de drenajes de Colombia se seleccionaron los siguientes valores para estos coeficientes:

Entonces:

$$n = (0.020 + 0.005 + 0.005 + 0.010 + 0.005) \times 1 = \mathbf{0.045}$$

$$n = (0.020 + 0.005 + 0.005 + 0.005 + 0.005) \times 1 = \mathbf{0.040}$$

$$n = (0.020 + 0.005 + 0.005 + 0.010 + 0.005) \times 1 = \mathbf{0.045}$$

Definidos cada uno de los parámetros se introducen en el software y se ejecuta para conocer los resultados.

En el momento de ejecutar el programa fue necesario definir el tipo de flujo, como para este proyecto el flujo es desconocido, el programa se ejecuta con la opción de flujo mixto.

13.6 RESULTADOS OBTENIDOS DESDE HEC-RAS

Los resultados arrojados por Hec-Ras se visualizan seleccionando cada ventana del menú mostrado a continuación:



Ver secciones transversales



Ver los perfiles de la lámina de agua



Ver graficas de varios parámetros a lo largo del perfil



Ver curvas caudal-calculado de cada perfil



Ver dibujos en perspectiva

14. ANÁLISIS DE RESULTADOS

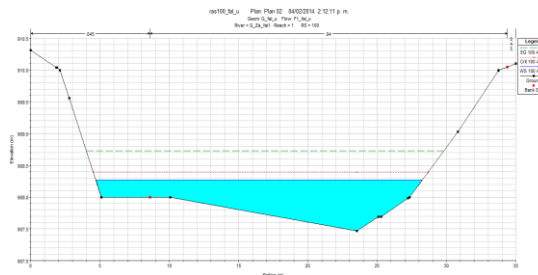
Para la realización de proyectos constructivos en este sector se analizaron los resultados de tal manera que brinden la seguridad al constructor de mantener la obra fuera de cualquier tipo de riesgo.

Teniendo en cuenta el sector y sus características se pudo considerar como cota inicial del proyecto una altura promedio de 907 m.s.n.m la cual se consideró como base para la medición de la inundación mostrada por el modelo establecido en Hec-Ras

De acuerdo a los resultados se logró estipular que si es necesario realizar obras de canalización o por lo contrario el cauce de la quebrada influiría de manera negativa sobre el proyecto que se pueda elaborar en este sector.

14.1 RESULTADOS DE HEC-RAS

Figura 15. Sección transversal de la cota de inundación



Fuente: elaborada por los autores en Hec-Ras

Al revisar la altura de la lámina de agua en las secciones aledañas al lote se estima una cota de inundación promedio de 908.14 m.s.n.m de altura la cual supera la altura de construcción del proyecto.

Este resultado se obtuvo por el promedio de las alturas mostradas por el modelo de las secciones transversales 80 hasta la 140 ya que este sector se encuentra junto al sector de estudio.

15. OBRAS DE MITIGACIÓN DE INUNDACIÓN

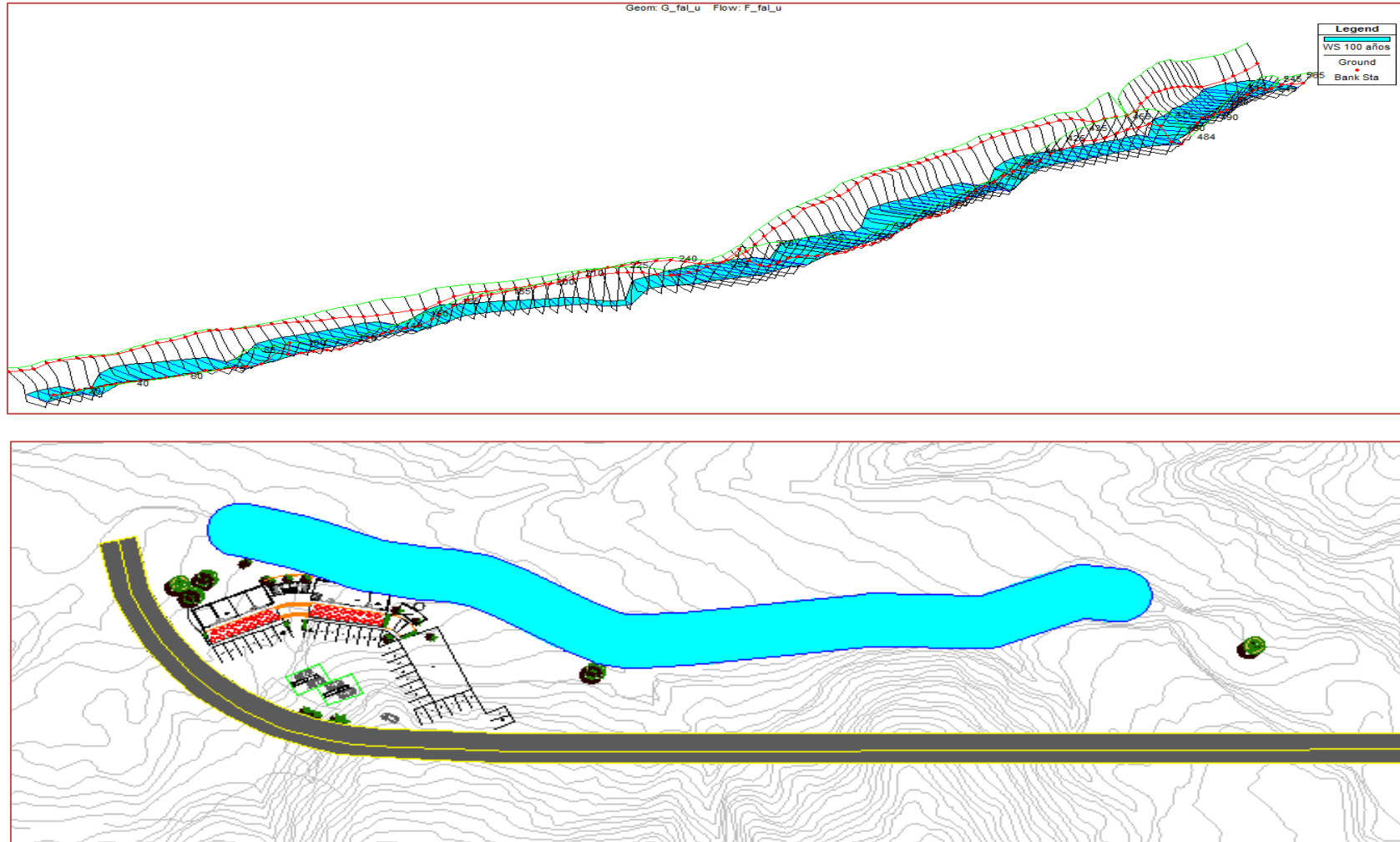
Si se desea continuar con el proyecto constructivo conociendo los resultados, es indispensable realizar algunas obras o modificaciones del canal como medida de contención o prevención para evitar daños futuros en la estructura.

Las modificaciones al canal que se pueden realizar para evitar la inundación son: dragarlo para que sea más ancho o profundo, limpiar la vegetación u otros residuos, emparejar el lecho o las paredes, todo esto ayuda a aumentar la velocidad del agua que pasa por el canal, e impedir las inundaciones.

También se podría proponer una solución estructural que impida el paso del agua hacia la obra que se construya, canalizando este sector de la quebrada.

Realizar un relleno, elevando la cota de construcción por encima de la cota de inundación de esta manera se mantendría segura la obra que se plantee construir.

Figura 16. Vista en 3D y en planta del resultado de la modelación de un escenario de inundación.



Fuente: elaborada por los autores

16. CONCLUSIONES

Para lograr obtener los mejores resultados del Hec-Ras y el Hec-Hms se debe cumplir con cada uno de los parámetros exigidos por cada uno de los programas, es decir dependiendo de la calidad de la información que reciba cada programa así mismo será la calidad de los resultados obtenidos.

El análisis de datos de precipitación se considera para tiempos de retorno de 25, 50 y 100 años, este proyecto se ejecutó con los valores obtenidos a 100 años, ya que mostraba la mayor precipitación acumulada.

Según los resultados obtenidos de la modelación del tramo de quebrada donde se aplicó el estudio se conocieron resultados desfavorables para la implementación de algún tipo de proceso constructivo, ya que la cota promedio de construcción se considera de 907 [m] y la cota de inundación promedio obtenida es de 908.14 [m] obligando al constructor a solucionar estos inconvenientes previniendo futuros riesgos.

17. OBSERVACIONES

Para llevar a cabo la elaboración de este proyecto se necesitó de mucha información específica del sector de estudio, este proceso de recolección de información conllevó una tarea larga y tediosa debido a que todos los datos provenían de fuentes diferentes. Durante esta búsqueda fue necesario estudiar y verificar toda la información recibida por los entes colaboradores para que fuera útil en el proceso de elaboración del proyecto, de esta manera y en base a la información y datos recopilados se muestran los resultados.

El manejo de las herramientas computacionales utilizadas resultó más complejo de lo esperado dado a que ninguno de los autores conocía el manejo de ninguno de ellos, el aprendizaje de cada programa se logró por medio de manuales y videos instructivos de internet, también la perseverancia de cada uno de los autores para poder cumplir con el desarrollo del proyecto.

Teniendo en cuenta los conceptos hidrológicos e hidráulicos adquiridos en la formación universitaria y con el manejo de cada herramienta computacional logramos identificar las ventajas de ellas para la creación de escenarios de inundación.

18. RECOMENDACIONES

La aplicación del proyecto se planteó para un tiempo de retorno de 100 años, pero es recomendable realizar estudios para tiempos más cortos o más largos, con el fin de encontrar u obtener más alternativas en los resultados.

Se debe tener especial cuidado con las obras de mitigación del riesgo de inundación considerando que al aumentar la velocidad y capacidad de flujo de la quebrada podrá generar daños en sectores ubicados aguas abajo.

BIBLIOGRAFIA

DÍAZ AMADO, Carolina Andrea; NORIEGA HUERTAS, Katalina. Modelado de escenario de inundación mediante herramientas SIG. Tesis de Pregrado. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga. 2011.

Hydrologic Engineering Centers Hydrologic Modeling System (HEC- HMS) está diseñado para simular los procesos de precipitación -escorrentía de los sistemas de cuencas dendríticas

Hydrologic Engineering Centers River Analysis System (HEC-RAS) permite llevar a cabo el flujo unidimensional constante, el flujo no permanente, el transporte de Manual de drenajes para carreteras. Republicad de Colombia. Ministerio de Transporte. Instituto Nacional de Vías. 2009.

MOLERO MELGAREJO, Emilio. Manual Básico de Hec-GeoRas. Modelación de Ríos con Hec-Ras y SIG. 3ra Edición Universidad de Granada. España. 2013.

NANÍA, Leonardo S. y MOLERO, Emilio. Manual Básico de Hec-Ras. Modelación de Ríos con Hec-Ras y SIG. Universidad de Granada. España. 2007.

NANÍA, Leonardo S. Manual Básico de Hec-Hms. Cálculo de Caudales de Avenida con Hec-Hms y SIG. Universidad de Granada. España. 2007.

SOIL CONSERVATION SERVICE (SCS). Agencia federal de estados Unidos que trabaja en asociación con el pueblo americano para conservar y mantener los suelos y recursos naturales

Te Chow, Ven; MAIDMENT, David R.; MAYS, Larry W.. Hidrología Aplicada.
Editorial McGraw Hill. 1994. Capítulos 5, 7 y 12.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] Leonardo S. Nanía. Manual Básico de Hec-Hms. Cálculo de Caudales de Avenida con Hec-Hms y SIG. Universidad de Granada. España. 2007.

[2] Leonardo S. Nanía y Emilio Molero. Manual Básico de Hec-Ras. Modelación de Ríos con Hec-Ras y SIG. Universidad de Granada. España. 2007.

[3] Emilio Molero Melgarejo. Manual Básico de Hec-GeoRas. Modelación de Ríos con Hec-Ras y SIG. 3ra Edición Universidad de Granada. España. 2013.

[4] Carolina Andrea Díaz Amado. Katalina Noriega Huertas. Modelado de escenario de inundación mediante herramientas SIG. Tesis de Pregrado. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga. 2011.

[5] Ven Te Chow, David r. Maidment, Larry w. Mays. Hidrología Aplicada. Editorial McGraw Hill. 1994. Capítulos 5, 7 y 12.

[6] Manual de drenajes para carreteras. Republica de Colombia. Ministerio de Transporte. Instituto Nacional de Vías. 2009