

Modelación hidráulica del río Ocoa para la identificación de zonas de inundación dentro del casco urbano del municipio de Villavicencio, desde el barrio Porfía hasta Kirpas

Modelación hidráulica del río Ocoa para la identificación de zonas de inundación dentro del casco urbano del municipio de Villavicencio, desde el barrio Porfía hasta Kirpas



Juan Stheban Sánchez Aragón

**Facultad de Ingeniería Civil
Universidad Santo Tomás
Villavicencio,
Mayo
2018**

Modelación hidráulica del río Ocoa para la identificación de zonas de inundación dentro del casco urbano del municipio de Villavicencio, desde el barrio Porfía hasta Kirpas

Proyecto de Aplicación en Temas de Ingeniería Civil

Modelación hidráulica del río Ocoa para la identificación de zonas de inundación dentro del casco urbano del municipio de Villavicencio, desde el barrio Porfía hasta Kirpas

Juan Stheban Sánchez Aragón

Trabajo de grado presentado como requisito para optar el título de **Ingeniero Civil**

Director

Esp. Iván Darío Acosta Sabogal
Especialista en Recursos Hídricos

Facultad de Ingeniería Civil

Universidad Santo Tomás

Villavicencio,

Mayo

2018

AUTORIDADES ACADÉMICAS

P. FRAY JUAN UBALDO LÓPEZ SALAMANCA, O.P.

Rector General

P. FRAY MAURICIO ANTONIO CORTES GALLEGO, O.P.

Vicerrector Académico General

P. FRAY JOSE ARTURO RESTREPO RESTREPO, O.P.

Rector Sede Villavicencio

P. FRAY FERNANDO CAJICA GAMBOA, O.P.

Vicerrector Académico Sede Villavicencio

JULIETH SIERRA

Secretaria de División Sede Villavicencio

Ph. D JHON JAIRO GIL PELÁEZ

Decano Facultad de ingeniería civil

NOTA DE ACEPTACIÓN

Ph. D JOHN JAIRO GIL PÉREZ

Decano de Facultad

Esp. IVAN DARIO ACOSTA SABOGAL

Director Trabajo de Grado

Esp. MÓNICA YINETH LARA PÉREZ

jurado

Villavicencio, 16 de Mayo de 2018

AGRADECIMIENTOS

Que sería de este proyecto sin Dios quien dispuso de cada una de las personas, situaciones y género sentimientos de colaboración hacia este trabajo, fue sin duda alguna su mano protectora, su dirección, persistencia, resistencia siendo mi principal custodio en zonas y campos donde el riesgo estuvo presente.

Erundina madre mía nunca estaré totalmente correspondido por lo que has hecho por mí, tus enseñanzas, educación, “ojoterapia”, ese amor incondicional en cada paso de mi vida, apoyándome en cada uno de mis días, por siempre creer en mí, pues finalmente soy lo que soy porque me ha moldeado e impulsado a superarme a mí mismo.

Luis padre ser vital en mi vida tu constancia han cavado en mi un ser lleno de vitalidad tu ejemplo de persona activa a pesar de las circunstancias ha influenciado en mi para ser digno de tu amor y respeto.

Abuela Inés tu acompañamiento es invaluable para llegar a este punto de mi vida, siempre has estado a mi lado para ayudarme cuando lo he necesitado, cada consejo ha sido práctico en todo momento, eres un ángel en tierra

Ingeniero Iván Acosta no pude haber tenido mejor mentor para este documento, quien me instruyo con sus conocimientos en los momentos propicios cuando la duda me desalentaba a continuar; su exigencia hacia mí me retaba a obtener mejores resultados

Amigos que sería de la vida sin ellos Leonardo Quiroga y David Zapata, porque se atrevieron a realizar la travesía de reconocimiento y batimetría del río, muchas gracias no solo por la presencia en cada experiencia sobre todo por la risa vivida en el proceso fueron como gasolina

Por ultimo pero de gran importancia para este proyecto mi amigo Oscar Gutiérrez, participante activo durante la ejecución de este documento, en numerosas ocasiones dispuso de su tiempo para lograr esta misión.

Gracias vida por esta maravillosa experiencia siempre recordada.

RESUMEN

Este proyecto se llevó a cabo debido a varios eventos de inundación que ha presentado el río Ocoa, los cuales reportaron daños materiales y humanos, especialmente su tramo ubicado entre las poblaciones de Ciudad Porfía y Kirpas debido a que existen asentamientos humanos muy cercanos al cauce del río. Por medio de este estudio se plantea modelar la inundación del río Ocoa para un periodo de retorno de 100 y 50 años con el fin de identificar el área de inundación máxima que este cubriría de presentarse, analizando las zonas urbanas de amenaza para la comunidad.

Para obtener este resultado se definen como factores principales que generan una inundación: la precipitación, la topografía y la capacidad de escorrentía de la cuenca. Bajo estos parámetros se obtiene información acerca de la precipitación del lugar, pendiente, cobertura del suelo, tipo de suelo para comprender el comportamiento del terreno ante una precipitación evaluada, dicha información se obtendrá de entidades tales como el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, La Administración Nacional de la Aeronáutica y del Espacio, el Servicio Geológico Colombiano. Y para su aplicación se usaran principalmente conocimientos teórico-prácticos sobre hidrología, hidráulica, geología, sistemas de información geográfica.

Los resultados de esta investigación son de viable uso como insumo base para la toma de decisiones en la creación de estructuras de mitigación de riesgo por inundación en las zonas de afectación urbana y de expansión a lo largo del cauce.

Palabras Clave: riesgo, inundación, modelación, río Ocoa.

ABSTRACT

This project was carried out due to several flood events that have presented the Ocoa River, which report material and human damage, especially in the section located between the towns of Porfía City and Kirpas because there are human settlements very close to the riverbed. del Rio. Through this study, we propose to model the flooding of the Ocoa River for a return period of 100 years and 50 years in order to identify the maximum flood area that this emergency covers, analyzing urban areas of threat to community.

To obtain this result are defined as the main factors that generate a flood: precipitation, topography and runoff capacity of the basin. These parameters are close, at the beginning, to the content of the event, to the knowledge of the terrain, to the extreme event, to the information found in the Institute of Hydrology, Meteorology and Environmental Studies, The National Administration of Aeronautics and Space, the Colombian Geological Service. And for its application it is mainly used theoretical and practical knowledge on hydrology, hydraulics, geology, geographic information systems.

The flood caused by the Ocoa River between the closed sections was obtained by the following variables: historical rainfall behavior, runoff level, the geomorphological characteristics of the basin, the hydraulics of the channel in the Porfía - Kirpas section.

The results of this research can be used as a basis for decision-making in the creation of mitigation structures for flood risk in areas of urban affectation and expansion along the riverbed.

Keywords: risk, flood, modeling, Ocoa river.

TABLA DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS.....	5
RESUMEN.....	6
ABSTRACT	7
TABLA DE CONTENIDO.....	8
LISTA DE TABLAS	11
FIGURAS	12
MAPAS	17
1. INTRODUCCIÓN.....	19
1.1. Motivación y formulación del problema	19
1.2. Finalidad	19
1.2.1. Objetivo General.....	19
1.2.2. Objetivo Específicos.....	19
1.3. APORTES	20
2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA Y CIENTÍFICA.....	22
2.1. Marco teórico.....	22
2.1.1. Riesgo	22
2.1.1.1. Amenaza:.....	22
2.1.1.2. Vulnerabilidad:.....	22
2.1.2. Sistemas de información geográfica:.....	23
2.1.3. Modelo Hidrológico:	23
2.1.3.1. Hietograma de precipitación efectiva:.....	23
2.1.4. Modelo Hidráulico:	27
2.2. Marco legal:.....	28
2.3. Estado del arte	31
2.3.1. Modelamiento por medio de HEC-RAS, HEC-GEORAS Y ARC-GIS.	31
2.3.2. Amenazas por inundación	32
2.3.3. Mapa de inundación de Villavicencio	33
2.4. Descripción de la región estudio:	35
2.4.1. Ubicación de la zona estudio.....	35

2.4.2.	Cobertura del suelo:.....	37
2.4.3.	Caudales:	39
2.4.4.	Índices morfométricos de la cuenca:	39
2.4.5.	Características climáticas:	40
3.	METODOLOGÍA EXPERIMENTAL.....	47
3.1.	Metodología.....	47
3.1.1.	TIN (triangulated irregular network):.....	49
3.1.1.1.	Topografía del terreno:.....	49
3.1.1.2.	Batimetrías	50
3.1.2.	Mapa de número de curva.	53
3.1.2.1.	Uso del suelo	53
3.1.2.2.	Tipo de suelo.	55
3.1.3.	Hidrograma unitario sintético.....	56
3.1.3.1.	Climatología del área estudio:.....	56
3.1.3.2.	Curvas IDF	56
3.1.3.3.	Hidrograma de unitario sintético.....	59
3.1.4.	Modelación en HEC-RAS.	61
3.1.5.	Trasposición del área máxima de inundación con el terreno real y análisis. 62	
3.2.	Desarrollo de la investigación	63
3.2.1.	TIN (triangulated irregular network):.....	63
3.2.1.1.	Topografía del terreno:.....	63
3.2.1.2.	Batimetrías	65
3.2.2.	Mapa de número de curva.	66
3.2.2.1.	Uso del suelo	67
3.2.2.2.	Tipo de suelo.	69
3.2.3.	Hidrograma de crecida.....	74
3.2.3.1.	Curvas IDF:	74
3.2.3.2.	Hidrograma de crecida.	77
3.2.4.	Modelación en HEC-RAS.	79
4.	PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	82
4.1.1.	Caracterización morfométrica del área de estudio.	82

4.1.2.	Realizar la caracterización de la morfogénesis (tipo de suelo) del área de estudio.	86
4.1.3.	Hidrogramas de crecida máximo esperado.....	87
4.1.4.	Identificar las zonas que posean riesgo por inundación por medio de la relación de las características de la cuenca para 100 y 50 años de retorno.	88
4.1.4.1.	Tramo A (La Isla-Puente entrada Porfía).....	89
4.1.4.2.	La isla y San Cipriano.	90
4.1.4.2.1	La Playita y Villas del Ocoa	95
4.1.4.2.2	Porfía.....	99
4.1.4.3.	Tramo B (El Puente Porfía-Puente Caído).....	103
4.1.4.3.1	Nuevo Amanecer, Guaduales, Santa Librada.	105
4.1.4.3.2	El Ruby y Villa Hermosa:.....	107
4.1.4.3.3	San Cayetano y Puente Caído.	111
4.1.4.4.	Tramo C (Puente Caído-Puente Ocoa):.....	115
4.1.4.4.1	Primero de Mayo y Juan Pablo II.	116
4.1.4.4.2	La Rosita y Casibarito.....	119
4.1.4.4.3	Chorillano y La Cecilia.	124
4.1.4.5.	Tramo D, (Puente Ocoa-Kirpas)	128
4.1.4.5.1	Gaviotas	129
4.1.4.5.2	Cavivir	132
4.1.4.5.3	La Sabana, La Carolina, Triunfadores del Ocoa.....	138
4.1.4.5.4	Villa Samper y Kirpas.....	142
4.1.5.	Cuantificar el área urbana dentro de las zonas de riesgo resultantes.....	147
4.1.6.	Cumplimiento de objetivos específicos	148
5.	CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS	149
5.1.	Conclusiones.....	149
5.2.	TRABAJOS FUTUROS.....	150
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	152
	ANEXOS	157

LISTA DE TABLAS

Tabla 2-1Precipitación acumulada para 3 niveles de acumulación	24
Tabla 2-2Número de curva para uso y permeabilidad del suelos selectos	25
Tabla 2-3Clasificación de pendientes estudio de zonificación de amenaza río Ocoa.	34
Tabla 2-4Curvas IDF Apto Vanguardia	35
Tabla 2-5Uso del suelo área del río del río Ocoa,	38
Tabla 2-6Caudales máximos mensuales.....	39
Tabla 2-7Índices morfométrico	39
Tabla 3-1Combinaciones Landsat8 Oli	54
Tabla 3-2Variables para curva IDF	56
Tabla 3-3Constantes para ecuaciones.....	57
Tabla 3-4Permeabilidad del suelo según unidad geológica.	70
Tabla 3-5Número de curva por combinaciones.....	73
Tabla 3-6Número días con lluvia al año.....	74
Tabla 3-7Máximo de precipitación media anual en 24 horas.....	74
Tabla 3-8Valores totales mensuales de precipitación al año	74
Tabla 3-9Curvas IDF Apto. Vanguardia para 6 horas	75
Tabla 4-1Área por número de curva.....	86
Tabla 4-2Calificación de la amenaza.....	147
Tabla 4-3Cumplimiento de objetivos	148

FIGURAS

Figura 2-1Comportamiento hidrograma unitario SCS	26
Figura 2-2metodología estudio proyecto	31
Figura 2-3Amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa e inundación zona urbana	33
Figura 2-4Ubicación de la zona estudio.	36
Figura 2-5Tramos de estudio.....	37
Figura 2-6Temperatura media Villavicencio.....	40
Figura 2-7Humedad relativa Villavicencio	41
Figura 2-8Brillo Solar Villavicencio	42
Figura 2-9Brillo solar Villavicencio.....	43
Figura 2-10Precipitación media anual 24hr Villavicencio	44
Figura 2-11No días de precipitación Villavicencio.....	45
Figura 2-12Precipitación máxima 24 hr Villavicencio.....	46
Figura 3-1Metodología del proyecto	48
Figura 3-2Inicio rio-fin zona estudio.....	49
Figura 3-3Batimetrías tramo A.....	50
Figura 3-4Batimetrías Puente Ocoa-Puente Caído.....	51
Figura 3-5Batimetrías Puente Caído-Puente entrada Porfía.....	51
Figura 3-6Batimetrías Puente Porfía Fin San Cipriano	52
Figura 3-7Sub áreas de drenaje	55
Figura 3-8curva IDF ecuación 9.....	58
Figura 3-9curva IDF vanguardia grupo Odinsa S.A.....	58
Figura 3-10Método de los bloques alternos,	59
Figura 3-11Componentes del basin.	60
Figura 3-12Geometría de la cuenca en HEC-RAS.....	62
Figura 3-13(A) DEM corregido por error de vacío, (B) Dirección del DEM.	63
Figura 3-14Red de drenaje de la cuenca.....	64
Figura 3-15TIN del terreno.....	64
Figura 3-16Mejora de las secciones batimétricas.....	65

Figura 3-17TIN terminado.....	66
Figura 3-18Imagen Lansdat8OLI zona estudio sin corrección atmosférica.	67
Figura 3-19Imagen satelital (A) no corregida por atmósfera, (B) corregida por atmosfera. 68	
Figura 3-20Conjunto de puntos sobrepuesto combinación 6 4 2.	68
Figura 3-21Plancha 266-001 digitalizada.....	69
Figura 3-22Curva IDF Vanguardia.....	76
Figura 3-23Hietograma de diseño 100 años	76
Figura 3-24Hietograma de diseño 50 años	77
Figura 3-25Basin HEC-HMS.	77
Figura 3-26Hidrograma de crecido 100 años de retorno.....	78
Figura 3-27Hidrograma de crecida 50 años de retorno	78
Figura 3-28Geometría y puntos de ingreso de caudales al río Ocoa.	80
Figura 3-29Inundación máxima prevista del río Ocoa.	81
Figura 4-1Topografía en formato TIN con detalle del río Ocoa.	82
Figura 4-2Curva antes del puente entrada Porfía.	83
Figura 4-3Batimetría tramo B	84
Figura 4-4Curva Primero de Mayo.....	84
Figura 4-5 Curva barrio Cavivir.	85
Figura 4-6Hidrograma de caudal 100 años salida de la cuenca.	87
Figura 4-7Inundación evento máximo. Desde La Isla hasta Kirpas.....	88
Figura 4-8 Inundación tramo A para, (A) 100 años de retorno (B) 50 años de retorno.	89
Figura 4-9La Isla vista aguas abajo hacia aguas arriba.	90
Figura 4-10Entrada La Isla.....	91
Figura 4-11Costado derecho La Isla.....	91
Figura 4-12Costado izquierdo La Isla	92
Figura 4-13Caminos dentro de La Isla	92
Figura 4-14Comportamiento y velocidad de flujo La Isla.	93
Figura 4-15 Profundidades de Inundación La Isla.....	94
Figura 4-16Profundidades barrio La Isla.....	95
Figura 4-17Rivera de La Playita.....	96
Figura 4-18 Comportamiento y velocidad de flujo inundación La Playita.	97

Figura 4-19	Profundidades de La Playita.	98
Figura 4-20	Profundidades barrio La Playita.	99
Figura 4-21	Protección de viviendas y matorrales cerca de viviendas.	100
Figura 4-22	Comportamiento y velocidad de flujo inundación Ciudad Porfía.	101
Figura 4-23	Profundidades de Inundaciones Ciudad Porfía.	101
Figura 4-24	Profundidades barrio Ciudad Porfía.	102
Figura 4-25	Inundación tramo B para, (A) 100 años de retorno (B) 50 años de retorno. ...	103
Figura 4-26	(A) Curva Puente Caído-(B) camino de ingreso.	104
Figura 4-27	Comportamiento y velocidad de flujo inundación Nuevo Amanecer, Guaduales, Santa Librada.	105
Figura 4-28	Profundidades de Inundación Nuevo Amanecer, Guaduales, Santa Librada.	106
Figura 4-29	Profundidades barrio Guaduales.	106
Figura 4-30	Profundidades barrio Santa Librada.	107
Figura 4-31	Comportamiento y velocidad de flujo inundación El Ruby y Villa Hermosa.	108
Figura 4-32	Profundidades de Inundaciones el Ruby y Villa Hermosa.	109
Figura 4-33	Profundidades barrio El Ruby.	110
Figura 4-34	Profundidades barrio Villa Hermosa.	111
Figura 4-35	Comportamiento y velocidad de flujo Inundación San Cayetano y Puente Caído.	112
Figura 4-36	Barrio Puente Caído a la rivera del río Ocoa.	112
Figura 4-37	Profundidades de Velocidades San Cayetano y Puente Caído.	113
Figura 4-38	Profundidades barrio San Cayetano.	114
Figura 4-39	Profundidades barrio Puente Caído.	115
Figura 4-40	Inundación tramo C (A) 100 años de retorno (B) 50 años de retorno.	115
Figura 4-41	Comportamiento y velocidad de flujo inundación Primero de Mayo y Juan Pablo II.	116
Figura 4-42	Profundidades de inundación Primero de Mayo y Juan Pablo II.	117
Figura 4-43	(A) Primero de Mayo, (B) Juan Pablo II.	118
Figura 4-44	Profundidades barrio Primero de Mayo.	118

Figura 4-45	Profundidades barrio Juan Pablo II.....	119
Figura 4-46	Viviendas a la rivera del río Ocoa en La Rosita.	120
Figura 4-47	Comportamiento y velocidad de flujo inundación barrios Casibarito y La Rosita.....	121
Figura 4-48	Profundidades de inundación Casibarito y La Rosita.....	122
Figura 4-49	Profundidades barrio La Rosita.	123
Figura 4-50	Vivienda La Cecilia	124
Figura 4-51	Comportamiento y velocidad de flujo inundación inundaciones Chorillano y La Cecilia.....	125
Figura 4-52	Profundidades de Chorillano y La Cecilia.....	126
Figura 4-53	Profundidades barrio La Cecilia	127
Figura 4-54	Área de inundación tramo D.....	128
Figura 4-55	Estructura de contención Camino Ganadero	129
Figura 4-56	Viviendas a la rivera del río Ocoa barrio Gaviotas.....	129
Figura 4-57	Comportamiento y velocidad de flujo inundación Gaviotas	130
Figura 4-58	Profundidades de inundación Gaviotas	131
Figura 4-59	Profundidades barrio Gaviotas.....	132
Figura 4-60	zona interna curva barrio Cavivir	133
Figura 4-61	zona externa curva barrio Cavivir.....	134
Figura 4-62	Comportamiento y velocidad de flujo barrio Cavivir.....	135
Figura 4-63	Profundidad de inundación barrio Cavivir	136
Figura 4-64	Profundidades barrio Cavivir.....	137
Figura 4-65	Viviendas en tramo final Kirpas	138
Figura 4-66	Comportamiento y velocidad de flujo inundación barrios La Sabana, La Carolina, Triunfadores del Ocoa	139
Figura 4-67	Profundidades de inundación desde La Sabana ha Triunfadores del Ocoa	140
Figura 4-68	Profundidades barrio (A) La Sabana (B) La Carolina	141
Figura 4-69	Profundidades barrio Triunfadores del Ocoa.....	142
Figura 4-70	Comportamiento y velocidad de flujo inundación barrios Villa Samper y Kirpas	143
Figura 4-71	Profundidades de inundación barrios Villa Samper y Kirpas.....	144

Modelación hidráulica del río Ocoa para la identificación de zonas de inundación dentro del casco urbano del municipio de Villavicencio, desde el barrio Porfía hasta Kirpas

Figura 4-72 Profundidades barrio Villa Samper..... 145
Figura 4-73 Profundidades barrio Kirpas 146

MAPAS

Mapa 3-1 Uso del suelo	69
Mapa 3-2 Calificación permeabilidad del suelo	72
Mapa 3-3 Número de curva área de drenaje del río Ocoa	73

ANEXOS

Anexo A-Barrios zona estudio	157
Anexo B-Uso del suelo, área de drenaje.....	159
Anexo C-Calificación permeabilidad del suelo.....	160
Anexo D-Número de curva, área de drenaje	161
Anexo E-Datos para ingresar a HEC-HMS	162
Anexo F-Datos de ingreso canales, área de drenaje	162
Anexo G-Caudales pico de ingreso a HEC-RAS	164
Anexo H-Cuantificación de área de inundación por profundidad.....	165

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Motivación y formulación del problema

Este proyecto se realizó con el fin de determinar el área de inundación ocasionada por el río Ocoa en zonas ubicadas a la rivera de su cauce principal donde se encuentran poblaciones como Ciudad Porfía, El Ruby, La Rosita y Kirpas ante la ocurrencia de un evento extremo de precipitación. El fenómeno de inundación se evidencia tal como lo indico el Alcalde Wilmar Barbosa al periódico informando donde él día 26 de mayo de 2016 donde durante una fuerte precipitación, “*se vieron afectadas las poblaciones de la isla, un sector de Charrascal, Nuevo Amanecer, el Rubí, Villa Juliana, Unión, Santa Librada, primero de mayo, sector de Chorillano cerca a la entrada Malboral y Juan Pablo*”, el siniestro afecto un total de doce casas en riesgo de caer al río por remoción de material bajo estas y tres casas destruidas, [1]. Lo anterior es muestra de la necesidad de determinar “¿Cuáles son las zonas dentro del casco urbano del municipio de Villavicencio-Meta con riesgo a sufrir inundaciones desbordamiento del río Ocoa por factores de precipitación?”

1.2. Finalidad

1.2.1. Objetivo General

Modelar hidráulicamente el río Ocoa para la identificación de la zona de inundación dentro del casco urbano del municipio de Villavicencio, desde el barrio Porfía hasta Kirpas.

1.2.2. Objetivo Específicos

- Realizar los mapas morfométricos y de permeabilidad del área de drenaje del río Ocoa.
- Obtener hidrogramas de crecida del área de drenaje del río Ocoa para 50 y 100 años de retorno.

- Identificar las zonas que posean riesgo por inundación para periodos de retorno de 50 y 100 años.
- Cuantificar el área urbana dentro de las zonas de riesgo resultantes.

1.3. APORTES

-Aporte social: identificación de zonas en riesgo por inundación de los siguientes barrios: La Isla, San Cipriano, Villas del Ocoa, Ciudad Porfía, Nuevo Amanecer, Guadales, Santa Librada, El Ruby, Puente Caído, San Cayetano, Villa Hermosa. , Primero de Mayo, Juan Pablo II, Casibarito, Maporal, La Rosita, Chorillano, Cecilia. , Gaviotas, Cavivir, Acapulco, Triunfadores del Ocoa, La Sabana, Carolina, Villa Samper y Kirpas. Definiendo las áreas que necesiten mayor atención por parte de las organizaciones a quienes corresponda mitigar el riesgo por daños materiales y humanos de los residentes del lugar.

-Académico: documento de soporte metodológico para estudios hidráulicos sobre inundación futuros a desarrollar en poblaciones con problemas similares existiendo la posibilidad de ser usado, perfeccionado o adaptado según la necesidad del investigador interesado.

-Académico: el uso de software y bases de datos relacionados al estudio presentan información viable para la obtención de estos.

-Científico: los resultados obtenidos tales como la cobertura del suelo, precipitación, redes de drenaje, permeabilidad del suelo, área de drenaje, entre otros son propiedades características de la cuenca, de uso según sea la necesidad.

-Social: Documento de consulta como insumo para el Plan de Ordenamiento Territorial de Villavicencio, teniendo en cuenta que sus resultados determinan las áreas susceptibles a inundación para el tramo estudio.

-Científico: insumo para la actualización del POMCA del río Ocoa, hasta el barrio Kirpas,

teniendo en cuenta tanto como su resultado general así como los productos específicos.

En los capítulos posteriores se describirán procesos destinados a la obtención de la inundación de la zona estudio delimitada en el presente capítulo comenzando por la explicación teórica que abarca temas como la hidráulica de los ríos, uso de sistemas de información geográfica, revisados de sus autores originales o tomado de investigaciones o estudios similares, así también como normativas que apoyan la gestión de ríos fueron parte de la realización de este documento. Definidos esto se describen decisiones que llevaron a la toma de cada una de las metodologías y programas usados. Finalmente desarrollada la metodología se obtiene la inundación y el análisis de los casos más representativos por último las conclusiones que se derivan de ellos dando respuesta a lo necesitado en los objetivos del proyecto.

2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA Y CIENTÍFICA

2.1. Marco teórico

2.1.1. Riesgo

El riesgo es la probabilidad de que una población o lugar sean afectados por una amenaza existente, el nivel de daño que se ocasiona viene determinado por la magnitud del evento y el nivel de vulnerabilidad de las poblaciones susceptibles a ser impactada por el peligro latente [2].

El nivel del riesgo es mitigable por medio de la ejecución de variados procesos , por nombrar algunos: estructuras de contención, sistemas de alerta temprana, reubicación de viviendas a zonas con baja susceptibilidad por amenaza, o simplemente el conocimiento de la existencia del riesgo puede salvar vidas.

2.1.1.1. Amenaza:

La amenaza es la existencia de un peligro latente para algún grupo poblacional. Se puede clasificar en dos grandes grupos [3]:

- Naturales: sucesos originados a causa de la naturales, tales como terremotos, inundaciones, deslizamientos y los huracanes.
- Tecnológicos: son aquellos provocados por la actividad humana, tales como guerras, emergencias sanitarias, incendios la contaminación.

2.1.1.2. Vulnerabilidad:

Es la capacidad de respuesta que posee una población para reducir los efectos producidos por la activación de una amenaza, de la cual son susceptibles a ser afectados. Para caracterizar la vulnerabilidad de un lugar se analizan dos factores principalmente [4]:

- Sensibilidad: esta se evalúa al momento en que se produce el evento, teniendo en cuenta la resistencia inmediata de la población y sus estructuras a no ser dañados.

- Resiliencia: es la capacidad que tiene la población afectada a recuperarse de los daños ocasionados por el evento ocurrido y retomar su estado antes del evento.

2.1.2. Sistemas de información geográfica:

Los sistemas de información geográfica (SIG) pueden ser definidos de forma general como la ubicación espacial geográfica de datos e información por medio de un entorno software que las relacione y permita su fácil y rápido acceso.

Los SIG son actualmente uno de los instrumentos más viables para la recopilación y lectura de datos debido a su facilidad visual de interpretación de datos, así mismo también se favorece gracias a la cantidad de herramientas que existen para la relación entre varias capas en la obtención de información viable para la toma de decisiones.

En la actualidad los SIG representan software casi obligatorio para proyectos grandes donde se manejan grandes cantidades de datos, debido a su rápido ingreso, organización espacial, evaluación y visualización de gran cantidad de datos, en procesos rápidos según la necesidad del proyecto.

2.1.3. Modelo Hidrológico:

2.1.3.1. Hietograma de precipitación efectiva:

Este proyecto evalúa la inundación por eventos de precipitación máxima, sin embargo hay factores que determinan cuanto de esa lluvia en realidad llega a los cuerpos hídricos, por esto se debe realizar una abstracción a esa precipitación, para el presente se utiliza el método del Soil Conservation Service.

Método SCS para abstracciones (Número de curva)

Método desarrollado por el Soil Conservation Service de los Estados Unidos hoy llamado Natural Resources Conservation Service el cual se usa para determinar el nivel de escorrentía que posee un suelo con valores que van desde 0 con suelos altamente permeables, hasta 100 para los impermeables. Lo anterior depende d grupo hidrológico y al

comportamiento del suelo [5].

La precipitación efectiva se expresa por medio de la siguiente ecuación:

$$P_E = \frac{(P - 0.2S)^2}{P + 0.8S}$$

P_E =Precipitación efectiva (mm).

P=profundidad de precipitación (mm).

$S=1000/CN - 10$

Para el desarrollo de este método el SCS define valores del uso del suelo y el tipo de suelo, según el tipo de humedad el SCS clasifica la humedad en los niveles (I, II, III) dependiendo de los antecedentes de humedad. Para el proyecto se toma el promedio II.

Tabla 2-1 Precipitación acumulada para 3 niveles de acumulación.

Condición de humedad antecedente AMC	Precipitación acumulada de los 5 días previos al evento en consideración (cm)
I	0-3.30
II	3.5-5.25
III	Más de 5.25

Fuente: adaptada y modificada de [5]

Condición I: Suelo seco. No aplicable a crecida de proyecto. Caudales muy pequeños.

Condición II: Suelo medio. Asociado a crecidas anuales o promedios.

Condición III: Suelo húmedo. Crecidas máximas. Caudales grandes.

El SCS presenta un resumen donde se describen los valores para el número de curva dependiendo del uso del suelo y la característica permeable del suelo [Tabla 2-2]:

Tabla 2-2 Número de curva para uso y permeabilidad del suelos selectos.

Números de curva de escorrentía para usos selectos de tierra agrícola, suburbana y urbana (condiciones antecedentes de humedad II, $l_a = 0.25$)					
Descripción del uso de tierra		Grupo hidrológico del suelo			
		a	b	c	d
Tierra cultivada:	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
Vegas de río: condiciones óptimas		30	58	71	78
Bosques: troncos delgados, cubierta pobre, sin hierbas, cubierta buena		45	66	77	83
Áreas abiertas, césped, parques, campos de golf, cementerios, etc. Óptimas condiciones: cubierta de pasto en el 75% o más condiciones aceptables: cubierta de pasto en el 50 al 75%		25	55	70	77
Áreas comerciales de negocios (85% impermeables)		39	61	74	80
Distritos industriales (72% impermeables)		49	69	79	84
Residencial		89	92	94	95
Tamaño promedio del lote	Porcentaje promedio impermeable	81	88	91	93
1/8 acre o menos	65	77	85	90	92
1/4 acre	38	61	75	83	87
1/3 acre	30	57	72	81	86
1/2 acre	25	54	70	80	85
1 acre	20	51	68	79	84
Parqueadores pavimentados, techos, accesos, etc.		98	98	98	98
Calles y carreteras:					
Pavimentados con cunetas y alcantarillas		98	98	98	98
grava		76	85	89	91
Tierra		72	82	87	89

Fuente: adaptada y modificada de [5]

Hidrograma unitario (SCS):

El hidrograma unitario sintético del SCS o de crecida como mejor se le conoce, se crea ante la falta de un registro suficiente de caudales, que permita construir un hidrograma unitario real.

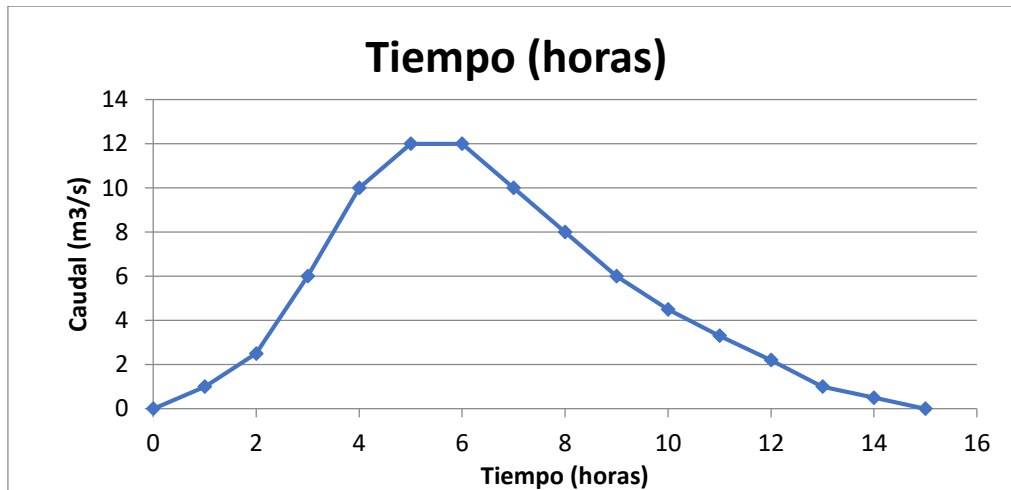


Figura 2-1 Comportamiento hidrograma unitario SCS. Fuente: adaptada y modificada de [6].

El diagrama resultante esta supuesto de forma asimétrica inclinada hacia la izquierda donde se ubica su caudal pico, ver [Figura 2-1], donde como indican varios autores se presenta el caudal pico de una lluvia para reducirse gradualmente hasta llegar al caudal base de la cuenca.

Las dos variables más relevantes para el desarrollo del hidrograma son el caudal pico (Q_p), y el tiempo en que se presenta (T_p).

$$Q_p = \frac{13.705 * A_c}{T_p}$$

$$T_p = \frac{T}{2} + T_R$$

$$T = 0.113T_c$$

A_c =área de la cuenca (m^3).

T =duración de la lluvia efectiva (horas).

T_c =tiempo de concentración (horas).

Se combina con el hietograma de diseño, y se obtiene el hidrograma unitario de la cuenca.

Para realizar el anterior análisis se utiliza uno de los programas más conocidos para el cálculo de caudales en cauces el HEC – HMS.

Este software fue creado por el cuerpo de ingenieros de los Estados Unidos el cual permite muchos de los procesos usados en la modelación hidrológica de una cuenca con un tipo de

drenaje detrítico, procesos tales como: como la infiltración de eventos, los hidrograma unitarios y el enrutamiento hidrológico. [6].

2.1.4. Modelo Hidráulico:

Para el desarrollo de los cálculos hidráulicos se identifican dos actividades: el diseño topográfico de la cuenca realizado por medio de Arc-Map y el análisis de flujo por el cauce modelado en HEC-RAS:

ArcMap

La interfaz del software contiene un conjunto de herramientas que permiten la creación y edición de superficies topográficas, para el proyecto se realiza un diseño tridimensional esto facilita la visualización de un modelo de terreno sólido y su edición, por medio intersección con los levantamientos batimétricos.

La variedad en formatos y las herramientas de conversión que componen el programa, permiten que la interacción con HEC-RAS sea más sencilla y provechosa en el análisis de datos espaciales.

HEC-RAS

Es un software creado por el cuerpo de ingenieros de los Estados Unidos el cual permite realizar un flujo continuo unidimensional, cálculos de flujo inestable de una y dos dimensiones, cálculos de transporte de sedimentos, lecho móvil, modelado de la temperatura del agua, calidad del agua para ríos, entre otros. [7]

Este modelo es especialmente funcional en terrenos donde las pendientes no superan el 10%, por lo cual es perfecto para las bajas pendientes de los Llanos Orientales. Por medio del método de las ondas cinemáticas, se realiza el llenado del cauce del río, obteniendo el comportamiento del fluido a través del terreno ingresado, a causa de los caudales a los que se somete el sistema.

2.2. Marco legal:

A continuación se resumen el conjunto de leyes que son parte de la justificación legal del presente proyecto, teniendo en cuenta que la identificación de leyes y decretos relacionados con la gestión del riesgo en el país, son argumento factible para la realización de este proyecto, como insumo al cumplimiento de dichas resoluciones.

- Ley n° 46 de 1988 :por la cual se crea y organiza el sistema nacional para la prevención y atención de desastres:

Esta norma hace referencia a la creación del Sistema Nacional para la Prevención y Atención de Desastres actualmente llamado “Sistema Nacional de Información para la Gestión del Riesgo de Desastres”, en el artículo 3 se expresan algunas orientaciones dentro de las cuales para el siguiente proyecto se destacarán las siguientes:

- “a. Las fases de prevención, atención inmediata, reconstrucción y desarrollo en relación a los diferentes tipos de desastres.
- b. Los temas de orden técnico, científico, económico, de financiación, comunitario, jurídico e institucional.
- d. Los sistemas integrados de información y comunicación a nivel nacional, regional y local.
- f. Los recursos humanos y físicos de orden técnico y operativo.
- g. La coordinación interinstitucional e intersectorial.
- h. La investigación científica y estudios técnicos necesarios”.

Lo anterior se resalta bajo el hecho de la importancia de la investigación científica y operación interinstitucional para el apoyo a los estudios para la prevención de desastres a lo que responderá este proyecto [8].

- Decreto 93 de 1998: plan nacional para la prevención y atención de desastres:

Se ratifican objetivos, principios, estrategias y las orientaciones del sistema nacional para la prevención y atención de desastres, como fin de dar reducción y prevención de desastres para ofrecer una respuesta efectiva, y la recuperación de las zonas afectadas por el evento, además de la investigación del riesgo y su adopción en los procesos de planeación estatal, valiéndose de oficinas como la cruz roja cuerpos de bomberos, Fondo Nacional de Calamidades entre otras.

Dentro del título dos “Programas para la incorporación de la prevención y reducción de riesgos en la planificación”. Se establecen actividades donde el proyecto responde a la elaboración de inventarios de vivienda en riesgo nacional impulsando a la protección de estas y el entorno en zonas de riesgo. También se crearan instrumentos y metodologías para la toma de decisiones y formulación de programas de mitigación. [9]

- Conpes 3146 de 2001: estrategia para consolidar la ejecución del plan nacional para la prevención y atención de desastres – pnpad - en el corto y mediano plazo:

Se establecen estrategias para la ejecución del plan de prevención definiendo la necesidad de realizar inventarios y diagnósticos nacionales sobre amenazas y vulnerabilidades frente a riesgos naturales y antrópicas, observándose como actividad para este desarrollo la investigación y formación sobre esto en las instituciones de educación superior, creando diseños y la aplicación de metodologías para el análisis de impacto socioeconómico de desastres. [10]

- Ley 2 de 1991: se dictan normas sobre planes de desarrollo municipal, compraventa y expropiación de bienes y se dictan otras disposiciones. y la ley 2 de 1991.

De esta norma se identifica la obligatoriedad de los municipios y oficinas de planeación de tener identificado un mapa de riesgos como apoyo a la identificación de las zonas

urbanizables y las no urbanizables. [11]

Siendo esta una modificación de la ley 9 de 1991 se expresa la importancia de que los alcaldes mantengan constante actualización de las zonas con altos riesgos por ser inundables o sujetas a derrumbes y deslizamientos [12]

- Decreto 4002 de 2004: reglamentación de artículos 15 y 28 de la ley 388 de 1997. artículo 5. Revisión de los planes de ordenamiento territorial.

En este artículo se expresa la calidad del alcalde municipal para iniciar en cualquier momento un proceso a la revisión de los planes municipales bajo dos eventos:

1. Ocurrencia súbita de desastres de origen natural o antrópico.
2. Resultados técnicos detallados sobre amenazas, riesgos y vulnerabilidad que justifiquen la recalificación de áreas de riesgos.

El proyecto se rige bajo la segunda [13]

- Decreto 2811 del 18 de diciembre de 1974: ronda de los ríos.

La ley 2281 de 1974, que hace parte del capítulo, artículo 83 “DEL DOMINIO DE LAS AGUAS Y CAUCES” dispone que la ronda los ríos es de 30 metros cuando expresa “*una faja paralela a la línea de mareas máximas o a la del cauce permanente de ríos y lagos hasta de treinta metros de ancho*” [14, p. 20].

Ahora se debe hacer referencia a hasta que cubre esa línea de mareas máximas lo cual se explica cuando dice: “*De los cauces forman parte las playas o playones, o sea aquellas partes de los cauces que el agua ocupa o desocupa alternativamente*” [15, p. 7].

Playa fluvial: “*superficie plana o casi plana comprendidas las líneas de las bajas aguas de los ríos y aquellas donde llegue a estas ordinariamente en su mayor crecimiento*” [16, p. Artículo 2].

2.3. Estado del arte

2.3.1. Modelamiento por medio de HEC-RAS, HEC-GEORAS Y ARC-GIS.

El proyecto titulado “Modelamiento de zonas de inundación por medio de las herramientas HEC-RAS, Geo-Ras y Arc-Gis, para el sector comprendido entre los municipios de corrales- paz de rio a lo largo del rio Chicamocha, en el departamento de Boyacá”, identifica la obtención de la inundación por medio de 3 software HEC-RAS, Geo-Ras y Arc-Gis, el primero se presenta como una herramienta de cálculos hidráulicos de la fuente hídrica, el segundo es un software que permite el trabajo conjunto entre las herramientas que ofrece Arc-Gis y HEC-RAS, permitiendo un ambiente de diseño y computación de datos más amigables.

Para el modelamiento el estudio presenta como metodología la mostrada en la figura 2-2

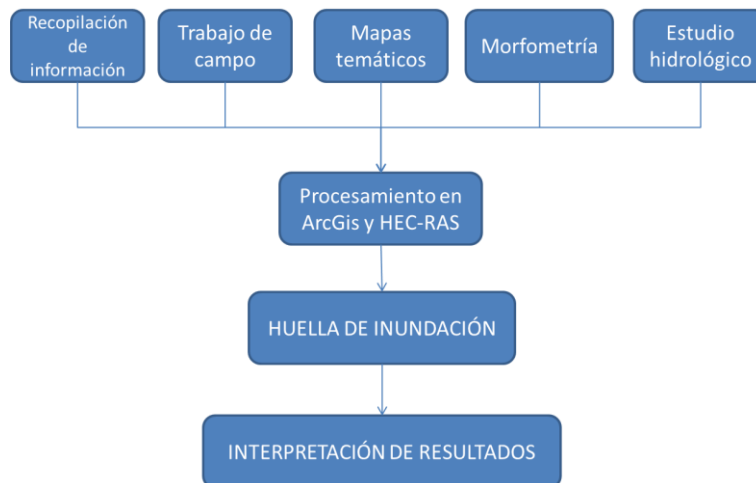


Figura 2-2 metodología estudio proyecto. Fuente: ajustado y modificado de [17]

Este estudio resalta un conjunto de 3 limitaciones que se ven en muchos de los proyectos observados a tener en cuenta son:

- Disponibilidad, calidad y cantidad de datos.
- Variación espacial baja, dejando sin un nivel eficiente la aplicación del proyecto.

Se evidencio como las primeras nombradas hacen parte de varios proyectos de pregrado teniendo en cuenta el alto costo de la información en algunos casos, especialmente, en áreas de estudio grandes, por lo cual se da la búsqueda de información gratuita que sin embargo en ocasiones no cumple con las escalas mínimas necesitadas.

Para las variables presentadas se resumen sus principales características metodológicas a continuación.

Isoyetas: se crean en base a las curvas IDF desarrolladas por varias estaciones pluviométricas las cuales por el método de interpolación IDW se interpolan entre si formando las isoyetas para la sección estudio.

2.3.2. Amenazas por inundación

Las amenazas naturales son fenómenos que pueden generar grandes repercusiones sobre cualquier grupo poblacional. En general se caracterizan a las amenazas naturales como "*Aquellos elementos del medio ambiente que son peligrosos al hombre y que están causados por fuerzas extrañas a él*". [18]

Las amenazas por inundación en el país suelen estar presentes cuando hay precipitaciones fuertes debido a su geomorfología de carácter montañoso y cambios de pendientes, este es el caso de la cuenca del río Ocoa donde su inicio se encuentra en la cordillera oriental para desembocar en el río Meta con una pendiente plana menor al 5%.

En "*Torrencialidad de avenidas en la zonificación de la amenaza por inundaciones y avenidas torrenciales en el Valle de Aburra*" se determinan por medio de la metodología los siguientes factores que influyen en el estudio: las precipitaciones, y los factores geomorfológicos

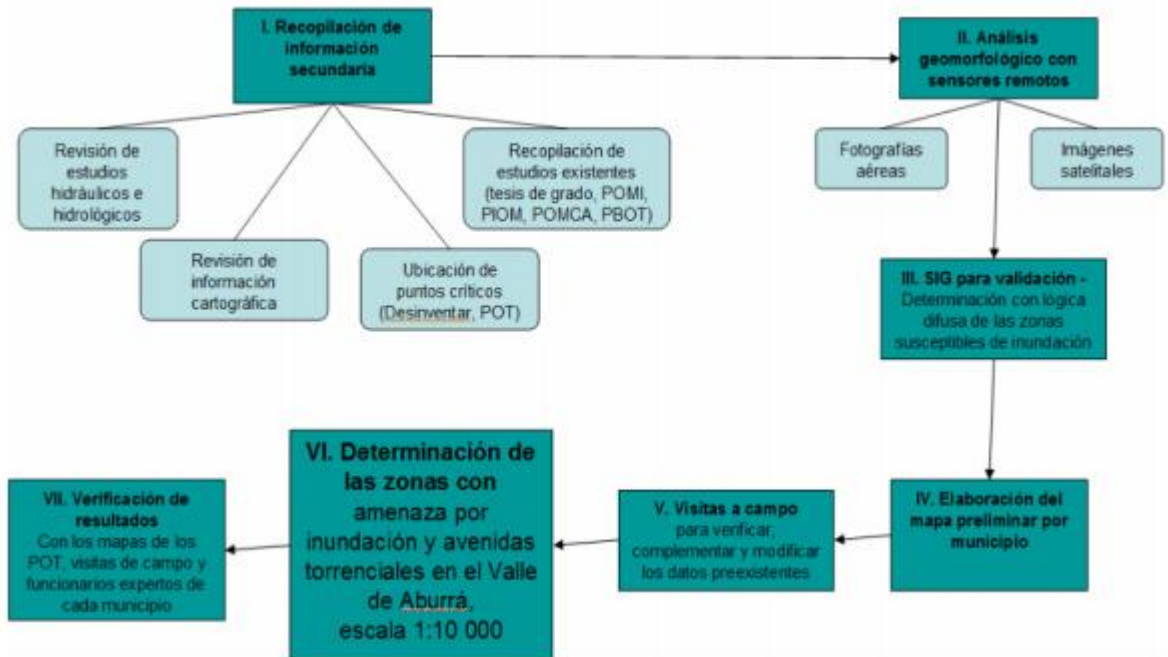


Figura 2-3 Amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa e inundación zona urbana. Fuente: obtenido de [19]

El estudio evalúa el componente social por medio del análisis de la vulnerabilidad en conjunto con la amenaza, donde se tienen en cuenta los siguientes tipos [19]:

- Social relacionado a características de la población allí habitada.
- Económica respecto a las entidades resultantes de la afectación ante un evento de inundación.
- Física referente las características de las estructuras dentro de las zonas en riesgo

2.3.3. Mapa de inundación de Villavicencio

La secretaria de planeación del municipio de Villavicencio en el año 2015, desarrollo por medio de caracterización probabilística, la realización de un mapa de amenaza por inundación para el municipio donde se tuvieron en cuenta las áreas de drenaje de las cuencas del río Guatiquia y el río Ocoa, así como la identificación de la amenaza por inundación de sus afluentes [20].

Modelación hidráulica del río Ocoa para la identificación de zonas de inundación dentro del casco urbano del municipio de Villavicencio, desde el barrio Porfía hasta Kirpas

Para desarrollar el anterior estudio se definen 4 insumos necesarios: geomorfología, modelo de elevación digital, registro de eventos y finalmente la hidrología del lugar.

-Geomorfología: el estudio identifica que el paisaje del municipio se relacionan directamente con tres procesos: procesos fluviales, erosión lateral de fondo, y socavación en las estructuras hidráulicas.

- DEM: el estudio identifica el uso del DEM 30*30 del STRM calificando las pendientes ver [Tabla 2-3]:

Tabla 2-3 Clasificación de pendientes estudio de zonificación de amenaza río Ocoa.

Descripción de la pendiente	Valores de pendiente
Llanos	<1°
Inclinados con suave pendiente	1°-5°
Pendiente moderada	5°-15°
Pendiente fuerte	12°-25°
Pendiente escarpada	25°-45°
Muy escarpados	45°<

Fuente: adaptada y modificada de [21]

-Registro de eventos: la información de los eventos de inundación presentados son obtenidas como sigue adelante: sensores remotos, visitas de campo, información del consejo municipal de Gestión de riesgo de desastres, CORMACARENA y el Servicio Geológico Colombiano:

Para el actual proyecto el río Ocoa cuenca con un total de 12 eventos de inundación registrados.

- Caracterización de precipitación: el análisis de precipitación se realiza por medio de las estaciones: Unillanos, Apto Vanguardia, Susumuco, Manzanares, Mofort, Ojo de Agua, Himat R 6. Donde se registran lluvias totales que varían desde los 5300 a 6200 mm anuales para Villavicencio. Adicionalmente para la estación Vanguardia se presenta las

curvas IDF para periodos de retorno: 2-5-10-25-50-100, para una precipitación de 2 horas [20].

Tabla 2-4 Curvas IDF Apto Vanguardia.

Periodo de Retorno TR (años)	Intensidades máximas en mm/hora para duraciones entre 5 y 120 minutos						
	5	10	20	30	60	90	120
2	116.5	100.6	81.8	70.7	53.1	44.3	38.7
5	156.3	134.9	109.7	94.8	71.2	59.4	51.9
10	182.6	157.7	128.2	110.7	83.2	69.4	60.7
25	215.8	186.4	151.5	130.9	98.4	82	71.7
50	240.5	207.6	168.9	145.8	109.6	91.4	79.9
100	264.9	228.8	186	160.7	120.8	100.7	88.1

Fuente: adaptada y modificada de [20]

2.4. Descripción de la región estudio:

2.4.1. Ubicación de la zona estudio.

El río Ocoa se encuentra en el municipio de Villavicencio-Meta, nace al occidente a una altura de 1350 m.s.n.m en la vereda de San Luis de Ocoa, recorriendo parte del área urbana hasta desembocar en el río Guatiquia a 150 m.s.n.m., cuenta con un área aproximada de 29854 hectáreas. A lo largo de su recorrido recibe aguas del Caño Maizaro, caño Buque, caño Tigre, caño apendejo, caño Aguas Claras, caño Hondo, caño Grande, caño unión, caño Las Mercedes, caño Negros, caño Rodas, caño la Gloria caño Piñalito, caño Colé Pato y caño Blanco, además del escurrimiento superficial de las lluvias y drenaje de las poblaciones cercanas que conforman su caudal base [21].

Modelación hidráulica del río Ocoa para la identificación de zonas de inundación dentro del casco urbano del municipio de Villavicencio, desde el barrio Porfía hasta Kirpas

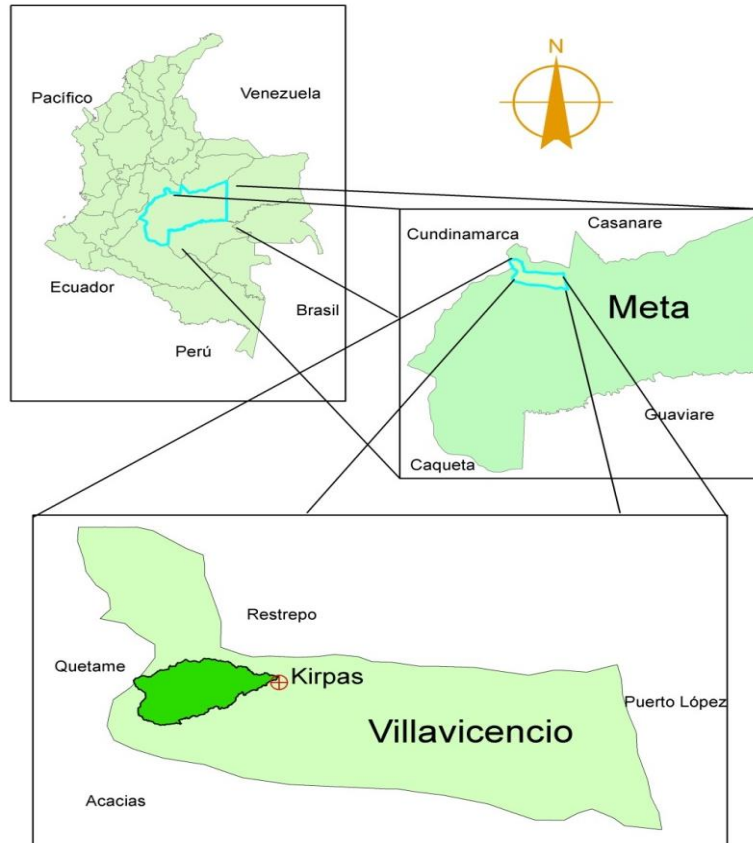


Figura 2-4Ubicación de la zona estudio. Fuente: adaptada y modificada de [22].

Los asentamientos desde La Isla (1043861.722; 942401.927) hasta Kirpas (1055268.628; 946645.78)¹ hacen parte del estudio del proyecto los cuales se han dividido en 4 tramos para su análisis como se citan a continuación²:

- Tramo A, (La Isla-Puente entrada Porfía): La Isla, San Cipriano, Villas del Ocoa, Ciudad Porfía.
- Tramo B, (Puente Porfía-Puente Caído): Nuevo Amanecer, Guadales, Santa Librada, El Ruby, Puente Caído, San Cayetano, Villa Hermosa.
- Tramo C, (Puente Caído-Puente Porfía): Primero de Mayo, Juan Pablo II, Casibarito, Maporal, La Rosita, Chorillano, Cecilia.

¹ Las coordenadas se presentan en la proyección MAGNA SIRGAS

Modelación hidráulica del río Ocoa para la identificación de zonas de inundación dentro del casco urbano del municipio de Villavieja, desde el barrio Porfía hasta Kirpas

-Tramo D, (Puente Ocoa-Kirpas): Gaviotas, Cavivir, Acapulco, Triunfadores del Ocoa, La Sabana, Carolina, Villa Samper y Kirpas.

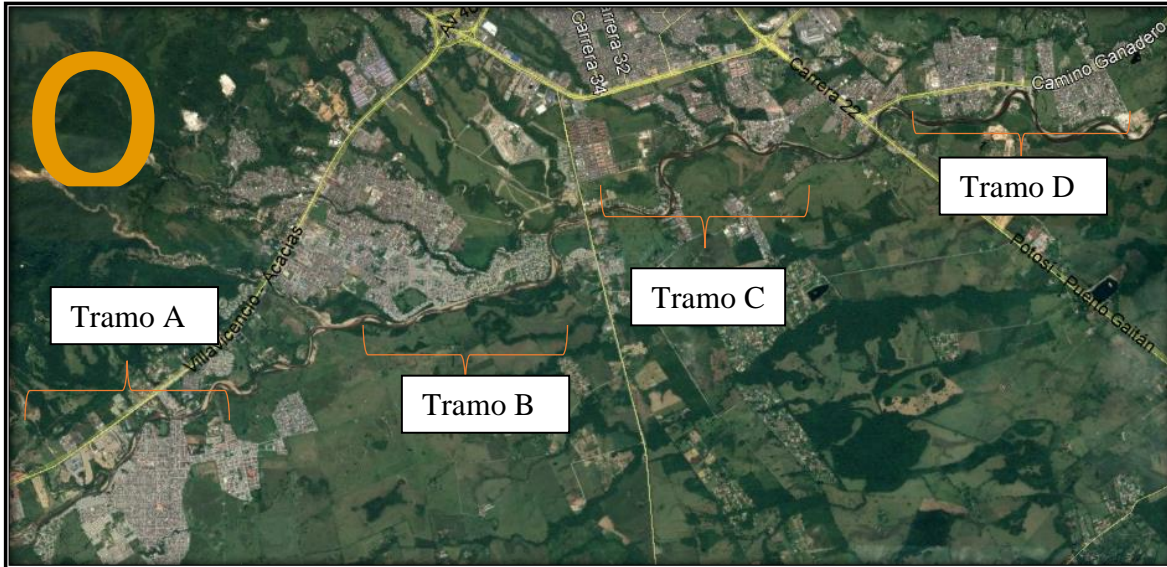


Figura 2-5Tramos de estudio. Fuente: adaptada y modificada de [23].

En el Anexo A se identifican espacialmente los barrios para cada uno de los tramos definidos.

2.4.2. Cobertura del suelo:

El POMCA de la cuenca del río Ocoa define 6 tipos de cobertura para el suelo del área de drenaje:

Tabla 2-5 Uso del suelo área del río del río Ocoa.

VEGETACIÓN NATURAL Y SEMINATURAL	Vegetación terrestre natural y seminatural	Bosque	Denso
			Abierto
		Arbustal	Abierto
		Bosque de galería	Abierto
ÁREAS CULTIVADAS Y MANEJADAS	Áreas terrestres cultivadas y manejadas	Cultivos	Cultivos
		Pastizal	Abierto
CUERPOS DE AGUA Y ÁREAS INUNDABLES		Cuerpos lóticos	Arbustivo
		Cuerpos lénticos	Río
			Laguna, Madre vieja
SUPERFICIES ARTIFICIALES	Áreas urbanizadas	Zona urbana	
ÁREAS DESCUBIERTAS	Suelos desnutridos	Suelos desnudos	
MISCELÁNEOS		Cultivos/pastizal/abierto	

Fuente: adaptada y modificada de [21]

Respecto al sistema hidrográfico se presentan los siguientes datos:

Área de drenaje: 29853.9 hectáreas.

Hoya hidrográfica: Orinoco.

Altura de nacimiento: 1350 m.s.n.m.

Patrón de drenaje: Trenzado antes de San Luis de Ocoa, después es meandrito.

2.4.3. Caudales:

Se dispone de una estación limnimétrica en el río Ocoa en su cuenca media alrededor de las coordenadas: 1051169,629; 947024,462 metros coordenadas MAGNA SIRGAS. Para el área estudio del proyecto es insuficiente.

La cuenca posee un orden de drenaje máximo de 6 predominando en alto grado el 3, 2 y 4 lo cual indica un alto grado de ramificaciones en estos niveles de afluentes al río, siendo característico de un buen sistema de drenaje.

Tabla 2-6 Caudales máximos mensuales.

MES	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	VR ANUAL
MEDIOS	7.6	15	19	69.7	72.8	78.6	57.3	59.8	63.9	47.8	51	35.6	48.0
MÁXIMOS	33	84	46	259	229	331	172	240	199	231	158	239	330.
MÍNIMOS	0.1	0.1	0.2	18.1	17.2	19.4	16.4	8.6	8.9	7	9.7	2.1	0.1

Fuente: adaptada y modificada de [21].

2.4.4. Índices morfométricos de la cuenca:

El POMCA del río Ocoa presenta algunos parámetros morfométricos desde su comienzo en el piedemonte hasta desembocar en el río Guatiquia.

Tabla 2-7 índices morfométrico.

PARÁMETROS	VALOR
ALTURA DE LA CABECERA	1060 m
ALTURA DEL PUNTO O SECCIÓN	175 m
LONGITUD DE CORRIENTE	78.6 Km
PENDIENTE MEDIA	2.45%
ÁREA DE LA CUENCA	29.853 Ha y 9.017 m ²
LONGITUD AXIAL	56.3Km

PARÁMETROS	VALOR
FACTOR FORMA	0.048
ÍNDICE DE COMPACIDAD	2.44
ÍNDICE DE ALARGAMIENTO	9.74
ÍNDICE ASIMÉTRICO	1.00018

Fuente: adaptada y modificada de [21].

2.4.5. Características climáticas:

Temperaturas medias (°c)

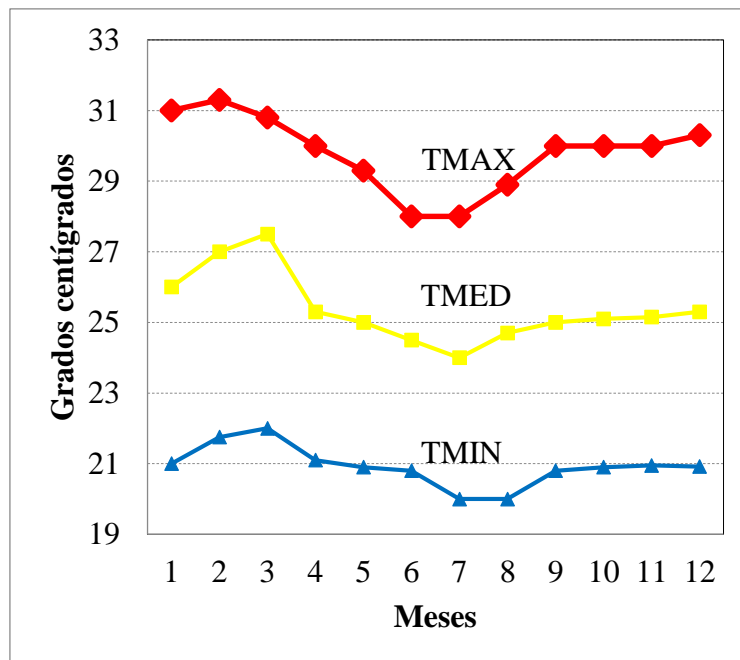


Figura 2-6 Temperatura media Villavicencio. Fuente: adaptada y modificada de [24].

La temperatura de Villavicencio presenta un comportamiento característico donde las mayores temperaturas se encuentran en los meses de enero, febrero y marzo, disminuyendo significativamente hacia el mes de junio, relacionándose esto con la temporada de lluvias, la temperatura vuelve a subir hacia los meses de septiembre donde se estabiliza hasta el mes de noviembre donde las temperaturas se vuelven a elevar siguiendo el ciclo llegando a las altas temperaturas de enero.

Humedad relativa media (%)

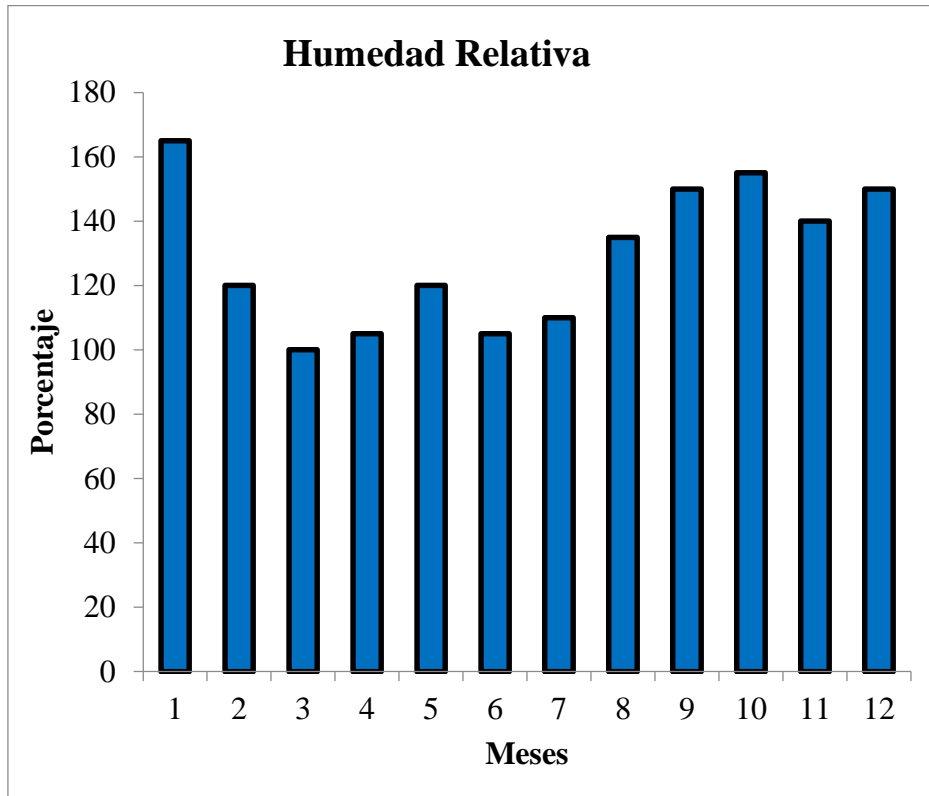


Figura 2-7 Humedad relativa Villavicencio. Fuente: adaptada y modificada de [24].

Villavicencio es reconocida por ser altamente húmeda, donde los valores mínimos se encuentran en 65% durante los meses con mayor temperatura para alcanzar valores de 83% de humedad en los meses de mayor precipitación, se presenta el balance que varía hacia septiembre, para finalmente reducirse a los valores mínimos del primer mes del año y cumplirse el ciclo anual.

Brillo solar (horas)

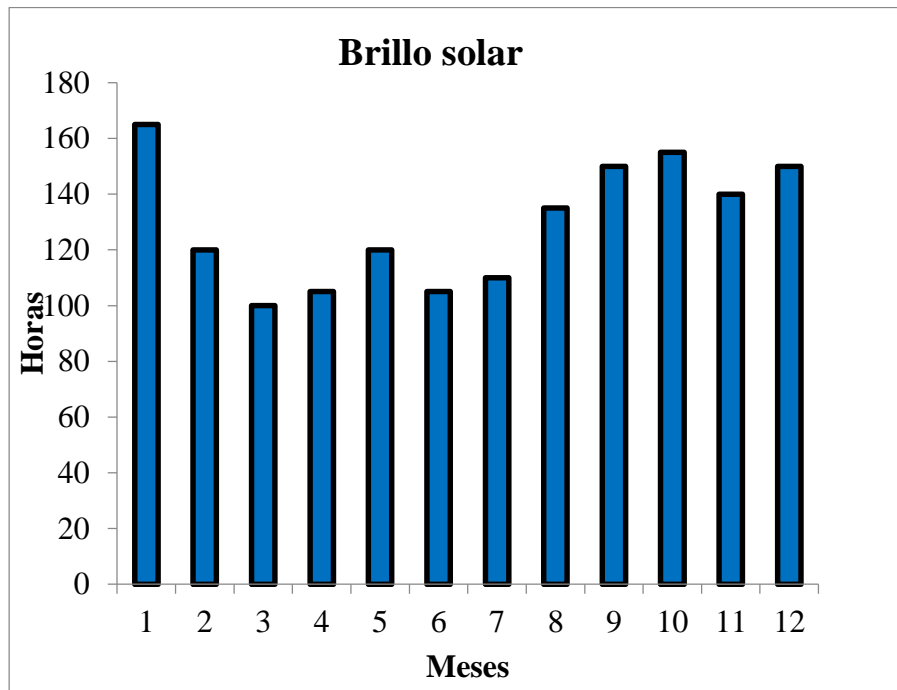


Figura 2-8 Brillo Solar Villavicencio. Fuente: adaptada y modificada de [24].

El brillo solar viene directamente relacionado con la temperatura y aun así se puede observar una varianza notoria donde los meses de febrero y marzo que tienen temperaturas altas donde se observa reducen su brillo solar, los meses con menor brillo solar son marzo, abril y junio y julio, factor de la nubosidad que se refleja durante estos meses en la ciudad a causa de las lluvias presentes.

Evaporación (mm)

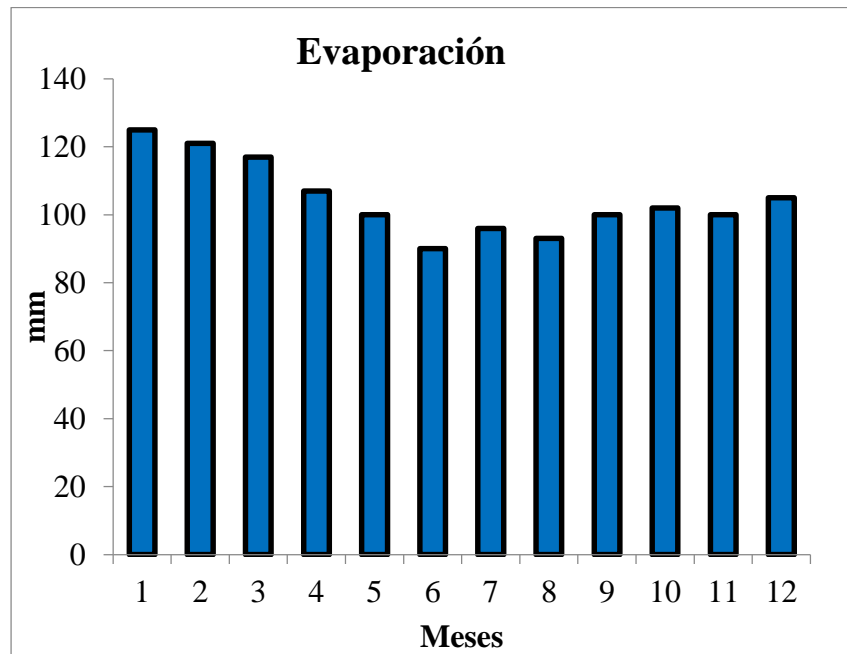


Figura 2-9 Brillo solar Villavicencio. Fuente: adaptada y modificada de [24].

Observando el brillo solar y la temperatura se da razón del comportamiento de la evaporación, la reducción en la evaporación se hace más notable durante los meses de julio, debido a las bajas temperaturas, mientras que los valores más elevados están en enero, febrero, marzo y octubre.

Precipitación media anual en 24 horas (mm)

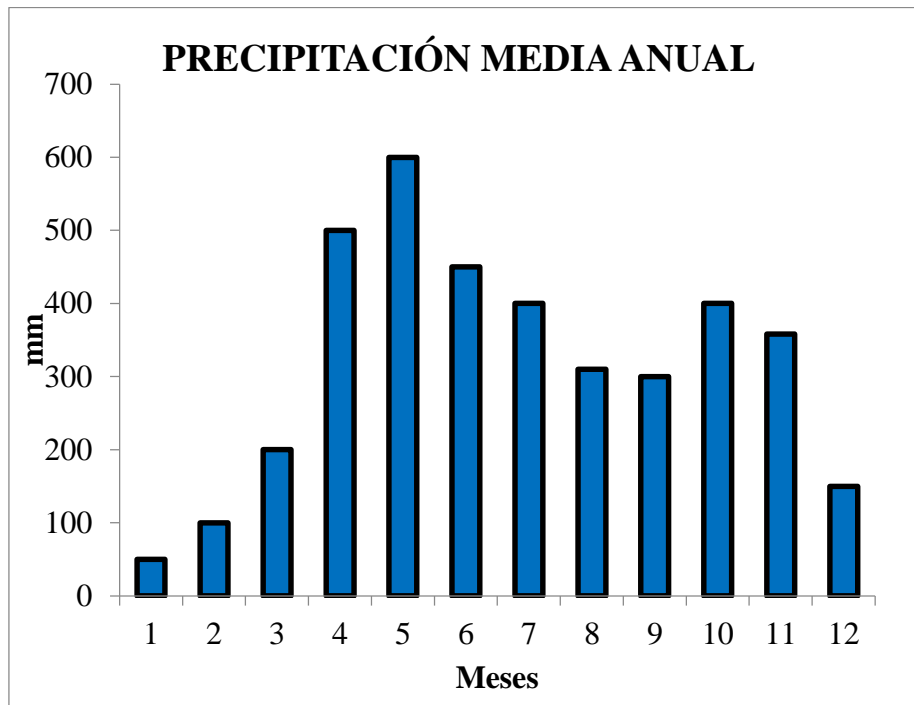


Figura 2-10 Precipitación media anual 24hr Villavicencio. Fuente: adaptada y modificada de [24].

Los meses de enero, febrero y marzo se presentan como el mes donde la precipitación es muy baja, pero aumenta fuertemente durante abril, junio y julio, para ser estable durante los meses de agosto, septiembre y octubre.

No días de precipitación

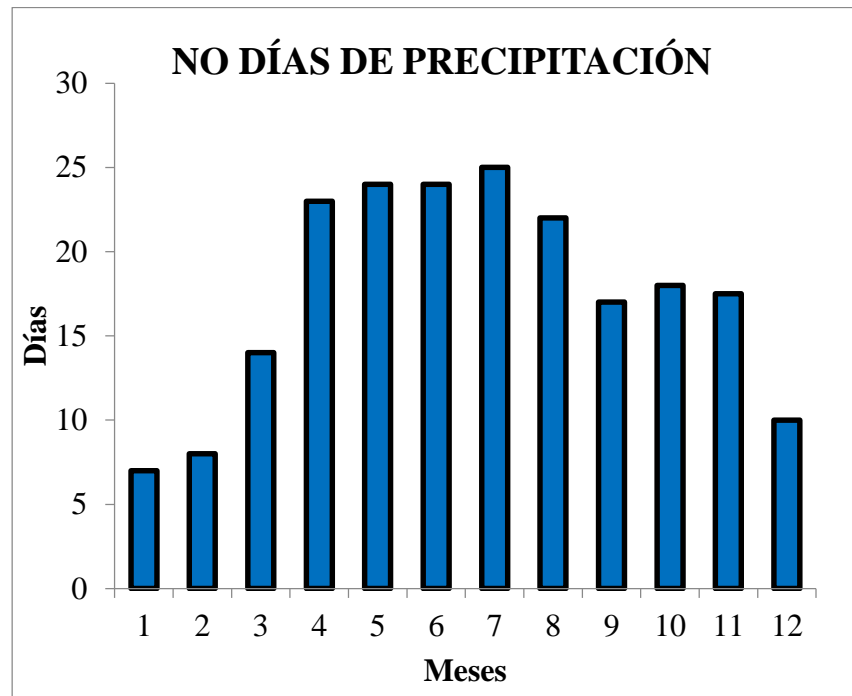


Figura 2-11No días de precipitación Villavicencio. Fuente: adaptada y modificada de [24].

Observando los días de precipitación y la precipitación media anual, se define que durante los tres meses de menor precipitación, estas se reparten a lo largo de varios días, indicando lluvias de poca intensidad en estos meses, para los meses de mayor precipitación se observan el doble de días, esto indica que Villavicencio evidencia un régimen de lluvias constantes.

Precipitación máxima en 24 horas

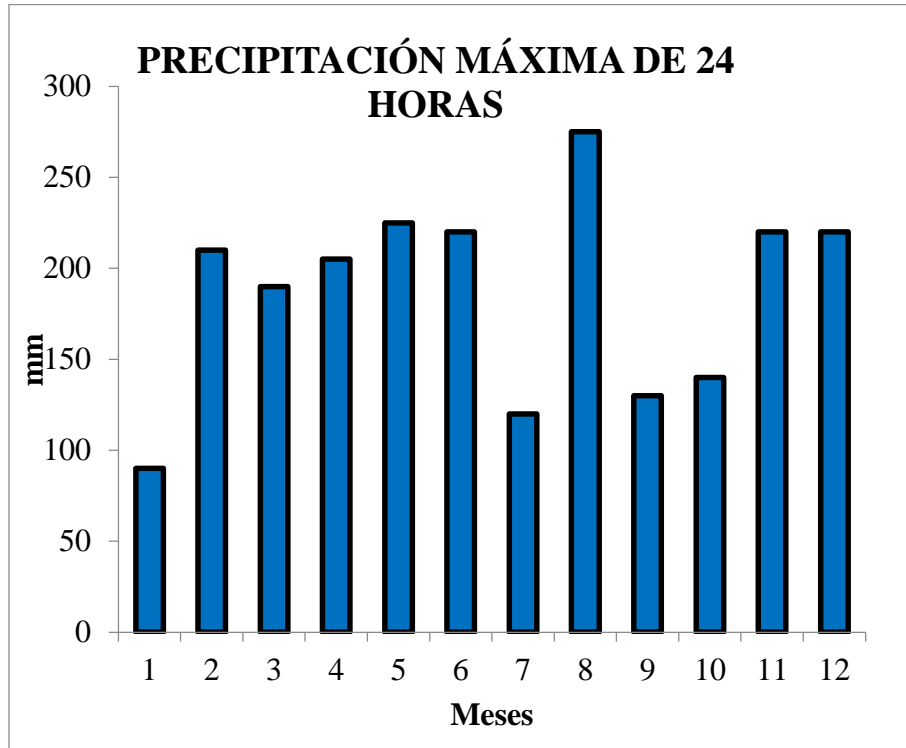


Figura 2-12 Precipitación máxima 24 hr Villavicencio. Fuente: adaptada y modificada de [24].

Durante los meses de enero y julio septiembre y octubre se observan las menores precipitaciones en 24 horas, lo cual es extraño en el caso de julio donde se presentan mayores precipitaciones, esto se puede relacionar a que se identifican lluvias durante todo el mes, octubre se presenta como el mes con mayor precipitación en un solo día, lo que indica que es más posible que el evento de precipitación máxima se presente en este seguido de los meses, mayo donde el año pasado se declaró emergencia por inundación en el sector del Guatiquia.

3. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

3.1. Metodología

Con el fin de obtener el área de inundación del río Ocoa, se definen las variables necesarias y los subprocesos que permiten la obtención de estos en forma adecuada para su correcto uso, adaptándolos para determinar el aumento del caudal del río y su desbordamiento.

Con el fin de obtener tales variables es necesario la obtención materiales primarios para la transformación en datos tale como la cobertura del suelo de la cuenca, la permeabilidad del suelo y el hidrograma unitario de la cuenca.

La figura 3-1 resume la metodología realizada para el desarrollo de los objetivos de la investigación en la cual se muestran como variables necesarias de la zona estudio: TIN, mapa número de curva, hidrograma de crecida, y por último la obtención de la modelación en HEC-RAS.

Modelación hidráulica del río Ocoa para la identificación de zonas de inundación dentro del casco urbano del municipio de Villavicencio, desde el barrio Porfía hasta Kirpas

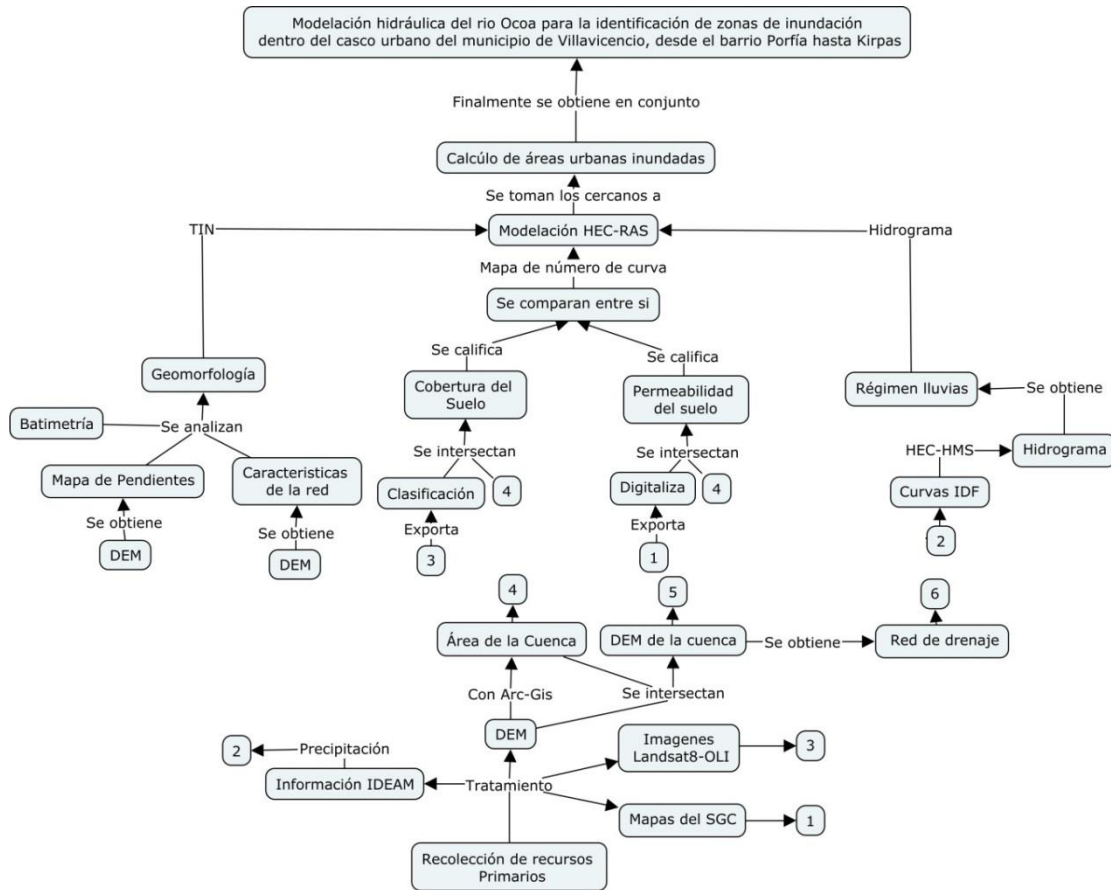


Figura 3-1 Metodología del proyecto. Fuente: SÁNCHEZ ARAGÓN, J.S, Marzo de 2017.

La metodología propuesta en la figura 3 -1 se puede reunir en 3 grandes procesos para su posterior análisis.

1. Recolección y preparación de datos para ser convertidos en información viable de la cual extraer información sobre la cuenca.
2. Extracción de la información necesaria para la modelación hidráulica del río Ocoa mediante el software HEC-RAS.
3. Modelación del río Ocoa por medio del uso de la siguiente información procesada de la cuenca: geomorfología, topografía, hidrograma de crecida.

3.1.1. TIN (triangulated irregular network):

La red irregular de triángulos es un tipo de archivo que permite la visualización de la topografía del terreno por medio de la introducción de la información de la elevación, así como su edición, siendo este escogido debido a su dinamismo para la combinación del terreno original con la batimetría realizada de la sección del río.

3.1.1.1. Topografía del terreno:

Como insumo base se obtiene la información digitalizada más detallada posible de la topografía del terreno³ y que cubra un área mínima predefinida por medio de alturas en Google Earth del inicio de los afluentes del río Ocoa hasta Kirpas.

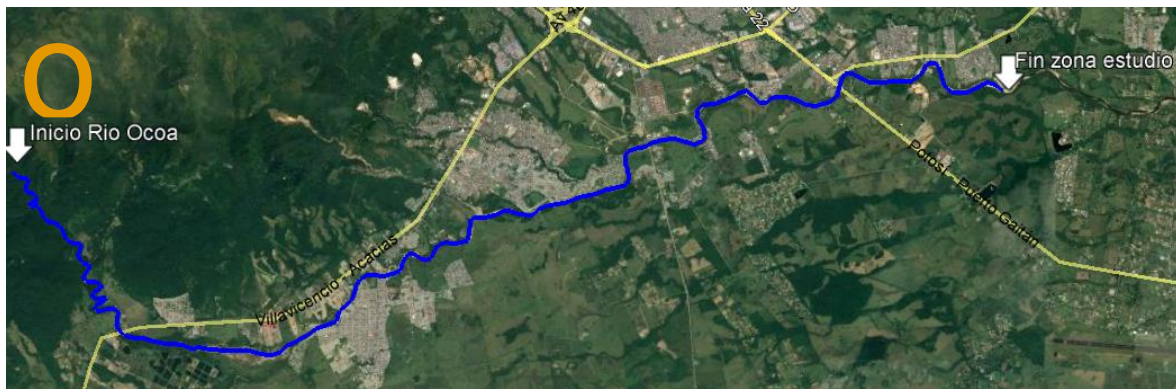


Figura 3-2 Inicio río-fin zona estudio⁴. Fuente: adaptada y modificada de [25].

Se identifican 2 tipos de archivo accesibles que satisfacen lo anterior:

1. DEM (modelo digital de elevación) del satélite ASTER el cual orbita desde 1999 con una resolución 30x30 por pixel, obtenida por medio del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS).
2. DEM de la misión espacial ALOS PALSAR datos del 2011 con una resolución

³ Se excluye el uso de planchas como opción ya que estas deben ser digitalizadas y debido a la magnitud del área de drenaje del río y el detalle de la información sería costoso y tomaría mucho tiempo

⁴ Tomado de Google Earth el 11/02/2017

12.5*12.5 por pixel obtenidos de la Instalación Satelital Alaska (ASF).

Teniendo en cuenta que una mejor resolución brinda resultados de mayor confianza se opta por la segunda opción.

Una vez obtenido el material primario para la topografía del terreno por medio del conjunto de herramientas hydrology del programa ArcMap se obtienen las redes y el área de drenaje de la cuenca, el cual se usa para delimitar la recopilación y el procesamiento de información.

Por último el DEM se delimita con el área de la cuenca y se exporta a un formato TIN para su posterior intersección con las batimetrías.

3.1.1.2. Batimetrías

Para realizar la batimetría del terreno se efectúa un mapeo previo de los lugares donde se identifican las secciones transversales del río, a medida que las curvas son más cerradas el número de secciones aumentan para dar una mejor representación del cauce.

Tramo A



Figura 3-3Batimetrías tramo A⁵. Fuente: adaptada y modificada de [25].

En el tramo A se realizaron 11 secciones, reduciendo la distancia entre sección en los sectores de las curvas en el sector de Gaviotas y el puente del Ocoa vía Pto López.

⁵ Tomado de Google Earth el 19/10/2017

Tramo B



Figura 3-4Batimetrías Puente Ocoa-Puente Caído⁶. Fuente: adaptada y modificada de [25].

En este sector se realizan un total de 16 secciones se identifican 2 curvas pronunciadas, la primera en la Rosita, y la siguiente entre los barrios Primero de Mayo y Juan Pablo II.

Tramo C



Figura 3-5Batimetrías Puente Caído-Puente entrada Porfía³. Fuente: adaptada y modificada de [25].

⁶ Tomado de Google Earth el 19/10/2017

Este sector es el de mayor distancia, debido a su baja sinuosidad especialmente el tramo comprendido entre los barrios Nuevo Amanecer hasta El Ruby, la cantidad de secciones no aumenta en proporción igual a su longitud.

Tramo D

Este es el sector de menor longitud y sinuosidad teniendo así mismo las secciones de mayor separación debido a su comportamiento similar.



Figura 3-6 Batimetrías Puente Porfía Fin San Cipriano. Fuente: adaptada y modificada de [25].

Definidas las secciones se reconoce que en campo pueden variar bajo los conceptos de similitud en la sección transversal a lo largo del cauce. Los levantamientos se exportan a formato TIN y se realiza la revisión de errores.

Finalmente se intersecta la topografía del terreno con la sección batimétrica teniendo como resultado el TIN de la cuenca con mayor detalle de la sección hidráulica del río.

3.1.2. Mapa de número de curva.

La creación del mapa del número de curva se diseñó en base a la Tabla 2-2 donde del área de drenaje se deben conocer el tipo de suelo y el uso del suelo; la intersección de ambas da como resultado el mapa el número de curva.

3.1.2.1. Uso del suelo

Por medio de la clasificación del uso del suelo del SCS y el reconocimiento previo se identifican más representativas dentro del área de drenaje: vega del río, pastos, bosques, zona urbana, pozo de agua, área descubierta, sombras⁷.

Como material primario para obtener el mapa de uso del suelo se identifican las imágenes satelitales, se consideran dos bases de datos:

1. Imágenes de Google Earth: la vista en planta resulta confiable debido a la constante actualización de las fotografías que para la zona estudio presentan una toma del día 11 de febrero del 2016 con una resolución 5m*5m pixel.

Procesamiento: respecto a su uso se debe realizar la captura de imágenes del área de la cuenca para su georreferenciación, en este proceso la imagen pierde veracidad y resolución a causa del cambio de tamaño de la imagen. Por último se digitaliza manualmente mediante la creación de polígonos.

2. Satélite Landsat8 OLI: La misión satelital fue lanzada en febrero del 2013 y actualmente se encuentra en funcionamiento, se identifica para el proyecto una imagen tomada el 22 de julio de 2017, las imágenes son multi-espectrales permitiendo una mejor visualización de zonas dentro de las siguientes combinaciones:

⁷ Sombras se ubican en zonas donde la identificación no es posible

Tabla 3-1 Combinaciones Landsat8 Oli.

ASPECTO	COMBINACIÓN
Color natural	4-3-2
Falso color (urbano)	7-6-4
Color infrarrojo (vegetación)	5-4-3
Agricultura	6-5-2
Penetración atmosférica	7-6-5
Vegetación saludable	5-6-2
Tierra/agua	5-6-4
Natural con remoción atmosférica	7-5-3
Infrarrojo de onda corta	7-5-4
Análisis de vegetación	6-5-4

Fuente: adaptada y modificada de [26].

Para el estudio la combinación adecuada es 6 5 2 (Agricultura). Resolución de pixel 30m.

Procesamiento: se realiza una corrección atmosférica para reducir errores causados por las desviaciones debido a la nubosidad y viento para ello se usan el programa ERDAS IMAGINE. Finalmente se clasifican los colores de la imagen, obteniendo el uso de suelo.

La opción que mejor responde a las necesidades del proyecto es la segunda teniendo en cuenta que:

-El área de la cuenca es demasiado grande para realizar una digitalización manual adecuada.

-La información es más actualizada.

-El uso de bandas permite una identificación de las zonas más fácil y adecuada mitigando el error por identificación visual

-Las imágenes satelitales Landsat 8 del USGS vienen con una corrección por defecto.

3.1.2.2. Tipo de suelo.

El tipo de suelo identifica el nivel de infiltración que tiene el suelo donde A representa un alto nivel de infiltración y D es el nivel más bajo de todos según clasificación de la Tabla 2-2.

Para la identificación de la infiltración del suelo primero se digitaliza el mapa de unidades geológicas obtenido por medio del sitio web del Sistema Geológico Colombiano, plancha 266-001.

Las formaciones geológicas presentes en el área de drenaje son las siguientes:

- | | |
|-------------------------------------|-------------------------|
| -Terrazas. | -Lutitas de Macanal. |
| -Brechas de Buenavista. | -Palmichal. |
| -Filitas y cuarcitas de Guayabetal. | -Depósitos de Derrubio. |
| -Fómeque. | -Depósitos Aluviales. |
| -Chipaque. | -Arenisca de Cáqueza. |
| -La Corneta. | -Une. |

Una vez digitalizado el mapa y calificado según su nivel de permeabilidad calificado se fusionan con el uso de suelo. Finalmente se divide el mapa en sub-áreas con un identificador numérico característico [Figura 3-7] para ingresarse a HEC-RAS.

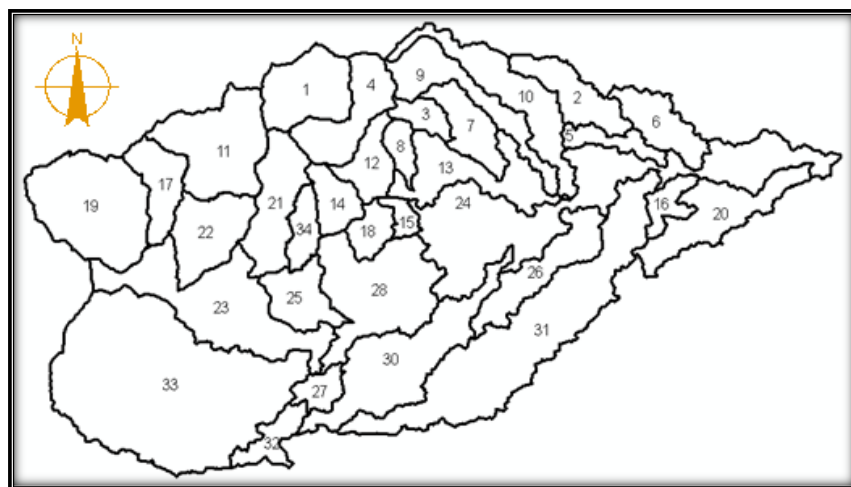


Figura 3-7Sub áreas de drenaje. Fuente: SÁNCHEZ ARAGÓN, J.S, Marzo de 2017, por medio de Arc-Map.

3.1.3. Hidrograma unitario sintético.

Para obtener el hidrograma unitario sintético se sigue el siguiente proceso:

1. Obtención de las siguientes variables (número de días con lluvia al año, precipitación media anual, número de días con precipitación al año).
2. Creación de curvas IDF e hietograma.
3. Diseño y obtención del hidrograma de crecida por medio de HEC-HMS.

3.1.3.1. Climatología del área estudio:

Las variables climáticas se obtienen del IDEAM estación Vanguardia debido a su ubicación similar al piedemonte característico también de gran parte área de drenaje que carga al río Ocoa, la información se presenta desde 1924 hasta 2013, y está completa.

A continuación se presenta un resumen de las magnitudes de las variables climáticas necesarias:

Tabla 3-2 Variables para curva IDF.

VARIABLES PARA CURVA IDF ESTACIÓN VANGUARDIA													
VALORES MAXIMOS MENSUALES DE PRECIPITACION (mms) EN 24 HORAS													Magnitud
MÁXIMOS	85	206.8	187	208	230	222.2	138.8	281	148.7	157.9	200	201.5	188.9
VALORES No DÍAS MENSUALES DE PRECIPITACION AL AÑO													
MEDIOS	7	8	14	23	25	25	26	23	20	21	20	13	225.0
VALORES TOTALES MENSUALES DE PRECIPITACION (mms)													
MEDIOS	53.4	102.1	208.7	500.7	585.6	504.2	442.1	373.1	357.4	428.5	381.4	163.7	4100.9

Fuente: SÁNCHEZ ARAGÓN, J.S, Febrero de 2018

3.1.3.2. Curvas IDF

Las curvas IDF se diseñaron conforme a las ecuaciones establecidas para Colombia en “*Curvas sintéticas regionalizadas de intensidad-duración-frecuencia para Colombia*”, se desarrollan las 4 ecuaciones allí previstas teniendo como referencia las curvas IDF del grupo Odinsa S.A realizados para la estación Vanguardia [Figura 3-9], las ecuaciones

tenidas en cuenta se obtienen de [27]⁸.

$$I = a * \frac{T^b}{t^c} * M^d \quad (8)$$

$$I = a * \frac{T^b}{t^c} * M^d * N^3 \quad (9)$$

$$I = a * \frac{T^b}{t^c} * M^d * N^3 * PT^F \quad (11)$$

$$I = a * \frac{T^b}{t^c} * M^d * N^3 * PT^F * Elev^g \quad (12)$$

I=intensidad.

T=tiempo de retorno (años).

t=duración de lluvia (horas).

M=precipitación diaria máxima anual.

PT= precipitación media anual.

N=número de días con lluvia al año.

Elev= elevación de la estación.

Las variables a, b, c, d, e, f, g corresponden a constantes entregadas por los autores por medio del cálculo de las estaciones de la Orinoquia.

Tabla 3-3 Constantes para ecuaciones.

	a	b	c	d	e	f	g	R2
Ec.8	5.53	0.17	0.63	0.42				0.91
Ec.9	75.03	0.17	0.63	0.12	-0.23			0.91
Ec.11	1.30E-26	0.19	0.58	1.19	-1.46	8.28		0.97
Ec.12	1.40E-28	0.19	0.58	5.63	-1.52	6.64	-0.62	0.97

Fuente: ajustado de [27].

Realizadas las curvas IDF con las cuatro estaciones se descartan las ecuaciones teniendo en cuenta su similitud por la presentada por Odinsa S.A [Figura 3-9] Las ecuaciones 11 y 10 presentan valores muy elevados, con la ecuación 8 los caudales son insuficientes, finalmente se escoge la curva IDF con ecuación 9 debido a su similitud.

A continuación se muestran las curvas IDF que mejor representan el lugar para 5 10 20 25 y 100 años.

⁸ La ecuación sintética 10 no es tenida en cuenta debido a su generalización de regiones.

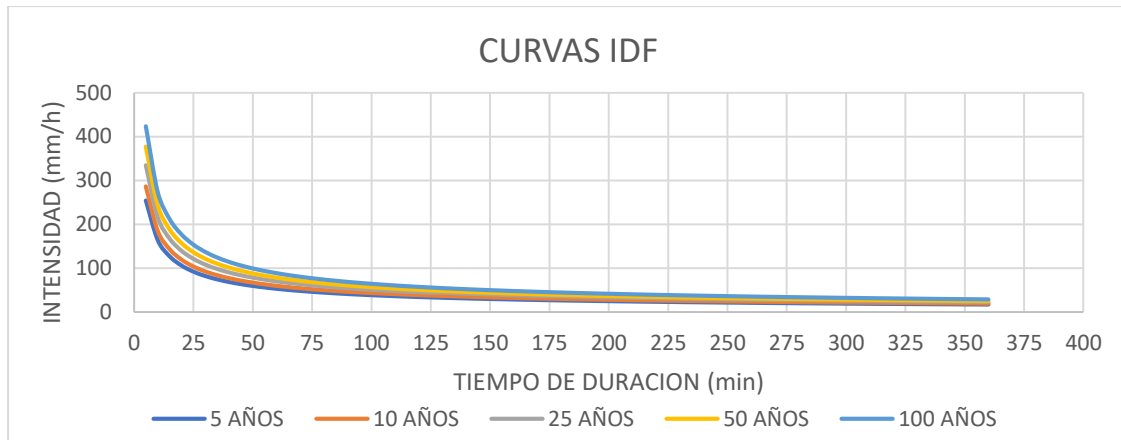


Figura 3-8 curva IDF ecuación 9. Fuente: SÁNCHEZ ARAGÓN, J.S, Octubre de 2017, basado en variables del IDEAM.

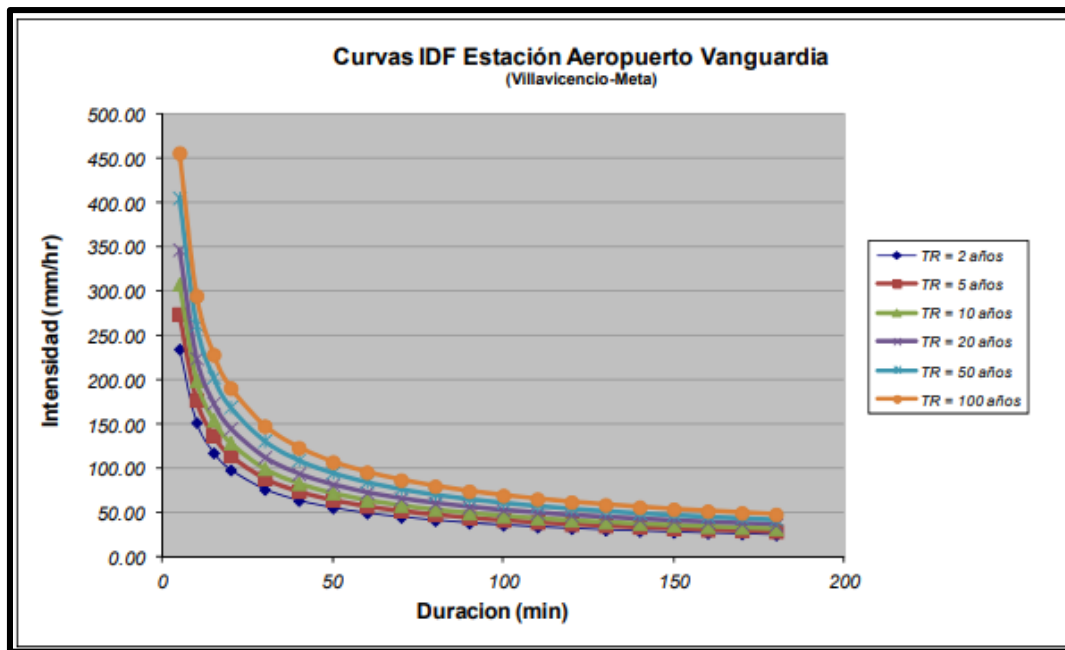


Figura 3-9 curva IDF vanguardia grupo Odinsa S.A. Fuente: obtenido de [28]

Los hietograma se realizan por medio del método de los bloques alternos, el procedimiento requiere de reorganización de los datos de las curvas IDF tal que los mayores incrementos de caudales queden en el medio cada cierto tiempo en el caso de este proyecto cada 5 minutos y descendiendo a medida que se alejan del centro.

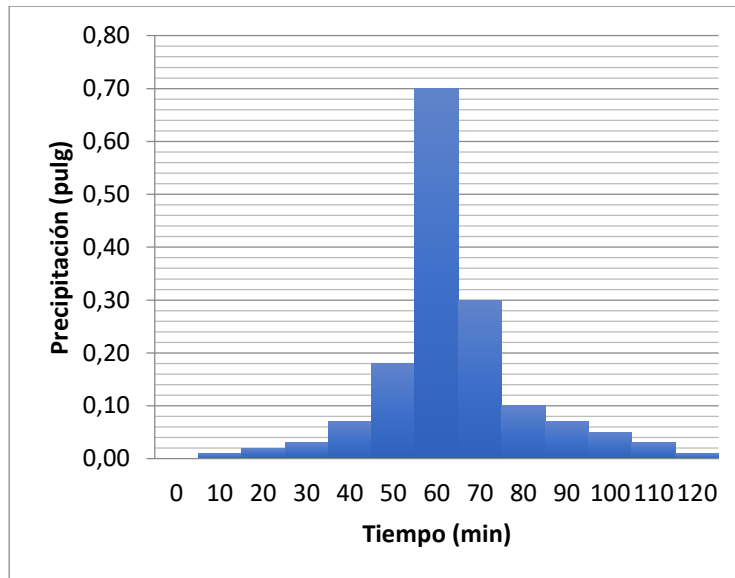


Figura 3-10 Método de los bloques alternos. Fuente: ajustado y modificado de [5].

3.1.3.3. Hidrograma de unitario sintético.

Por medio del hidrograma unitario se obtiene como resultado la creación de un modelo que representa los afluentes de la del río Ocoa.

El proceso de modelado se divide en 2 procesos: principales: ingreso de datos de las sub-áreas, ingreso del hietograma de diseño. Finalmente se corre el sistema y se registran los resultados.

Basin model manager:

El modelado de las áreas permite el ingreso de: área, número de curva del suelo, porcentaje de impermeabilidad⁹ y tiempo de retorno para cada una de las sub-áreas delimitadas.

⁹ 5% recomendado por el SCS, para ser usado en HEC-RAS.

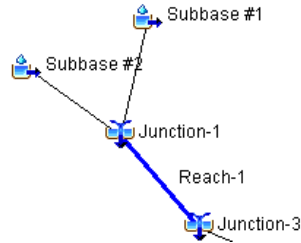


Figura 3-11Componentes del basin¹⁰. Fuente: SÁNCHEZ ARAGÓN, J.S, Febrero de 2017, por medio de HEC-HMS

Para el método de pérdidas y transformación, se usan los métodos del soil conservation service debido a que se usará el número de curva para interpretar la permeabilidad del suelo, para el método de transformación se debe conocer el valor de tiempo de retardo, el cual es igual al 60% del tiempo de concentración [29], para el cual se usa la fórmula de Kirpich [30].

Se conectan los afluentes entre si según converjan sus áreas hasta desembocar al río Ocoa, creando el esquema de la red de drenaje.

La primera información que se ingresa el sistema será la decisión del método de la ruta de los caudales el cual indicará el promedio de su geometría, el programa considera un total de 5 métodos de desarrollo:

Los métodos Lag, Modified Puls y Straddle Stagger, trabajan en base al tiempo de retardo, a diferencia de los métodos Muskingum, Muskingum Cunge y el de Kinematic Wave, que incluyen información sobre el promedio de la geometría de la sección transversal del cauce para una mejor interpretación de sus propiedades hidráulicas,

Se determina el uso el método Muskingum Cunge siendo este una mejora al Muskingum y es flexible a terrenos con pendientes bajas [31], el método de la onda cinemática no es viable para pendientes menores al 5%, esto favorece a la zona montañosa de la cuenca pero no para el área de menor pendiente.

Los valores de ingreso se obtienen por medio de los archivos creados en Arc Map en base en base al DEM.

El coeficiente de manning es de 0.035 para ríos principales con formas irregulares y rugosas con ancho superficial mayor a 30 m, según lo expresado en Ven te Chow. [5]

¹⁰ Las figuras de este capítulo fueron realizadas en HEC-RAS

Baseflow method:

Se realiza el ingreso del flujo base constante en el río para el cual se realizaron 3 aforos antes del puente antes de entrar a Porfía, 2 antes de puente caído, 1 en el puente sobre el río Ocoa vía Pto. López, durante el mes de octubre, 2017.

Se ingresan las descargas en forma continua sin disminución a lo largo del tiempo previendo una abstracción inicial será de 0.2 siendo el valor recomendado por el soil conservation service, [28].

Time-series data managment:

Definidas las cuencas se ingresa las unidades y tiempo intervalo del hietograma por medio de la herramienta time-series data managment:

Finalmente se corre la simulación y se obtiene el hidrograma de crecida para cada una de las áreas y conexiones creadas así como para el cauce principal representado en los reach.

3.1.4. Modelación en HEC-RAS.

Una vez obtenidas las variables necesarias se realiza la simulación de la inundación del río Ocoa. Para lo cual se sigue el siguiente proceso:

1. Se ingresa la topografía del terreno.
2. Se crea una malla computacional que cubre el área de drenaje desde el inicio al final de la zona estudio, el espaciamiento está sujeto a iteraciones de resultados, pero se determina un valor inicial por medio del número de Courant:

$$NC = \frac{2 * \Delta X}{\Delta T}. [6]$$

NC= número de courant (debe ser de 1 a 5 se evalúa inicialmente en 1).

ΔX = separación de la grilla.

ΔT = Tiempo de modelación.

3. Se ubican los puntos de los afluentes de la cuenca para el ingreso de sus caudales aportados. Finalmente se realiza un re cómputo del área con los puntos de ingreso.

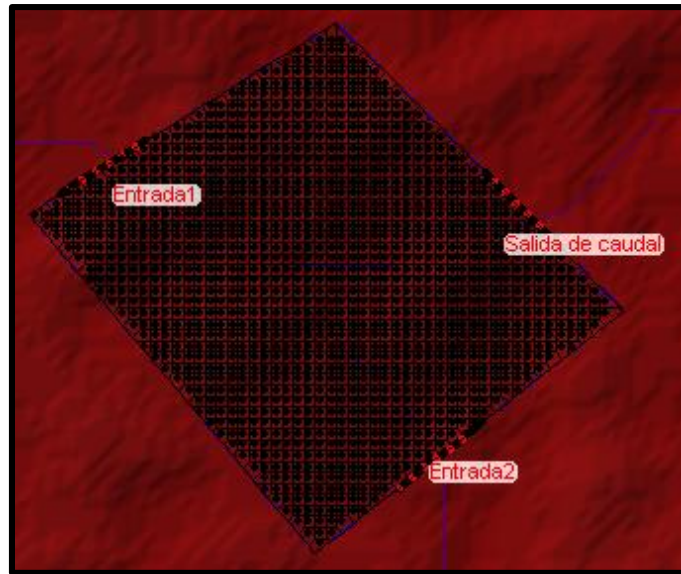


Figura 3-12 Geometría de la cuenca en HEC-RAS. Fuente: SÁNCHEZ ARAGÓN, J.S, Febrero de 2017, por medio de HEC-RAS.

4 Se ingresan los aportes de caudal de cada afluente en forma de hietograma obtenidos de HEC-HMS a cada uno de los bc lines creados, en intervalos de 5 minutos.

5. Se corren todos los programas excepto sedimentos ya que no se realiza un análisis de este, en el tiempo de simulación se ubica el inicio del tiempo de simulación y el final el cual es el tiempo que dura el hidrograma de crecida.

Una vez computado el proceso, se rectifica si los tiempos de cómputo, la malla computacional y el tamaño del área son suficientes para obtener correctos resultados y se itera con nuevos valores de ser necesario.

El proceso anterior se realiza para el hidrograma de 100 y 50 años.

3.1.5. Trasposición del área máxima de inundación con el terreno real y análisis.

Por medio de Google Hybrid se sobreponen el archivo de inundación a la zona urbana calculando finalmente el área urbana cubierta, con esta información se realiza el análisis del área urbana que se sobrepone a la inundación identificando los puntos de riesgo y necesarios de mitigación al riesgo.

3.2. Desarrollo de la investigación

3.2.1. TIN (triangulated irregular network):

A continuación se establecen las variables necesarias para la obtención de la topografía del terreno, a tener en cuenta son el terreno alrededor de la cuenca, y las secciones a detalle de la cuenca que permitirán su análisis hidráulico.

3.2.1.1. Topografía del terreno:

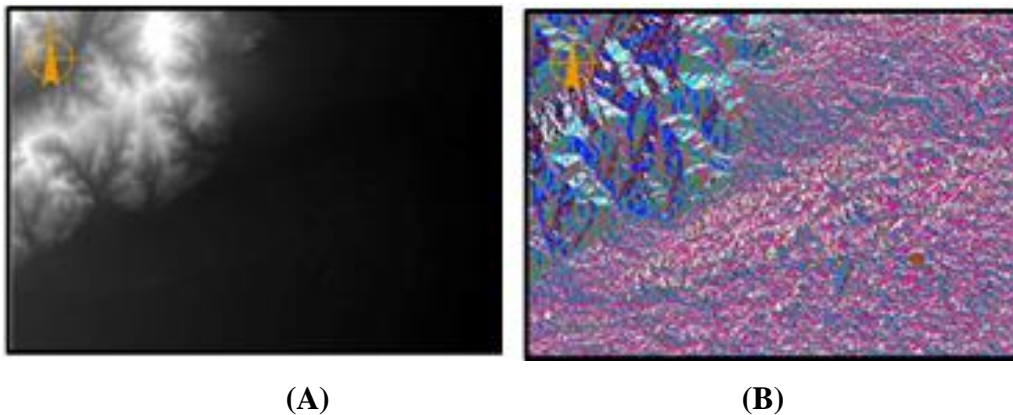


Figura 3-13(A) DEM corregido por error de vacío, (B) Dirección del DEM. Fuente: SÁNCHEZ ARAGÓN, J.S, Agosto de 2017, por medio de Arc-Map.

Ubicado el punto final del tramo del río estudio se obtiene el área de drenaje de la cuenca con el cual se delimitan los mapas de cobertura del suelo, uso del suelo, la topografía, demás información y procesos. Se obtiene la red de afluentes del río así mismo.



Figura 3-14Red de drenaje de la cuenca.. Fuente: SÁNCHEZ ARAGÓN, J.S, Marzo de 2017, por medio de Arc-Map.

Se recorta el DEM con el área y se exporta a TIN obteniendo el terreno del archivo en forma de sólido y no escala de grises, siendo verificado por medio de Arc View, por vista tridimensional.

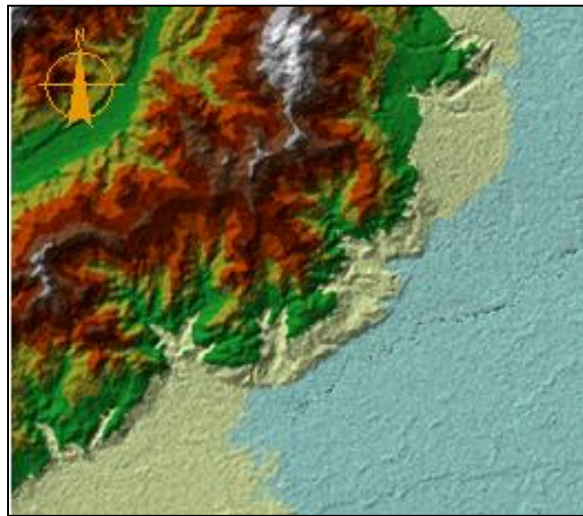


Figura 3-15TIN del terreno. Fuente: SÁNCHEZ ARAGÓN, J.S, Marzo de 2017, por medio de Arc-Map.

3.2.1.2. Batimetrías

Las secciones transversales se realizan cada 5 metros aproximadamente tomando los datos con el GPS, para un total de 60 secciones transversales, 3 más de las previstas.

Se revisan los datos obtenidos para evitar errores visibles tales como cambios bruscos en las alturas que no se identifican en campo, encontrando uno en la zona anterior al puente sobre el río Ocoa vía Pto. López. Se realiza una nueva toma donde se encontró de igual manera errores de gran tamaño en los resultados.

Con el fin de arreglar el tramo se realizó de forma manual la sección transversal por medio de un decámetro, para la medición de la longitud del puente, y un flexómetro para medir la profundidad, el punto de referencia del terreno es el inicio del puente, y la altura se establece observando el promedio de cambio de las anteriores dos secciones sobre el cual se ubicará espacialmente la altura de la sección [Figura 3-16].



Figura 3-16Mejora de las secciones batimétricas.. Fuente: ajustado y modificado de [25].

Se toman las batimetrías y se ubican con una altura referencia al DEM con el fin de mejorar la capacidad hidráulica que tiene el río en el archivo. Con el fin de representar mejor la sección hidráulica se repiten las secciones entre batimetría desde aguas abajo hacia aguas arriba, para evitar lo mejor posible que se pierda área de la cuenca en las curvas, un ejemplo se muestra en el detalle de la [Figura 3-16] donde los círculo rojos representan batimetrías ubicadas de mas referenciadas en la anterior y ubicada de acuerdo a la imagen

satelital.

Con las alturas rectificadas se procede a exportarlo a formato TIN, obteniendo un terreno sólido en 3 dimensiones.

Finalmente se une la topografía base con la topografía de la cuenca a detalle, se exporta a formato TIFF para ser ingresada en HEC-RAS.

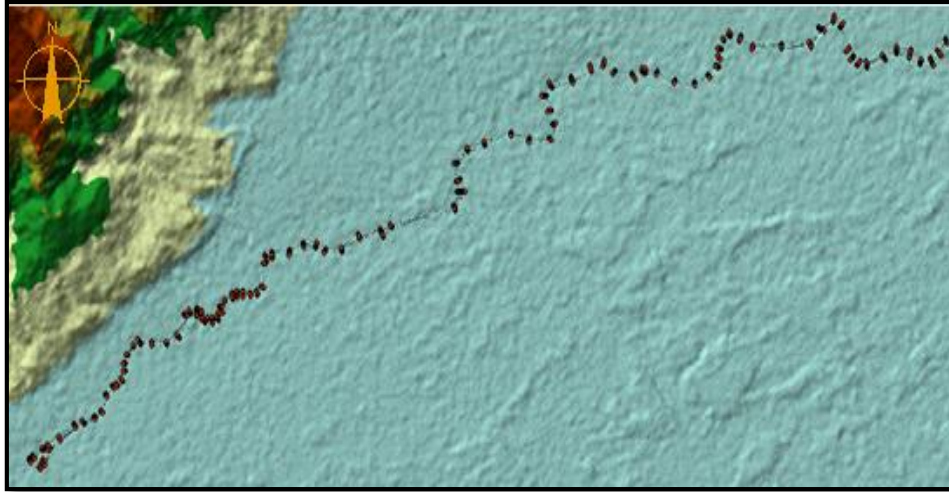


Figura 3-17 TIN terminado. Fuente: SÁNCHEZ ARAGÓN, J.S, Marzo de 2017, por medio de Arc-Map.

3.2.2. Mapa de número de curva.

A continuación se evidencian los factores que permiten la calificación de la permeabilidad necesaria para el desarrollo del método de abstracciones del Soil Conservation Service.

3.2.2.1. Uso del suelo

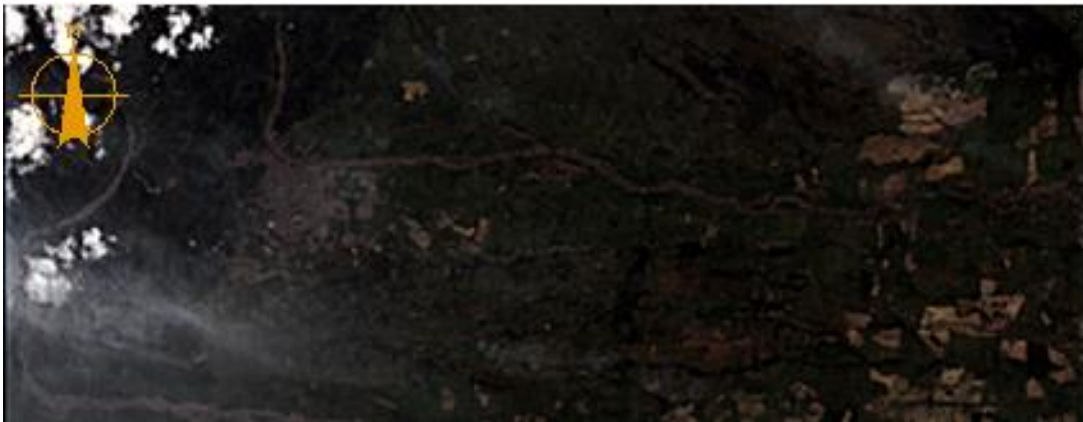


Figura 3-18 Imagen Lansdat8OLI zona estudio sin corrección atmosférica. Fuente: obtenido de [32].

Por medio de la imagen satelital del satélite multi-banda Landsat 8OLI y el software ERDAS IMAGINE 2014 se realiza la corrección atmosférica, con la herramienta ATCOR, y la información de la toma del espectro como día ángulo de toma. Se presentan los datos más representativos de la información a continuación.

```
ORIGIN = "Image courtesy of the U.S. Geological Survey"  
LANDSAT_SCENE_ID = "LC80070572017098LGN00"  
SPACECRAFT_ID = "LANDSAT_8"  
SUN_AZIMUTH = 82.12137643  
SUN_ELEVATION = 63.12975563  
CLOUD_COVER = 15.63
```

La escala de visibilidad necesitada es 10 y se estima para una zona de región solar urbana en un verano medio teniendo en cuenta que el río Ocoa dentro del área estudio recorre a través de gran parte de áreas urbanas y Villavicencio es en promedio soleado.

Se corre el sistema de corrección y se obtiene la imagen corregida por errores atmosféricos. La Figura 3-19 muestra mayor nitidez en la imagen, lo que permite mayor precisión y confiabilidad al momento de realizar la clasificación supervisada.



(A)

(B)

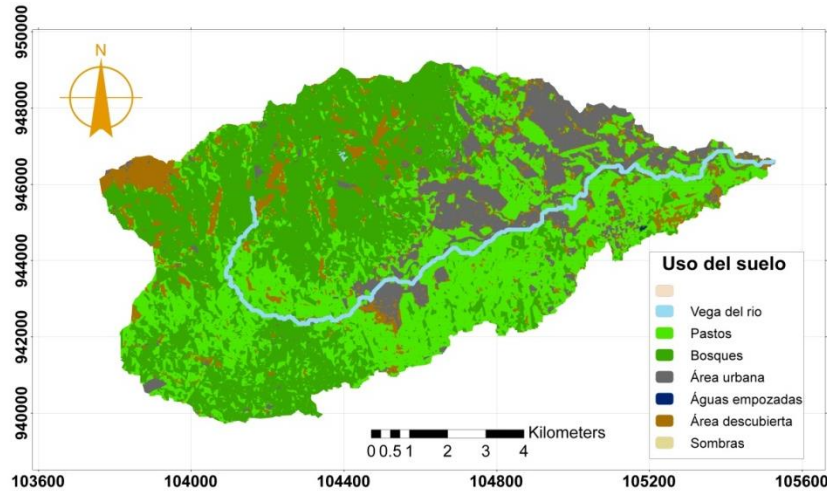
Figura 3-19 Imagen satelital (A) no corregida por atmósfera, (B) corregida por atmósfera. Fuente: SÁNCHEZ ARAGÓN, J.S, Abril de 2017, por medio de ERDAS IMAGINE 2014.

La clasificación supervisada se realiza creando los siguientes identificadores tipo punto para cada uso de suelo:



Figura 3-20 Conjunto de puntos sobrepuesto combinación 6 4 2. Fuente: SÁNCHEZ ARAGÓN, J.S, Abril de 2017, por medio de Arc-Map.

Como primera medida se crea y guarda la clasificación nombrada y se clasifican los colores de la imagen según su tonalidad, obteniendo así por procesamiento del el mapa de uso de suelo digitalizado obteniendo así el mapa de uso del suelo.



Mapa 3-1 Uso del suelo. Fuente: SÁNCHEZ ARAGÓN, J.S, Agosto de 2017, por medio de Arc-Map, ver Anexo B.

3.2.2.2. Tipo de suelo.

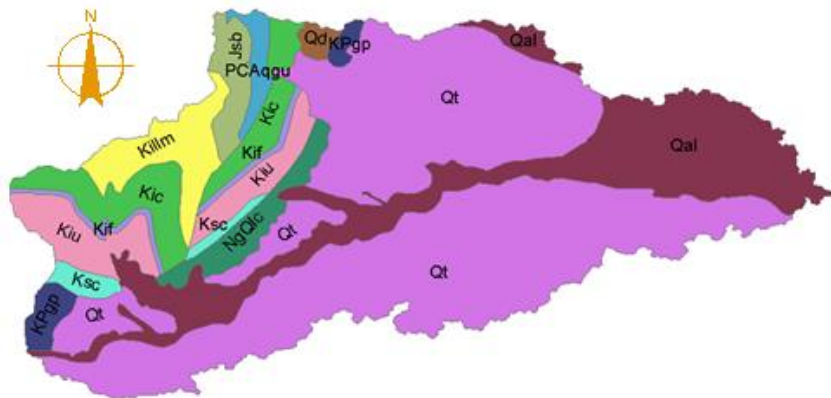


Figura 3-21 Plancha 266-001 digitalizada Fuente: SÁNCHEZ ARAGÓN, J.S, Marzo de 2017, por medio de Arc-Map.

El mapa de uso de suelo se digitaliza de la plancha 266-001 del Servicio Geológico Colombiano [33], [Figura 3-22].

A continuación se muestra la calificación según su capacidad de permeabilidad valorada por medio de 4 calificaciones de la cual se observan 3 en el área de drenaje, y su unidad geológica.

Tabla 3-4 Permeabilidad del suelo según unidad geológica.

Formación	Siglas	Permeabilidad del suelo	Identificador numérico
TERRAZAS	Qt	A	1
BRECHAS DE BUENAVISTA	Jsb	B	2
FILITAS Y CUARCITAS DE GUAYABETAL	PCAq gu	A	1
FÓMEQUE	Kif	B	2
CHIPAQUE	Ksc	B	2
LA CORNETA	NgQlc	A	1
LUTITAS DE MACANAL	Killm	C	3
PALMICHAL	KPgp	A	1
DEPÓSITOS DE DERRUBIO	Qd	B	2
DEPOSITOS ALUVIALES	Qal	A	1
ARENISCA DE CÁQUEZA	Kic	B	2
UNE	Kiu	A	1

Fuente: SÁNCHEZ ARAGÓN, J.S, Febrero de 2018, por medio de Arc-Map.

-Terraza: “sedimentos recientes que han sido transportados por las corrientes de agua provenientes de la cordillera oriental, llanuras de inundación, generalmente grava no consolidada, con arena y finos, en general” [34, p. 76]. Como acuífero y teniendo en cuenta que se conforman en buena parte por depósitos se le asigna una alta permeabilidad (A).

-Brechas de Buenavista: “brecha y conglomerado masivo, constituidos por fragmentos y bloques angulosos a sub-redondeados, con diámetros veces mayores a un metro, de cuarzo lechoso, cuarcitas, filitas, areniscas y calizas, englobados caóticamente en un cemento silíceo” [34, p. 45]. Aunque presenta un conglomerado tiene materiales con alta permeabilidad (B).

-Filitas y cuarcitas de Guayabetal: “cuarcitas verdes, con algunas intercalaciones de filitas verdes y grises, son duras e inalteradas mientras que las filitas están moderadamente meteorizadas, materiales permeables y semipermeables cerca de la superficie” [34, p. 77],

teniendo en cuenta el grado de meteorización y el nivel de permeabilidad de los materiales se da el grado de (A).

-Fómeque: “*unidad conformada por arenisca de color gris a gris rojizo, de grano fino a conglomerático, presenta meteorización desde alta hasta baja con espesores variables. Posee poros, es friable y posee relieves controlados*” [34, p. 76]. Tiene un nivel promedio de permeabilidad al poseer caliza no es en su totalidad un acuífero (B).

-Chipaque: “*arcillolita laminada, color gris oscuro, alternada con lodolita y arenisca cuarzoza, de grano medio, arcillosa color gris oscuro, friable, arenisca dura con impregnaciones de petróleo*” [34, p. 76]. Aunque los materiales presentan propiedades impermeables posee un alto grado de fracturamiento por lo cual se establece como permeabilidad media (B), [35]

- La Corneta: “*conglomerados inter-estratificados con limolitas, pero debido a que estos materiales son sueltos y redondeados, se puede considerar que corresponden en su lugar a depósitos, llanura aluvial de los llanos orientales*” [34, p. 98]. Se toma como acuífero debido a las arenas y gravas recargados a través de los depósitos aluviales (A). [36].

-Lutitas de Macanal: “*arcillolitas y filitas poco permeables, alto grado de fracturamiento de las rocas que se presentan en esa zona. Permeabilidad de campo primaria baja-secundaria alta*” [34, p. 76]. Se comporta como un acuífero sin embargo no se le da el mayor nivel de impermeabilidad debido al alto fracturamiento de la roca (C).

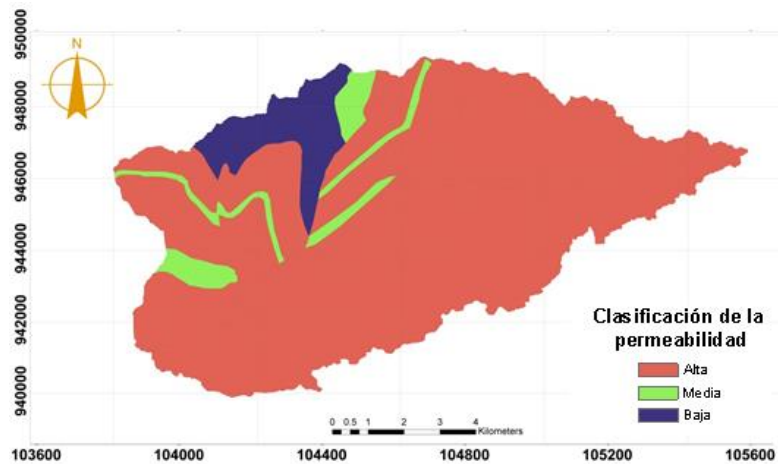
- Palmichal: “*arenisca arcillosa, color blanco a crema, friable, grano medio a grueso, conglomeráticas, con algunas intercalaciones de lodolitas grises laminadas y niveles de areniscas impregnadas de petróleo*” [34, p. 76]. Según lo anterior y el estudio presentado se comporta como un acuífero (A).

-Depósitos aluviales: “*permeabilidad moderada, sedimentos activos, playas, desarrollados por las diferentes corrientes de la región. Incluye bloques redondeados a sub-redondeados de cuarcita, filita y arenisca roja principalmente; gravas y arenas de grano grueso a fino*” [34, p. 45]. Teniendo en cuenta el grado de depósito que se expresa el nivel de permeabilidad es notable en esta zona (A).

-Arenisca de Caqueza: “*arenisca cuarzoza de grano medio a ligeramente conglomerático, a veces ligeramente calcárea, color blanco a gris amarillento por meteorización*” [34, p. 45]. Se comporta como acuífero por la variación entre áreas y lutitas (B).

Modelación hidráulica del río Ocoa para la identificación de zonas de inundación dentro del casco urbano del municipio de Villavicencio, desde el barrio Porfía hasta Kirpas

-Une: “arenisca de grano fino a medio, blanda, débilmente cementada y friable. Esta unidad se desarrolla por meteorización química y mecánica” [34, p. 76]. Es un acuífero como lo indica el POMCA del lago de Tota [37] por lo cual tendrá alta permeabilidad (A). Finalmente se correlacionan los mapas del uso de suelo y el de calificación por permeabilidad del suelo [Mapa 3-2].



Mapa 3-2 Clasificación permeabilidad del suelo. Fuente: SÁNCHEZ ARAGÓN, J.S, Marzo de 2018, por medio de Arc-Map, ver Anexo C

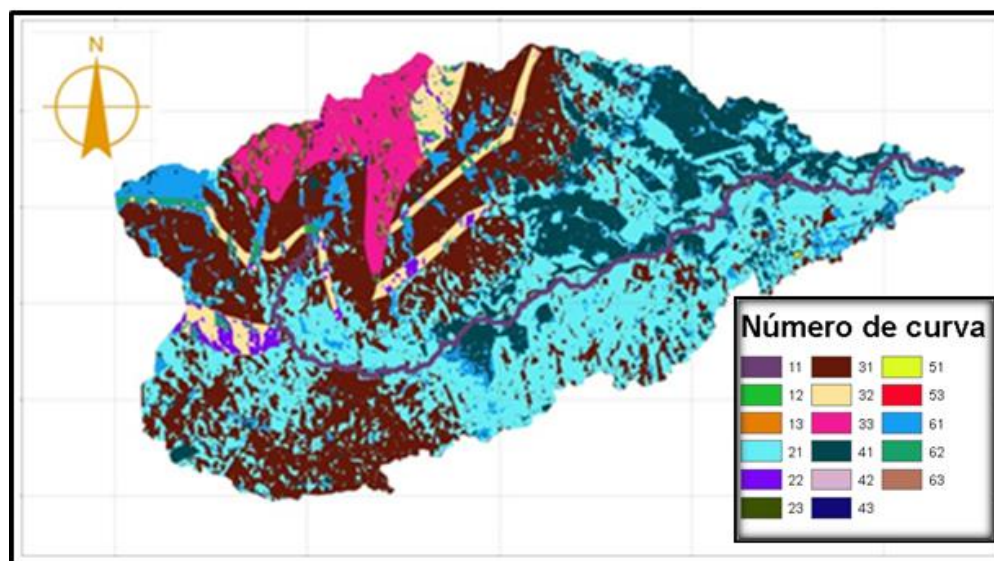
La magnitud del número de curva para toda el área de drenaje, se ingresan bajo los siguientes parámetros [Tabla 3-5]:

Tabla 3-5 Número de curva por combinaciones.

Cobertura	CN- uso del suelo	CN- A	CN- B	CN- C	Posibles combinaciones			Número de Curva		
					A	B	C	A	B	C
Vega del río	10	1	2	3	11	12	13	30	58	71
Pastos	20	1	2	3	21	22	23	39	61	74
Bosques	30	1	2	3	31	32	33	25	55	70
Zona urbana	40	1	2	3	41	42	43	61	75	83
pozo de agua	50	1	2	3	51	52	53	-	-	-
Área descubierta	60	1	2	3	61	62	63	72	82	87
Carretera	70	1	2	3	71	72	73	98	98	98

Fuente: SÁNCHEZ ARAGÓN, J.S, Febrero de 2018.

El pos procesamiento del mapa resultante consiste en su división en las sub áreas descritas en el capítulo 3.1.2.2, calculando para cada una el promedio del número de curva.



Mapa 3-3 Número de curva área de drenaje del río Ocoa. Fuente: SÁNCHEZ ARAGÓN, J.S, Marzo de 2017, por medio de Arc-Map, ver Anexo D.

3.2.3. Hidrograma de crecida.

Realizado el análisis de las variables y el comportamiento climático de la ciudad de Villavicencio, se extraen los datos necesarios para el cálculo de las curvas IDF. Por medio de datos del IDEAM se obtienen las siguientes variables y su evaluación para la creación de las curvas IDF:

-Número de días con lluvia al año: 225 días.

Tabla 3-6 Número días con lluvia al año.

VALORES No DIAS MENSUALES DE PRECIPITACION AL AÑO													Magnitud
MEDIOS	7	8	14	23	25	25	26	23	20	21	20	13	225.0

Fuente: ajustado y modificado de [24].

-Máximo de precipitación media anual en 24 horas: 188.9 mms.

Tabla 3-7 Máximo de precipitación media anual en 24 horas.

VALORES MAXIMOS MENSUALES DE PRECIPITACION (mms) EN 24 HORAS													Magnitud
MÁXIMOS	85	206.8	187	208	230	222.2	138.8	281	148.7	157.9	200	201.5	188.9

Fuente: ajustado y modificado de [24].

-Valores totales mensuales de precipitación al año: 4100.9 mms.

Tabla 3-8 Valores totales mensuales de precipitación al año.

VALORES TOTALES MENSUALES DE PRECIPITACION (mms)													Magnitud
MEDIOS	53.4	102.1	208.7	500.7	585.6	504.2	442.1	373.1	357.4	428.5	381.4	163.7	4100.9

Fuente: ajustado y modificado de [24].

3.2.3.1. Curvas IDF:

Resolviendo la ecuación 9 descrita en la metodología, con las constantes descritas en el capítulo 3.2.3.1 para estación Vanguardia, calculando una lluvia con totalidad de 6 horas y precisión de intervalos a 5 minutos, se crea la curva IDF del área de drenaje [Tabla 3-22].

La ecuación desarrollada para una duración de 5 minutos y periodo de retorno de 5 años es:

Modelación hidráulica del río Ocoa para la identificación de zonas de inundación dentro del casco urbano del municipio de Villavicencio, desde el barrio Porfía hasta Kirpas

$$I = 75.03 * \frac{5^{0.17}}{50^{0.63}} * 188.9083333^{0.12} * 225^{-0.23} = 255\text{mm/h}$$

Para 10 minutos y un periodo de retorno de 10 años:

$$I = 75.03 * \frac{10^{0.17}}{100^{0.63}} * 188.9083333^{0.12} * 225^{-0.23} = 185\text{mm/h}$$

Tabla 3-9 Curvas IDF Apto. Vanguardia para 6 horas ¹¹.

TABLA CURVAS IDF																								
FRECUENCIA AÑOS	DURACION EN MINUTOS																							
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120
5	255	165	127	106	92	82	75	69	64	60	56	53	51	48	46	44	43	41	40	39	37	36	35	34
10	287	185	143	120	104	93	84	77	72	67	63	60	57	54	52	50	48	46	45	43	42	41	40	39
25	335	216	168	140	121	108	98	90	84	79	74	70	67	64	61	58	56	54	52	51	49	48	46	45
50	377	243	189	157	137	122	111	102	94	88	83	79	75	71	68	66	63	61	59	57	55	54	52	51
100	424	274	212	177	154	137	124	114	106	99	94	89	84	80	77	74	71	69	66	64	62	60	59	57
TABLA CURVAS IDF																								
FRECUENCIA AÑOS	DURACION EN MINUTOS																							
	125	130	135	140	145	150	155	160	165	170	175	180	185	190	195	200	205	210	215	220	225	230	235	240
5	34	33	32	31	31	30	29	29	28	28	27	27	26	26	25	25	25	24	24	23	23	23	23	22
10	38	37	36	35	34	34	33	32	32	31	31	30	29	29	29	28	28	27	27	26	26	26	25	25
25	44	43	42	41	40	39	38	38	37	36	36	35	34	34	33	33	32	32	31	31	30	30	30	29
50	50	48	47	46	45	44	43	42	42	41	40	39	38	37	37	36	36	35	35	34	34	33	33	33
100	56	54	53	52	51	50	49	48	47	46	45	44	44	43	42	41	41	40	40	39	39	38	37	37
TABLA CURVAS IDF																								
FRECUENCIA AÑOS	DURACION EN MINUTOS																							
	245	250	255	260	265	270	275	280	285	290	295	300	305	310	315	320	325	330	335	340	345	350	355	360
5	22	22	21	21	21	21	20	20	20	20	20	19	19	19	19	19	18	18	18	18	18	18	17	17
10	25	24	24	24	23	23	23	22	22	22	22	22	21	21	21	21	20	20	20	20	20	20	20	19
25	29	28	28	28	27	27	27	26	26	26	25	25	25	25	24	24	24	24	24	23	23	23	23	23
50	32	32	32	31	31	31	30	30	30	29	29	29	28	28	28	27	27	27	27	26	26	26	26	25
100	37	36	36	35	35	34	34	34	33	33	32	32	32	31	31	31	31	30	30	29	29	29	29	29

Fuente: SÁNCHEZ ARAGÓN, J.S, Marzo de 2017.

Se realiza el mismo proceso para los otros tiempos y periodos de retorno. Obteniendo la curva descrita.

Con el fin de crear los hietograma se desarrollan las ecuaciones siguientes para las 6 horas de precipitación y cada uno de los tiempos de retorno:

$$I = \frac{5}{60} * 255 = 21.2\text{mm/h}$$

Para un tiempo de 10 minutos y un tiempo de retorno de 5 años:

$$I = \frac{10}{60} * 165 - 21.2 = 6.206\text{mm/h}$$

¹¹ Se realiza las curvas para todas las frecuencias pero únicamente se usan las de 25, 50, 100.

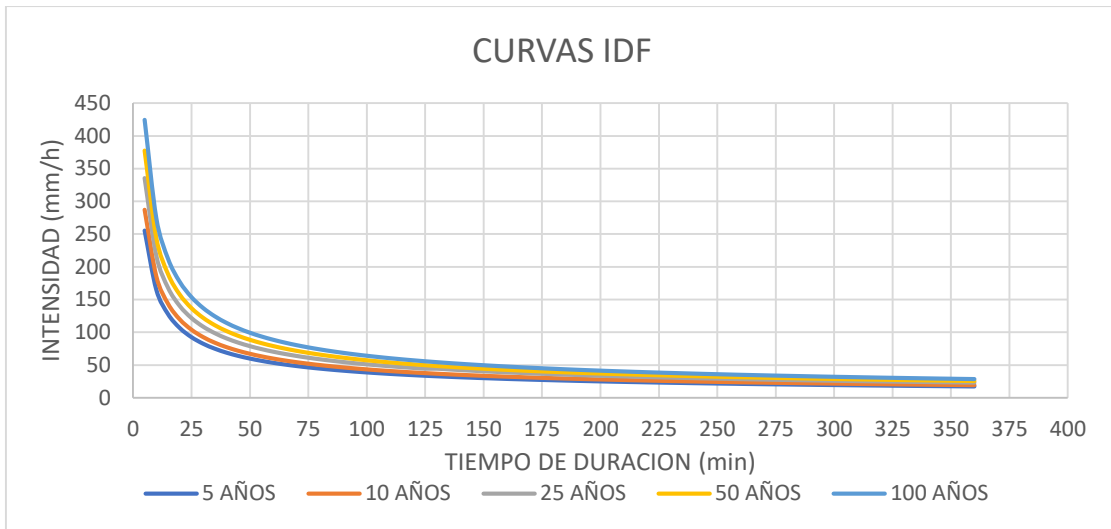


Figura 3-22 Curva IDF Vanguardia.. Fuente: SÁNCHEZ ARAGÓN, J.S, Junio de 2017.

Finalmente se reubica la información y se obtiene el hietograma de diseño para 100 y 80 años de retorno.

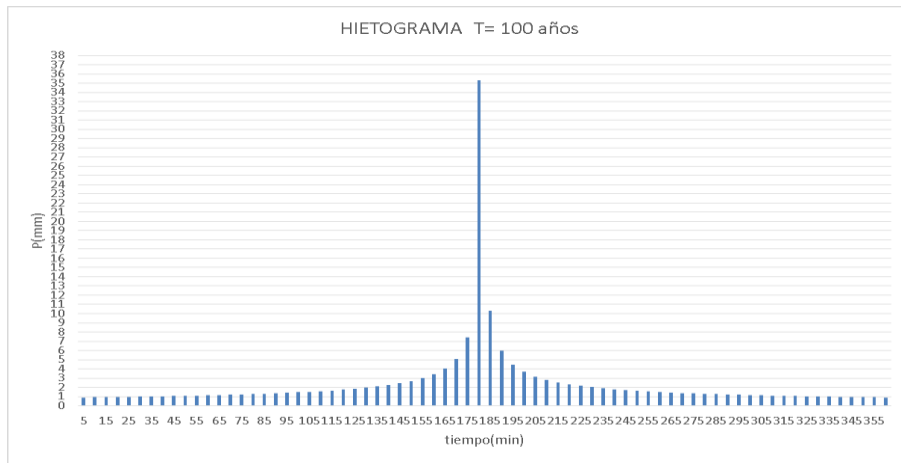


Figura 3-23 Hietograma de diseño 100 años. Fuente: SÁNCHEZ ARAGÓN, J.S, Julio de 2017.

Ejemplo: Minuto 355 > 0.54 mm/h se ubica a los 5 minutos.

Minuto 345 > 0.545 mm/h se ubica a los 10 minutos, así sucesivamente.

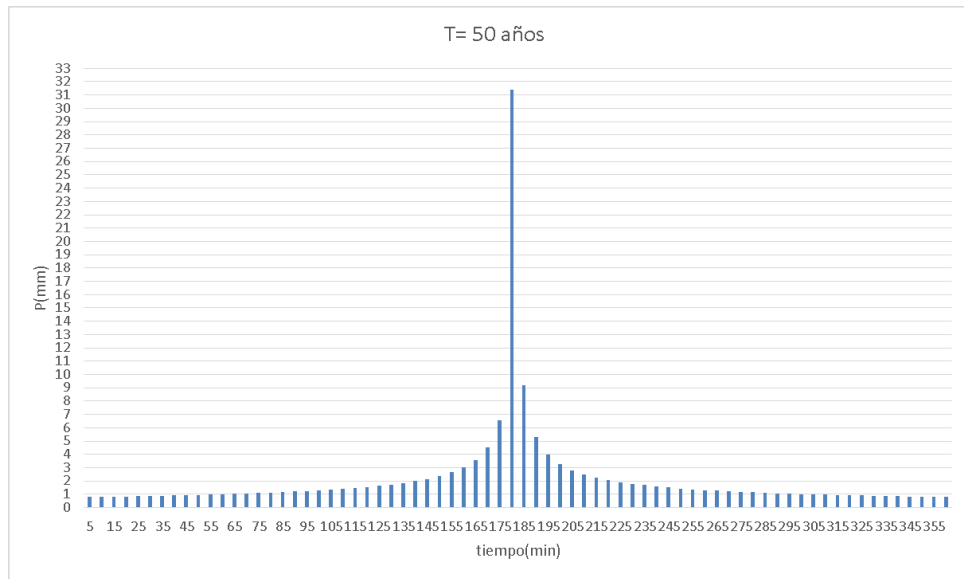


Figura 3-24Hietograma de diseño 50 años. Fuente: SÁNCHEZ ARAGÓN, J.S, Julio de 2017.

3.2.3.2. *Hidrograma de crecida.*

Se crea el esquema representativo de los afluentes a la cuenca principal, ubicando las sub-áreas, interconectándolas, y ubicando los cauces principales.

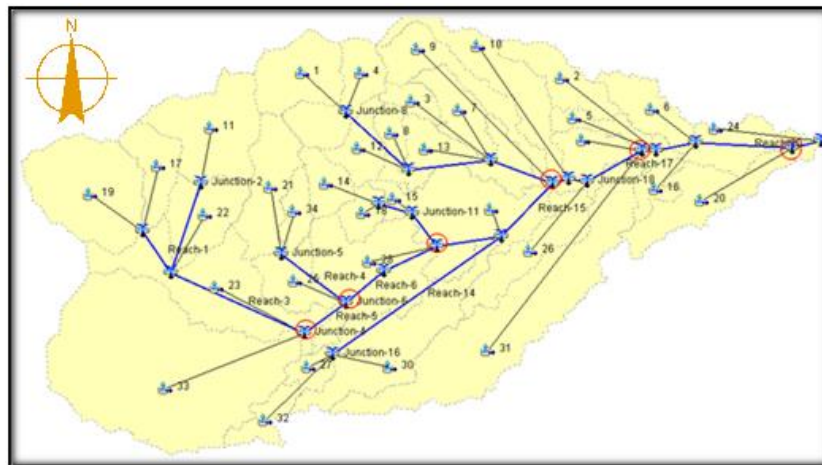


Figura 3-25Basin HEC-HMS. Fuente: SÁNCHEZ ARAGÓN, J.S, Agosto de 2017, por medio de HEC-HMS.

Modelación hidráulica del río Ocoa para la identificación de zonas de inundación dentro del casco urbano del municipio de Villavicencio, desde el barrio Porfía hasta Kirpas

Se identifican los puntos para el ingreso de caudales en las zonas redondeadas en rojo. Donde se suman diferentes caudales de ingreso una vez se hayan obtenido. Los Anexos E y F muestran los datos de ingreso para áreas y canal principal respectivamente:

Se realiza una simulación para entrega de resultados desde las 00:00 horas del 12 de marzo del 2017 hasta las 12:00 horas del mismo día. Para el final de la cuenca estudio se entregan los siguientes hidrogramas de crecida:

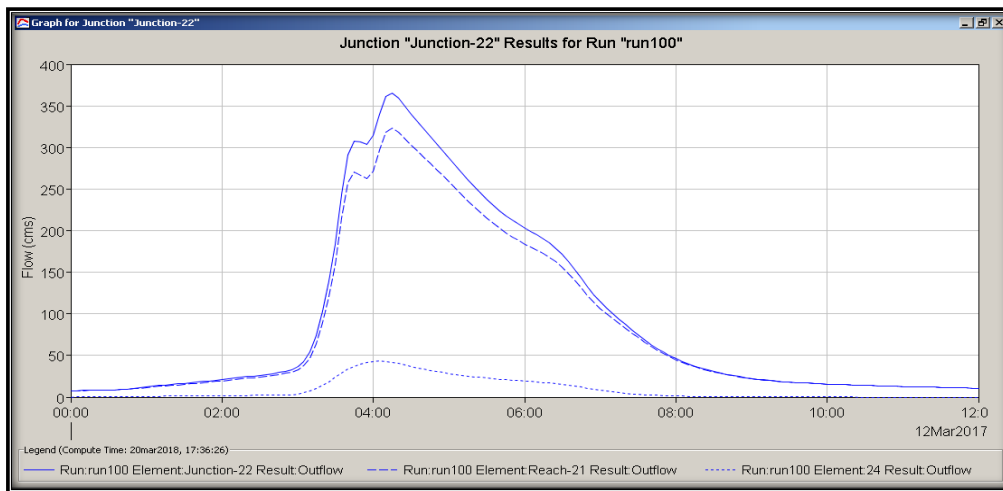


Figura 3-26hidrograma de crecido 100 años de retorno. Fuente: SÁNCHEZ ARAGÓN, J.S, Agosto de 2017.

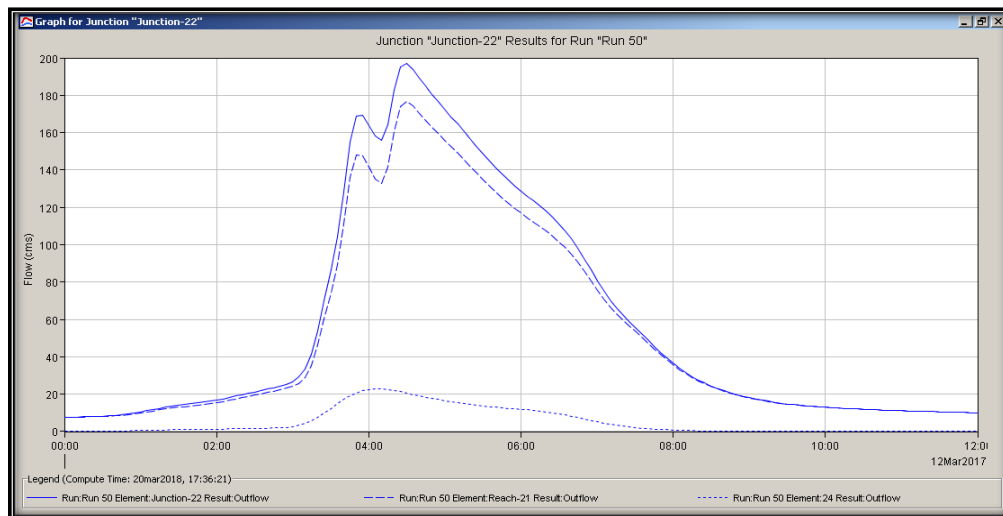


Figura 3-27hidrograma de crecida 50 años de retorno. Fuente: SÁNCHEZ ARAGÓN, J.S, Agosto de 2017.

Para ingresar los datos a HEC-RAS se extraen los hidrogramas unitarios de sub-áreas y reach's y se suman los caudales:

-Reach-4	-Sub-área 28
-Reach-3	-Sub-área 24
-Reach-10	-Sub-área 9
-Reach-14	-Sub-área 10
-Reach-11	-Sub-área 31
	-Sub-área 16
	-Sub-área 6
	-Sub-área 20.
	-Sub-área 33.

3.2.4. Modelación en HEC-RAS.

La modelación resulta en el último conjunto de procesos donde se obtiene la inundación para los caudales presentados hidrogramas unitarios producidos.

El terreno se ingresa por medio de la herramienta RAS MAPPER. Que permite la visualización de las zonas de afluencia de caudales al río.

Se crea la malla computacional que por medio de iteración se establece que 13.5*13.5 m corresponde a la separación más adecuada para el llenado de las celdas, el área de la grilla aumenta en algunas zonas debido al alcance de la inundación.



Figura 3-28 Geometría y puntos de ingreso de caudales al río Ocoa.. Fuente: SÁNCHEZ ARAGÓN, J.S, Marzo de 2018, por medio de HEC-RAS.

La malla computacional creada desde San Cipriano hasta puente Caído presenta la menor área de malla computacional puesto que la inundación no alcanza lejanos lugares.

Después de puente Caído hasta el final del área estudio las áreas se expanden fuertemente ocasionadas por inundaciones, con mayor área de contacto.

Se ingresan al sistema los hidrograma unitarios por medio de las zonas de ingreso ubicados en la malla en forma de caudales con régimen no permanente siendo este el mejor para crecientes por precipitación.

Con las variables ingresadas al software se procesan teniendo en cuenta los siguientes parámetros de cómputo:

Se desarrolla un intervalo de 5 minutos para un evento máximo iniciado el 18 de septiembre del 2017 a las 00:00 horas y que finaliza a las 12:00 horas del mismo día. La pendiente distribuida del Bc Lines se maneja como promedio de 0.05 m/m por el piedemonte llanero excepto para el final del tramo de cálculo del río. La salida de aguas en Kirpas se establece de tipo profundidad normal con una pendiente del 0.0025 m/m.

A continuación se corre el sistema bajo los siguientes parámetros:

La fecha de inicio es ficticia y el fin al tiempo de la inundación del hidrograma unitario. El intervalo computacional fue definido por iteración de varios valores debido a un problema con el programa sobre el llenado de celdas , el detalle, hidrograma de salida y mapeo de

Modelación hidráulica del río Ocoa para la identificación de zonas de inundación dentro del casco urbano del municipio de Villavicencio, desde el barrio Porfía hasta Kirpas

salida de 5 minutos, suficiente detalle para representar 12 horas de llenado, los valores son los mismos para 50 años de retorno.

Una vez el sistema modela las variables se obtienen los mapas de inundación.

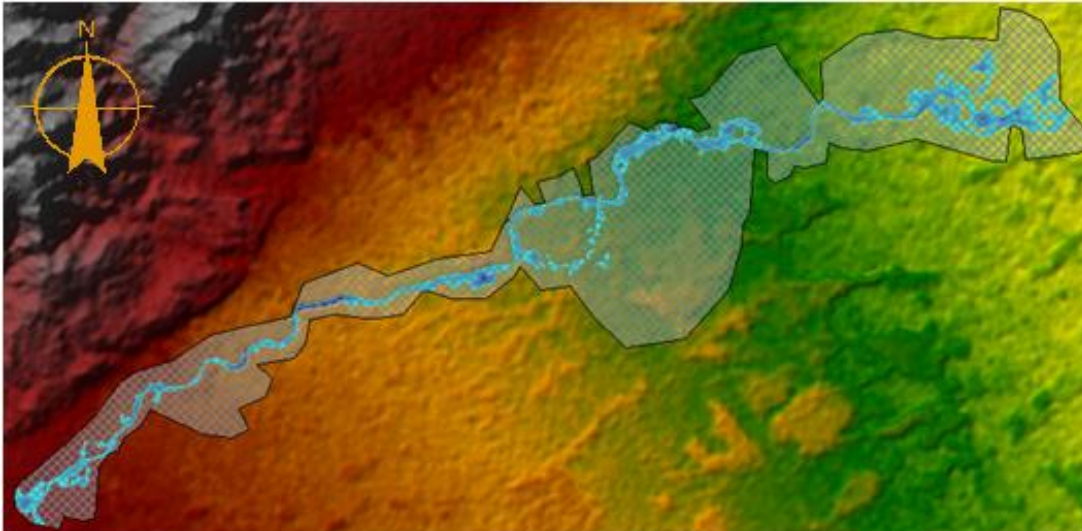


Figura 3-29Inundación máxima prevista del río Ocoa. Fuente: SÁNCHEZ ARAGÓN, J.S, Marzo de 2018, por medio de HEC-RAS.

Para identificar el área urbana de inundación se traspone la imagen en Google Earth, se grafican las áreas urbanas dentro del polígono y se presentan los resultados.

4. PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.

Todos los resultados anteriores se realizan con un único fin y es el cálculo de la inundación a causa del río Ocoa en el cual intervienen los factores mencionados en los objetivos dentro de su área de drenaje. Se analizan los resultados obtenidos en el estudio e influencia al objetivo del proyecto.

4.1.1. Caracterización morfométrica del área de estudio.

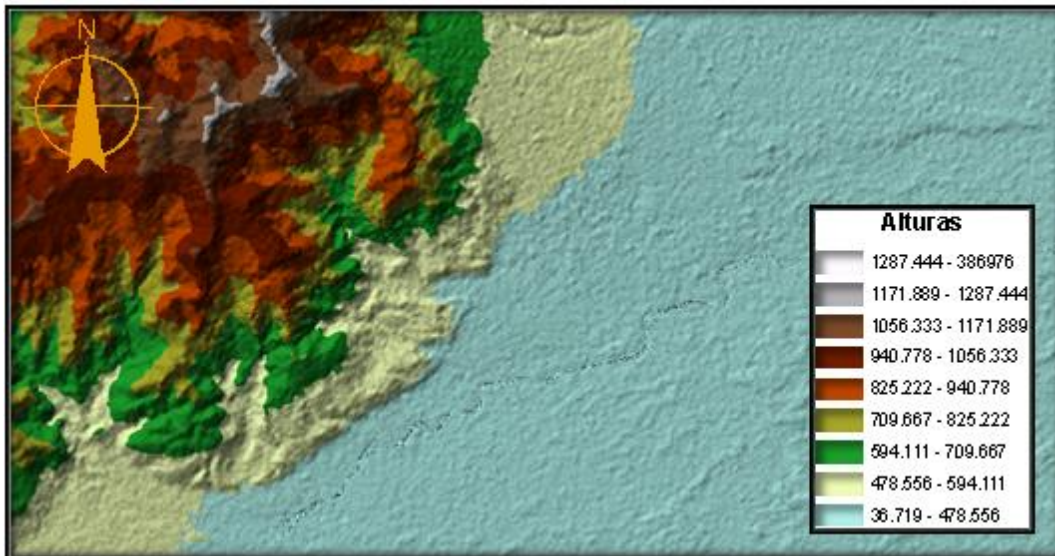


Figura 4-1Topografía en formato TIN con detalle del río Ocoa. Fuente: SÁNCHEZ ARAGÓN, J.S, Marzo de 2018, por medio de HEC-RAS.

La topografía del terreno presenta 3 comportamientos: las altas pendientes de la cordillera oriental, el piedemonte, la planicie de los Llanos Orientales.

Sin embargo el río dentro de su zona establecida para identificación de inundación se encuentra en su totalidad dentro de la planicie identificada en la Figura 4-1, como el área de color azul.

Tramo A

Respecto al cauce del río este comienza un ancho promedio de 35 metros con alturas que varían de 2.5 con un comportamiento similar al mostrado en la Figura 4-2. Un factor que influye en el riesgo de inundación es que las viviendas que se observan están hacia el lado interno de los meandros lo cual es lógico ya que están más alejados del cauce del río, sin embargo este lugar se inundará primero a una altura más baja y la poca pronunciación de la curva.



Figura 4-2 Curva antes del puente entrada Porfía. Fuente: ajustado y modificado de [25].

Tramo B:

Las secciones en el Ruby presentan ancho del río de 50 metros y en el área urbana del Ruby la pared alcanza los 2.5 hasta 4 metros en sus zonas de mayor altura, donde las viviendas siguen el comportamiento de construcción al igual que ciudad Porfía.

En el tramo B se encuentra la sección más recta del tramo estudio el cual también tiene un buen canal hidráulico debido a las altas paredes del río al final de la recta se encuentra un cambio de rumbo con un ángulo bastante fuerte y una pared de bajo tamaño el cual conecta con un terreno cuya altura sigue descendiendo hacia el sur del terreno.



Figura 4-3Batimetría tramo B ¹². Fuente: ajustado y modificado de [25].

Tramo C



Figura 4-4Curva Primero de Mayo¹³. Fuente: ajustado y modificado de [25].

Hacia el sur del tramo a pesar de que las alturas disminuyen por lo general a causa de las alturas provocadas por los meandros se espera que el flujo no discorra observandose paredes elevadas en el lugar.

Este tramo se caracteriza porque sus paredes se encuentran en general inclinadas con pendientes a razón H/V de 1m/0.7m.

El terreno en el interior de las curvas pronunciadas hacia su costado interno muestran un comportamiento en el cual después de un aproximado de 90 metros se crean unas colinas

¹² Tomado de Google Earth el 21/03/18

¹³ Tomado de Google Earth el 21/03/18

las cuales no son pronunciadas los cambios de alturas son de máximo 0.5 metros en general.

Tramo D



Figura 4-5 Curva barrio Cavivir. Fuente: ajustado y modificado de [25].

En la figura 4-5 se observa como el área cercana al círculo rojo presenta una pared con altura de 5.5m mientras que la cercana al área naranja se reduce a 2.2m en. Concluyendo a pesar de que en esta sección hay un ancho de río bueno no hay grandes paredes hacia el lado de Kirpas que protejan de un evento fuerte, lo cual es aún más riesgoso debido a los fuertes cambios de dirección en esta sección. Después de la última curva vista de la imagen anterior no se presentan comportamientos distintos en cuanto a las alturas y las secciones.

4.1.2. Realizar la caracterización de la morfogénesis (tipo de suelo) del área de estudio.

A continuación relacionan las áreas que ocupa cada combinación que ocupa cada combinación, para su posterior interpretación [Tabla 4-1].

Tabla 4-1 Área por número de curva¹⁴.

Combinaciones	Área(m²)	Número de Curva
11	2446365	30
12	19411	58
13	17284	71
21	31894344	39
22	1084458	61
23	779349	74
31	30422395	25
32	3513288	55
33	5660975	70
41	12190644	61
42	48470	75
43	70404	83
51	24012	Sin Valor
53	2139	Sin Valor
61	7156338	72
62	821031	82
63	499668	87

Fuente: SÁNCHEZ ARAGÓN, J.S, Marzo de 2018.

Se observan como principales áreas las combinaciones 11, 21, 31, 41, 61, y esto es así porque la mayor parte del área de drenaje se encuentra en el piedemonte el cual es

¹⁴ Las combinaciones 51 y 53 representan sombras y cuerpos de agua represados.

producido por procesos erosivos lo que le brinda al suelo una alta capacidad permeable, A lo largo del río Ocoa predominan suelos con cobertura vegetal sobre sedimentos constituidos por arcillas arenas y gravas no consolidadas de la cordillera [38] , y especialmente dentro de los límites del tramo estudio para la inundación, zonas urbanas, además de algunas zonas boscosas todo bajo un mismo suelo característico, una característica que reduce riesgo de inundación la favorabilidad de los suelo hacia la permeabilidad y en el caso de la zona piedemonte también el fracturamiento de roca de algunas de las unidades geológicas.

Respecto a la cobertura del suelo predominan los bosques en la zona norte y occidente de la cuenca por la cordillera, pastos en la planicie sur y a lo largo del río hacia el oriente la zona urbanizada de Villavicencio, con los barrios comprendidos entre La Isla y Kirpas que son la causa principal de esta investigación.

Lo anterior da como resultado una alta permeabilidad de la cuenca excepto en las zonas urbanas donde los valores redondean un promedio de 60, se evidencia que las viviendas cercanas a la banca del río presentan zonas descubiertas tales como patios por lo cual no representan impermeabilidades en la totalidad del predio

4.1.3. Hidrogramas de crecida máximo esperado

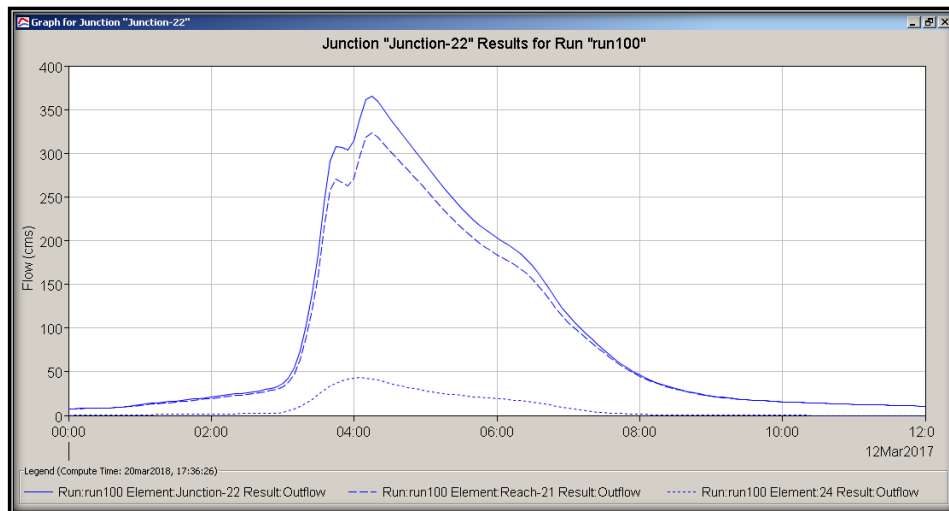


Figura 4-6 Hidrograma de caudal 100 años salida de la cuenca. Fuente: SÁNCHEZ ARAGÓN, J.S, Marzo de 2018, por medio de HEC-HMS.

Para una lluvia proyectada a 100 años se tiene una descarga pico de $365\text{m}^3/\text{s}$, en el punto de concentración de aguas, sin embargo para aumentar la exactitud del ingreso de caudales, se decide ingresar un caudal único al inicio del tramo e ir ingresando los caudales de los afluentes, la figura 3-19 muestra los lugares de ingreso por medio de las Bc Line:

Los elementos Reach3/2, 33 hacen parte del caudal inicial del tramo estudio mientras que los demás se aplican a lo largo de su transcurso. Como resultado se obtienen mayores caudales de las zonas con baja pendiente o cual influye en mayor tiempo para evacuar el agua de la cuenca, teniendo en cuenta que el tramo se ubica en pendientes muy bajar esto aumenta el riesgo por inundación.

El anexo G contienen los caudales pico para cada uno de los afluentes del río Ocoa.

4.1.4. Identificar las zonas que posean riesgo por inundación por medio de la relación de las características de la cuenca para 100 y 50 años de retorno.

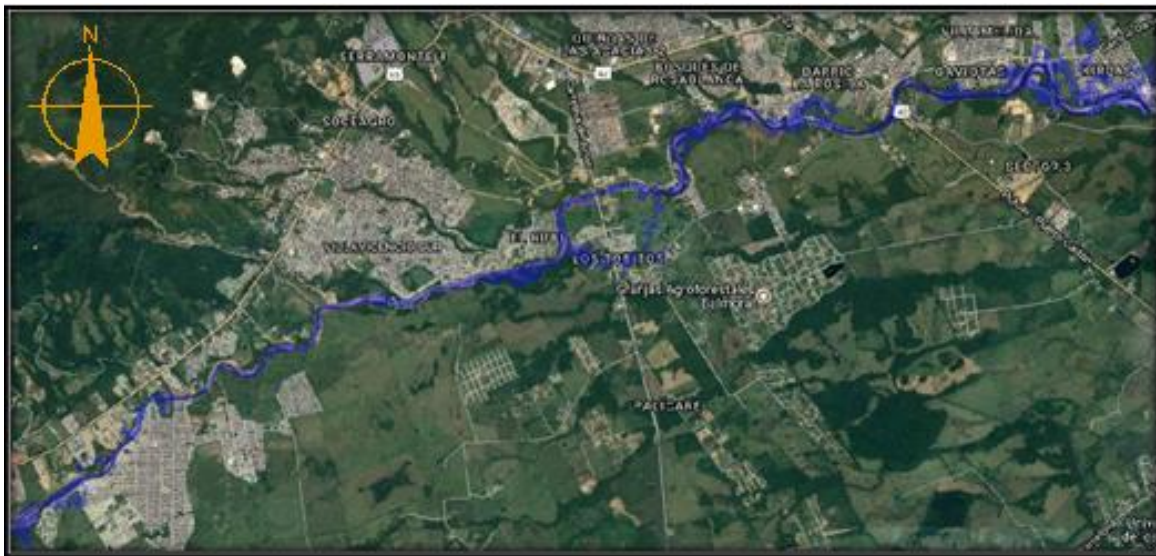


Figura 4-7 Inundación evento máximo. Desde La Isla hasta Kirpas¹⁵. Fuente: SÁNCHEZ ARAGÓN, J.S, Marzo de 2018, por medio de HEC-RAS.

Para una correcta comprensión del análisis se deben tener en cuenta las siguientes

¹⁵ Tomado de Google Earth el 21/03/18

anotaciones:

- Teniendo en cuenta que el caudal varía a lo largo de la sección del río los valores que se entregarán a continuación representan los valores más representativos.
- A pesar de que para los periodos de retorno las áreas de inundación en ocasiones se presenten iguales, las profundidades y velocidades para 50 años de retorno varían hacia a menores magnitudes, sin embargo su análisis no es jurisdicción de este proyecto.
- El análisis de la inundación y su comportamiento se analiza para el caso más extremo posible, ósea 100 años de retorno.
- La comparación entre periodos de retorno tiene como fin indicar las zonas que al momento de reducir su caudal dejan de presentar inundación esto reduce su susceptibilidad

4.1.4.1. Tramo A (La Isla-Puente entrada Porfía)

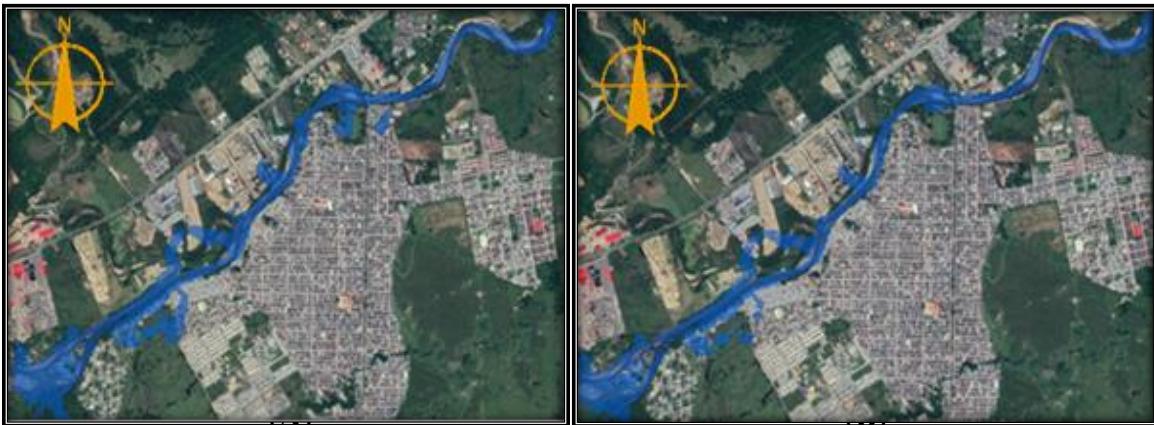


Figura 4-8 Inundación tramo A para, (A) 100 años de retorno (B) 50 años de retorno¹⁶. Fuente: SÁNCHEZ ARAGÓN, J.S, Marzo de 2018, por medio de HEC-RAS.

La figura 4-8 muestra las inundaciones a lo largo del cauce hacia las viviendas que se encuentran ubicadas al margen izquierdo del río, y algunos ingresos fuertes hacia el primer asentamiento urbano conocido por sus habitantes como La Isla. Para ambos periodos se encuentran los mismos puntos de inundación solo que reduciendo su nivel y área de afectación.

¹⁶ Tomado de Google Earth el 21/03/18

Comparando los años de retorno planteados se observa un comportamiento similar en las áreas de inundación, lo cual es indicativo de que los sectores en riesgo son los mismos, reduciendo sin embargo su impacto en los asentamientos del lugar.

4.1.4.2. La isla y San Cipriano.



Figura 4-9 La Isla vista aguas abajo hacia aguas arriba. Fuente: SÁNCHEZ ARAGÓN, J.S, Marzo de 2018.

El sector conocido como La Isla se llama así debido a que el río Ocoa se ramifica en 2 donde el que colinda al sur con San Cipriano presenta actualmente un caudal casi inexistente, mientras que en el lado derecho de la isla el caudal es atribuido por el caño Corcobado (sub área 33).



Figura 4-10Entrada La Isla Fuente: SÁNCHEZ ARAGÓN, J.S, Marzo de 2018.

El costado derecho presenta un caudal base superior al del río Ocoa y su banco hidráulico está más cerca de las viviendas en este lado se encuentran llantas en varios lugares como medio de protección sin embargo son muy pocas y las alturas menores a 1m.



Figura 4-11Costado derecho La Isla. Fuente: SÁNCHEZ ARAGÓN, J.S, Marzo de 2018.

.En el costado sur del río Ocoa carga con el caudal base del río, donde el ancho superior se encuentra a 35 metros aproximadamente del costado contrario de la lamina de agua de la La Isla, las viviendas en la isla están construidas casi en su totalidad de teja de zinc con uniones en puntillas.



Figura 4-12 Costado izquierdo La Isla Fuente: Fuente: SÁNCHEZ ARAGÓN, J.S, Marzo de 2018.

A pesar de que las viviendas se observan pocas en la orilla en su interior se ubican viviendas muy cercanas como se observa en la Figura 4-13.



Figura 4-13 Caminos dentro de La Isla Fuente: SÁNCHEZ ARAGÓN, J.S, Marzo de 2018.

La inundación máxima inicia a las 3 horas y 35 minutos de haber iniciado la precipitación al sector ingresan caudales de $20.64 \text{ m}^3/\text{s}$.



Figura 4-14Comportamiento y velocidad de flujo La Isla¹⁷. Fuente: SÁNCHEZ ARAGÓN, J.S, Marzo de 2018.por medio de HEC-RAS.

La inundación en el barrio conocido como La Isla se produce desde el este del asentamiento a causa del río Ocoa y el caño Corcobado con velocidades de flujo que oscilan los 0.5m/s hasta velocidades de hasta 0.8 m/s al interior del barrio, no se presenta inundación desde los costados del barrio, las mayores velocidades se encuentran en los costados externos del río tanto al sur hacían San Cipriano con valores promedio de 4.5 m/s hasta los 6 m/s, donde sin embargo no se observa inundación al sector urbano debido a la alta pared natural del río.

¹⁷ Tomado de Google Earth el 21/03/18

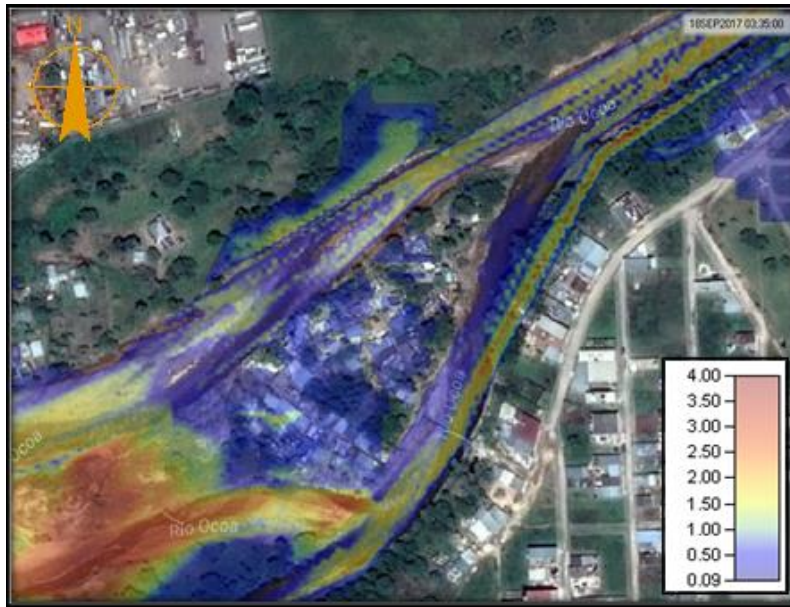


Figura 4-15 Profundidades de Inundación La Isla¹⁸. Fuente: SÁNCHEZ ARAGÓN, J.S, Marzo de 2018.por medio de HEC-RAS.

Como resultado se tiene la inundación presentada en la Figura 4-15 donde evidente la importancia de evitar la expansión del barrio hacia el este debido la inundación del terreno que supera los 2 metros de altura, hacia el costado norte del río nose observan viviendas afectadas, para el barrio se calculan un área de $11694.631437m^2$ inundados donde los niveles oscilan desde 0.1m hasta 1m en algunas zonas.

El barrio San Cipriano no presenta afectación alguna en su urbanización.

¹⁸ Tomado de Google Earth el 21/03/18

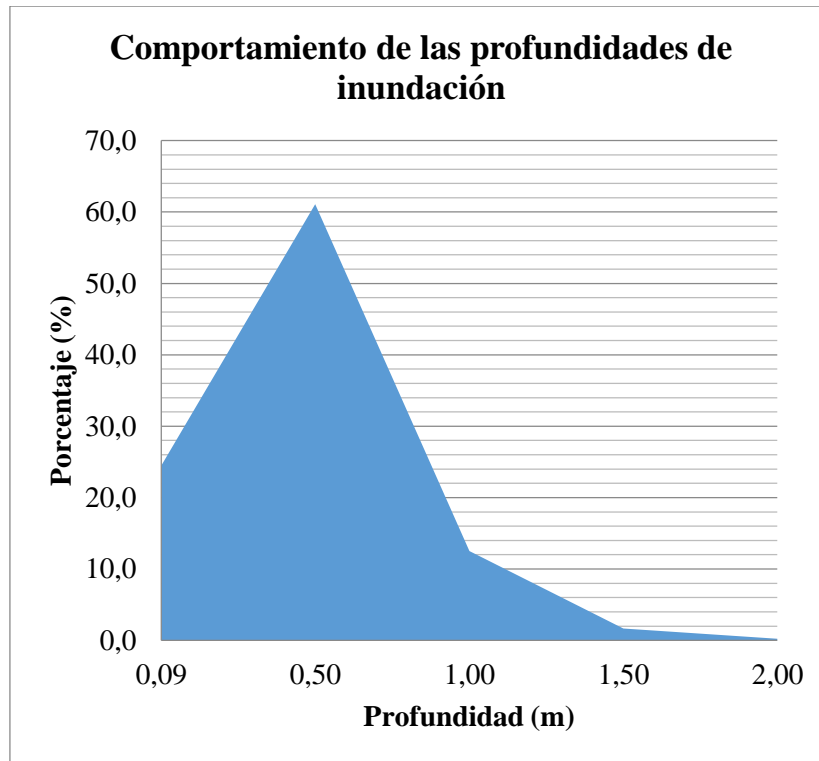


Figura 4-16Profundidades barrio La Isla. Fuente: SÁNCHEZ ARAGÓN, J.S, Marzo de 2018.

Las profundidades esperadas para la inundación no superan en general los 0.5 m llegando a un 13% de magnitudes máximas de 1 .

4.1.4.2.1 La Playita y Villas del Ocoa

Mientras que en San Cipriano las viviendas están ubicadas a una distancia de aproximadamente 4 a 5 metros después de la banca del río contando con un muro natural de 4 metros en el barrio la Playita están construidas directamente al lado de la banca del río con paredes que no superan los 3 metros siendo un comportamiento general que se presenta en casi todo el sector.



Figura 4-17Rivera de La Playita. Fuente: Obtenido de [39].

La Figura 4-17 retrata las viviendas al borde del río que han invadido la banca del río muy cerca en ocasiones al lado de la lámina de agua, los lugareños optan por construir estructuras de defensa como llantas o ubicar material de roca frente a sus viviendas.

La inundación máxima inicia a las 3 horas y 40 minutos de haber iniciado la precipitación al sector ingresan caudales de $57.47 \text{ m}^3/\text{s}$

La inundación resaltada en la figura 4-18 presenta un movimiento a razón de $4.6 \text{ m}^3/\text{s}$ a las 3 horas con 40 minutos.

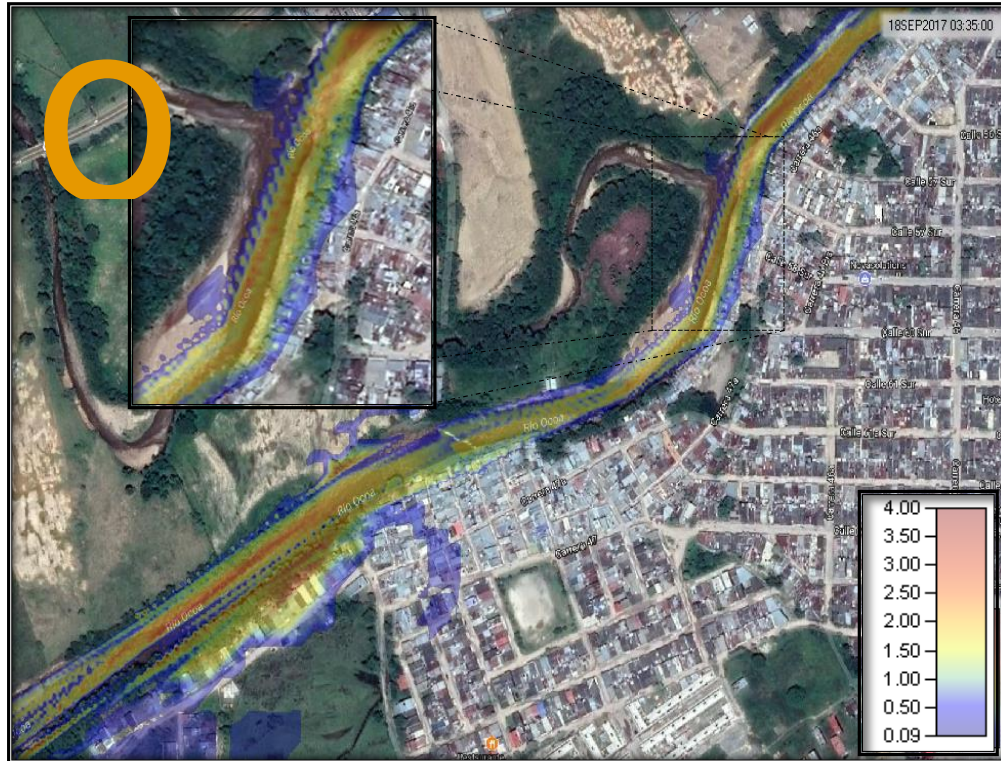


Figura 4-19Profundidades de La Playita²⁰. Fuente: SÁNCHEZ ARAGÓN, J.S, Marzo de 2018.por medio de HEC-RAS.

La frontera entre San Cipriano y la Playita representa el mayor área de inundación en este sector donde los niveles de inundación cercanos a la riberas van desde 1m hasta 1.7m, donde por escorrentía el agua llega a viviendas mas alejadas hacia el sur-oeste a 0.2 m de altura al nivel de agua.

A lo largo de la costa del río Ocoa en la Playita se evidencian inundaciones cuantificadas en un total 25545.034998 m², de viviendas de alto riesgo debido a que no existen sistemas de protección.

²⁰ Tomado de Google Earth el 21/03/18

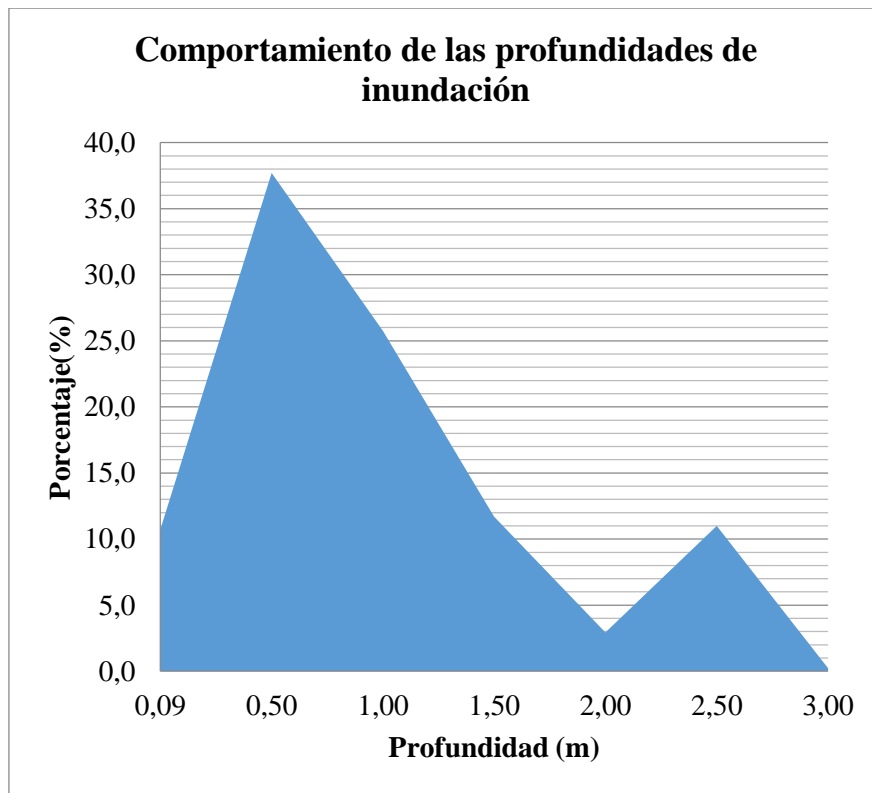


Figura 4-20Profundidades barrio La Playita. Fuente: SÁNCHEZ ARAGÓN, J.S, Marzo de 2018.

Las profundidades esperadas de inundación para La Playita van desde los 0.5m a 1m , con una importante de 26% de áreas inundadas con profundidades mayores a 1.5 m.

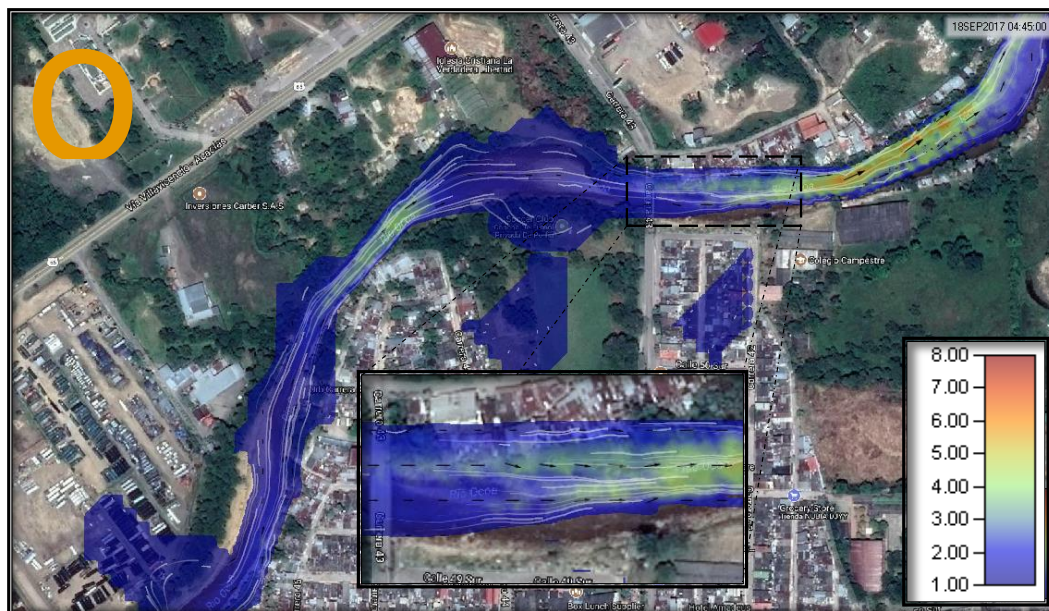
4.1.4.2.2 *Porfía.*



Figura 4-21 Protección de viviendas y matorrales cerca de viviendas. Fuente: SÁNCHEZ ARAGÓN, J.S, Marzo de 2018.

La Figura 4-21 muestra el panorama de la rivera a lo largo del cauce, los pobladores ubican su propia protección conociendo el riesgo por inundación y socavación que se evidencia en campo, las viviendas se ubican al costado sur del río, se identifican paredes altas al lado contrario lo que evita una evacuación de caudal cargándolo todo contra la rivera de Ciudad Porfía lo cual aumenta el riesgo.

La inundación máxima inicia a las 3 horas y 50 minutos de haber iniciado la precipitación al sector ingresan caudales de $2.25 \text{ m}^3/\text{s}$



no se presencia inundaciones de áreas extensas, sin embargo las que se encuentran presentan alturas promedio de 1.5m. La calle 49 en Ciudad Porfía al costado sur presenta inundación por escorrentía donde hay velocidades que no superan los 0.0012 m/s.

Al norte de la calle 49, costado norte del río se observa la inundación más preocupante del sector Ciudad Porfía debido a que los niveles de agua llegan a los 2m, lo cual sumado a las velocidades encontradas son claros indicios de una zona por alto riesgo por desastre.

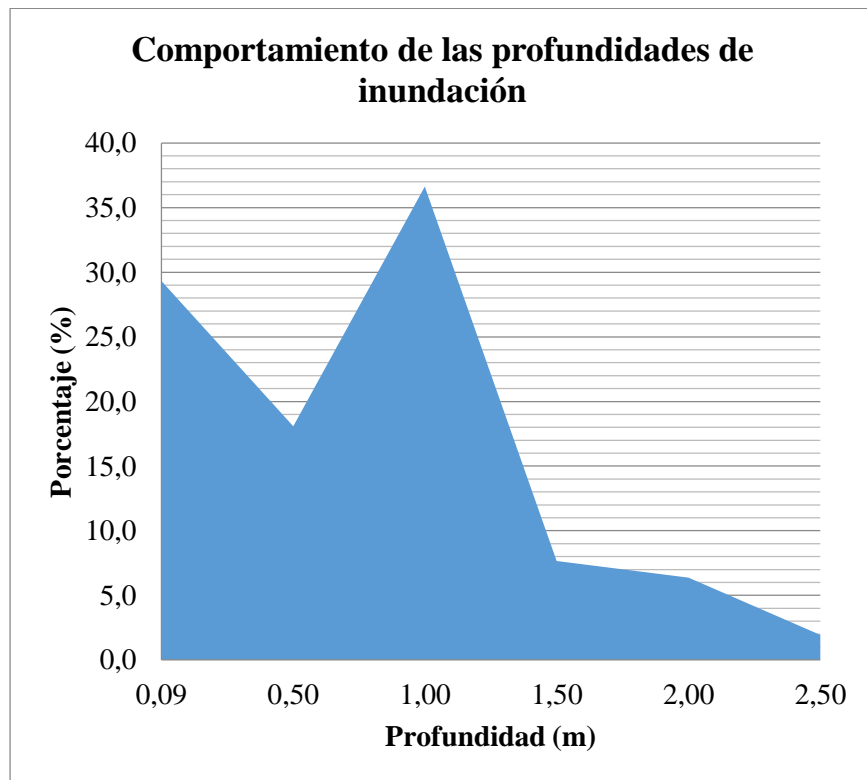
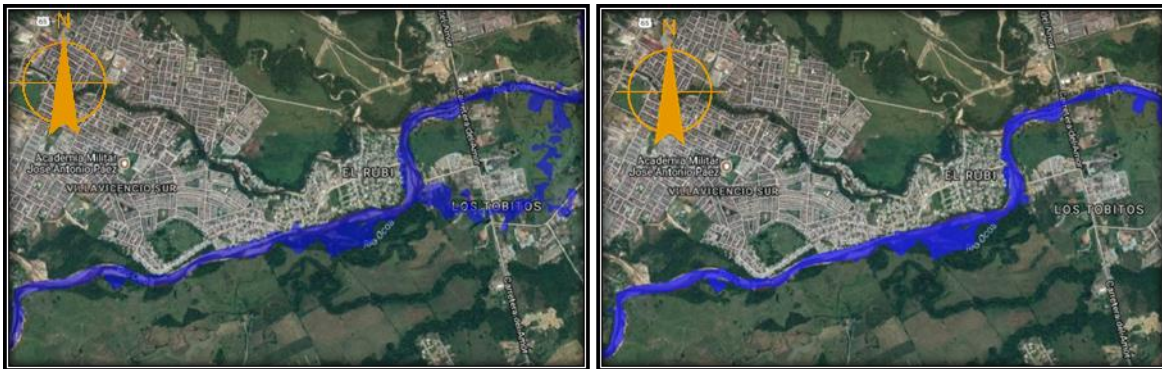


Figura 4-24Profundidades barrio Ciudad Porfía. Fuente: SÁNCHEZ ARAGÓN, J.S, Marzo de 2018.

El lugar presenta áreas totales de 47% donde se identifican profundidades menores a 0.5m, un importante 37% de alturas variantes entre 1 m, y un total de 16% de estar por encima de los 1.5m.

4.1.4.3. Tramo B (El Puente Porfía-Puente Caído)



(A)

(B)

Figura 4-25 Inundación tramo B para, (A) 100 años de retorno (B) 50 años de retorno²³. Fuente: SÁNCHEZ ARAGÓN, J.S, Marzo de 2018. por medio de HEC-RAS.

Este sector se caracteriza por la baja cantidad de meandritos, donde desde el barrio Nuevo Amanecer hasta comenzar Puente Caído el río fluye en línea recta donde no se presentan inundaciones de gran magnitud, lo cual concuerda con lo expresado por lugareños del Ruby.

Iniciando Puente Caído se presenta un cambio con ángulo pronunciado, en el costado oeste mirando al Ruby en este punto se observan muros de 3m y vías dentro del río en material de roca posiblemente para vehículos,

Hacia el costado este colindando con Puente Caído existen muros con altura de 2 metros, sin embargo cuenta con una zona de acceso de ancho capaz para vehículos por el cual se observa riesgo de intrusión del flujo de río.

Comparando ambos años de retorno se evidencia que el punto de inundación al momento del cambio de curva no acontece para 50 años, lo cual indica que el riesgo de inundación para el barrio Villa hermosa se produce para un evento máximo de inundación para las magnitudes evaluadas a la fecha del presente estudio.

²³ Tomado de Google Earth el 21/03/18



Figura 4-26(A) Curva Puente Caído-(B) camino de ingreso. Fuente: SÁNCHEZ ARAGÓN, J.S, Marzo de 2018.

Las viviendas de los barrios desde Nuevo Amanecer hasta El Ruby las viviendas se caracterizan por estar a 1 o 2 metros promedio alejados de la banca del río, sobre muros naturales que alcanzan 2.2m de altura.

Se calcula un total de $41203m^2$ de área urbana inundada para todo el tramo

4.1.4.3.1 Nuevo Amanecer, Guaduales, Santa Librada.

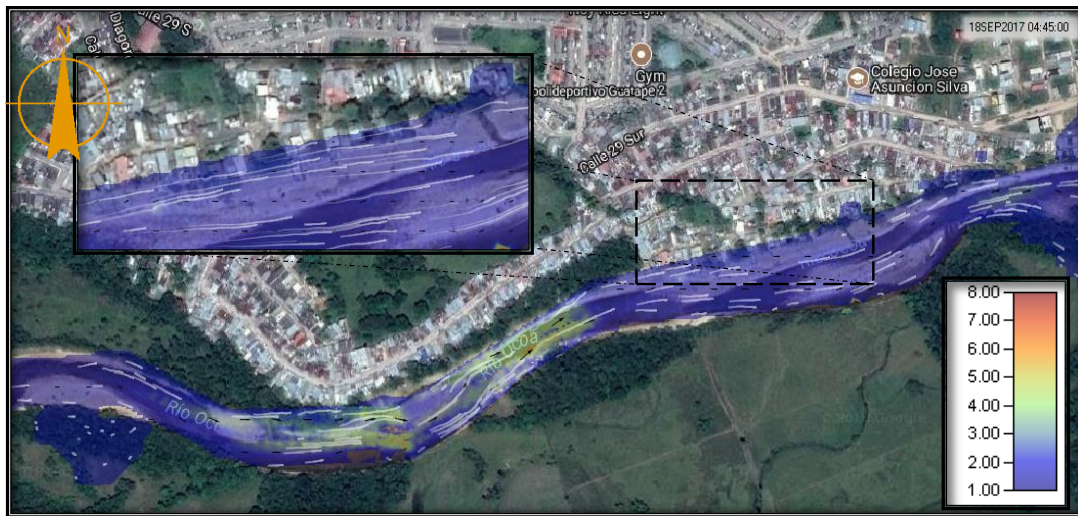


Figura 4-27 Comportamiento y velocidad de flujo inundación Nuevo Amanecer, Guaduales, Santa Librada²⁴. Fuente: SÁNCHEZ ARAGÓN, J.S, Marzo de 2018.por medio de HEC-RAS.

La inundación máxima inicia a las 4 horas y 25 minutos de haber iniciado la precipitación al sector ingresan caudales cercanos a $25.645 \text{ m}^3/\text{s}$

Lo barrios de Nuevo Amanecer y Guaduales no presentan inundación, contrario a Santa Librada donde el río llega a lo largo de su rívera e ingresa a las viviendas que están directamente al costado norte del río, esto se produce a causa de que parte del caudal se recuesta hacia Santa Librada además del llenado de la sección hidráulica del río, el flujo lleva una velocidad promedio de 1.2 m/s.

²⁴ Tomado de Google Earth el 21/03/18

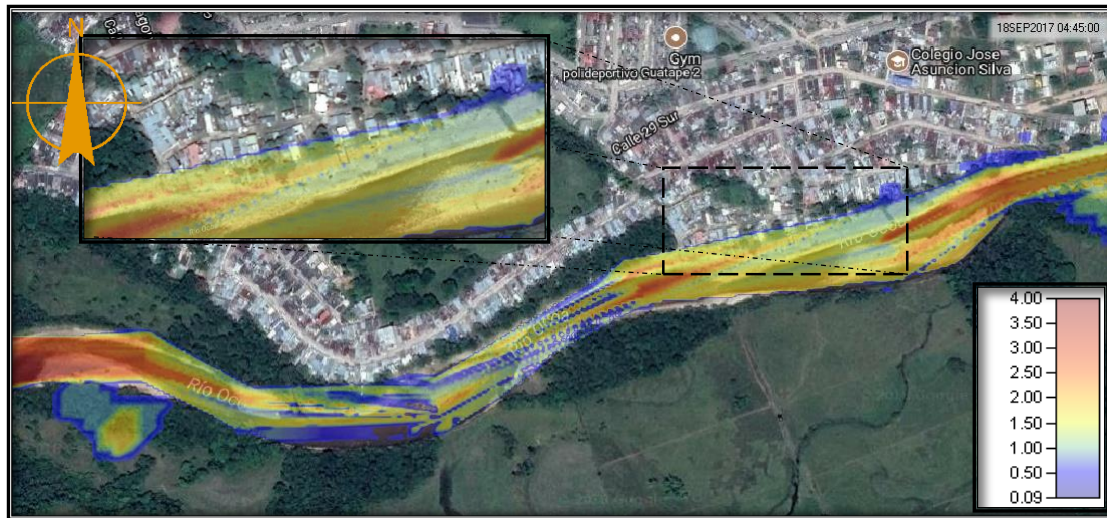


Figura 4-28 Profundidades de Inundación Nuevo Amanecer, Guaduales, Santa Librada²⁵. Fuente: SÁNCHEZ ARAGÓN, J.S, Marzo de 2018.por medio de HEC-RAS.

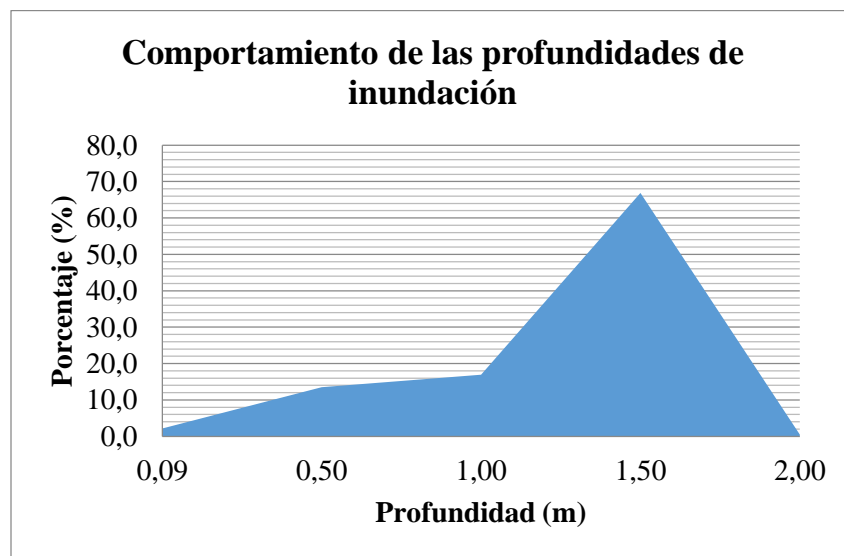


Figura 4-29 Profundidades barrio Guaduales. Fuente: Fuente: SÁNCHEZ ARAGÓN, J.S, Marzo de 2018.

El río Ocoa presenta un alto tirante hidráulico en esta sección, y especialmente preocupante hacia el barrio Santa Librada donde las viviendas que se encuentran dentro del área de

²⁵ Tomado de Google Earth el 21/03/18

inundación se enfrentan a velocidades de flujo de 1.2 m/s y niveles de agua que van desde 1 a 1.5 m de altura, Figura 4-28.

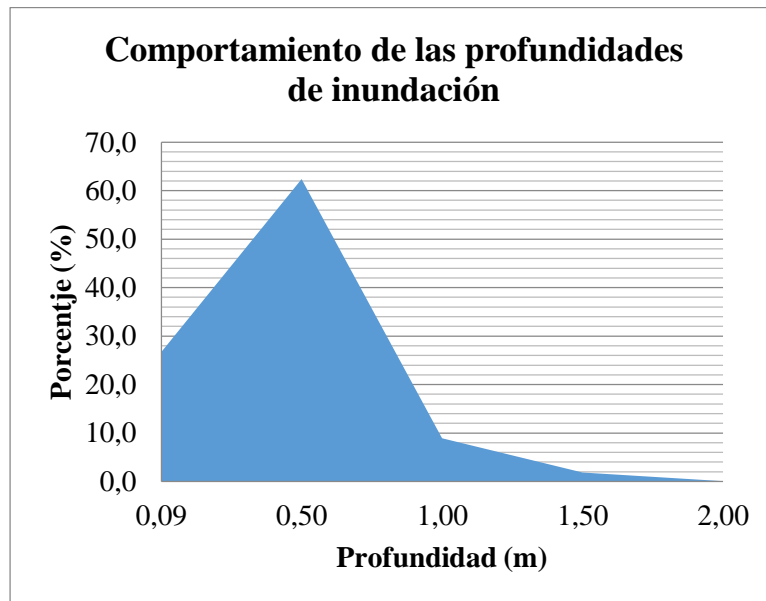


Figura 4-30 Profundidades barrio Santa Librada. Fuente: SÁNCHEZ ARAGÓN, J.S, Marzo de 2018.

Santa Librada no se presentan profundidades pronunciadas en general las alturas son menores a 0.5m, a excepción de algunas ocasiones en las cuales alcanza hasta 1m.

4.1.4.3.2 *El Ruby y Villa Hermosa:*

La inundación máxima para el Ruby inicia a las 5 horas y 05 minutos de haber iniciado la precipitación al sector ingresan caudales cercanos a $33.47 \text{ m}^3/\text{s}$.

La inundación máxima para Villa Hermosa inicia a las 4 horas y 35 minutos de haber iniciado la precipitación al sector ingresan caudales cercanos a $21.77 \text{ m}^3/\text{s}$.

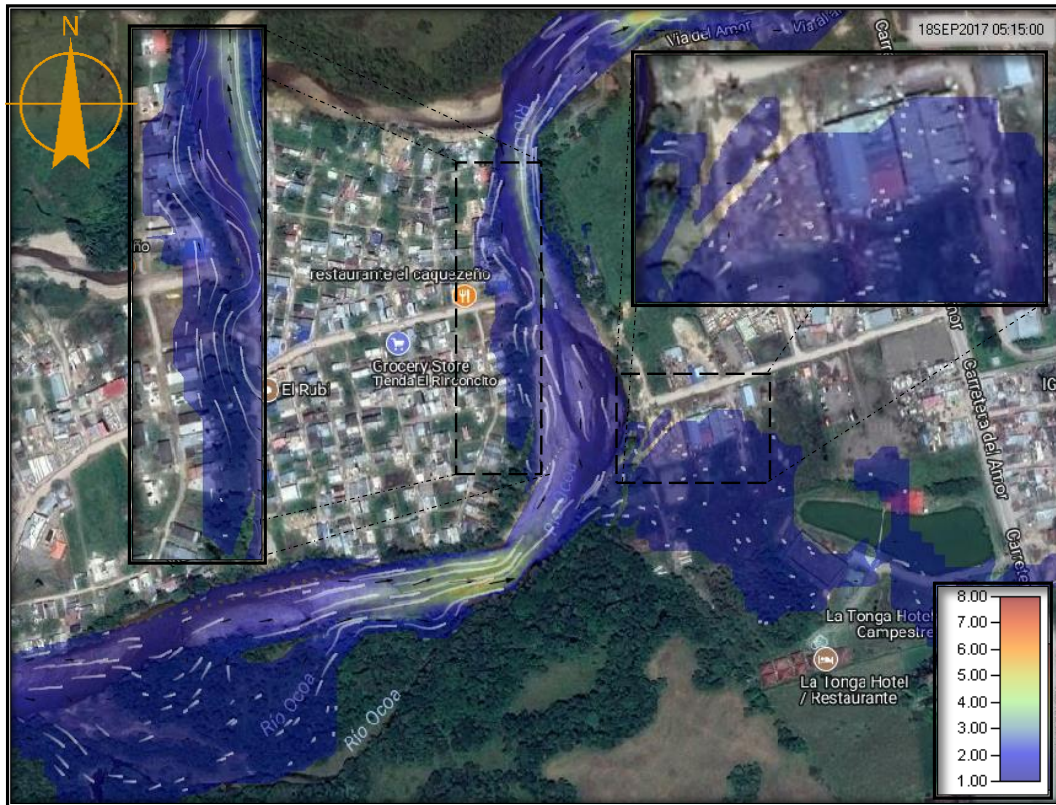


Figura 4-31 Comportamiento y velocidad de flujo inundación El Ruby y Villa Hermosa²⁶ Fuente: SÁNCHEZ ARAGÓN, J.S, Marzo de 2018, por medio de HEC-RAS.

En el Ruby se presenta inundación hacia el costado este mostrado en la Figura 4-31 donde el flujo ingresa a causa del cierre de la curva y de la sección transversal del río lo cual ocasiona que el agua golpee las estructuras con una velocidad de 0.2m/s iniciando hasta 0.7m/s a lo largo de toda la riberia hasta finalizar El Ruby

En el barrio Villa Hermosa presenta inundaciones a causa del fuerte cambio de dirección donde como se observa en la Figura 4-32 antes de la curva las velocidades varían entre los 4 m/s, sin embargo al momento de producirse la intromisión dentro del barrio el agua no alcanza velocidades superiores en las zonas de vivienda superiores a 0.35 m/s. Las viviendas alcanzadas son muy pocas para este barrio.

²⁶ Tomado de Google Earth el 21/03/18

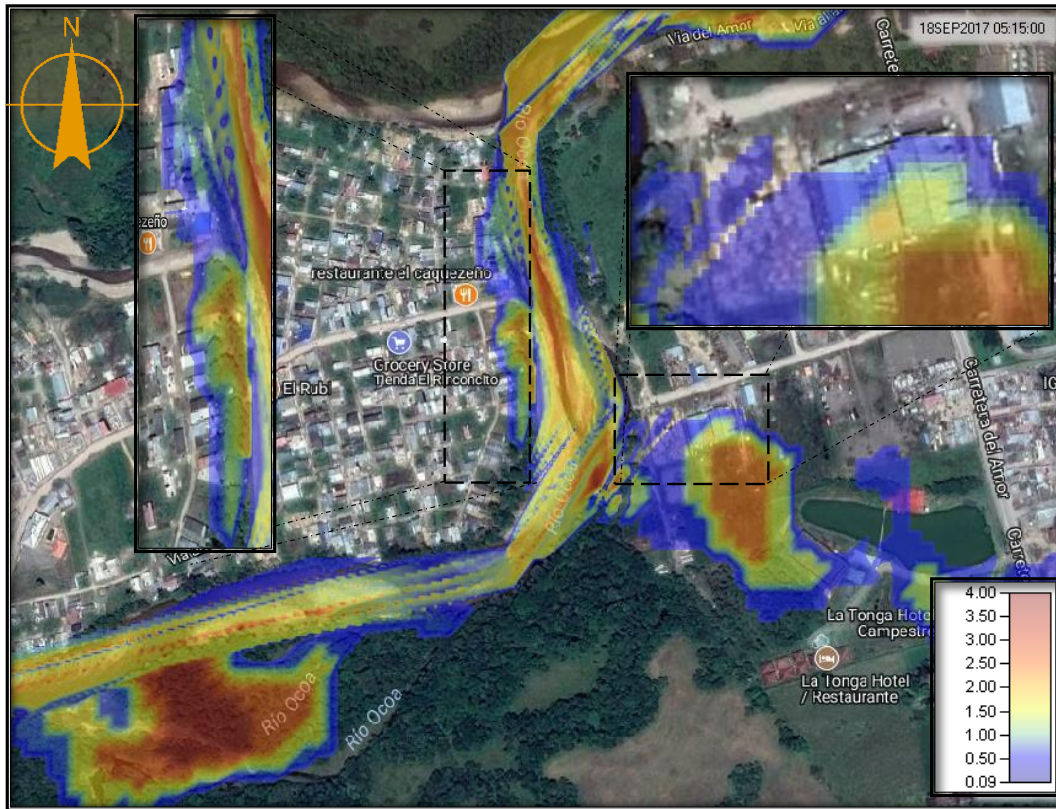


Figura 4-32 Profundidades de Inundaciones el Ruby y Villa Hermosa²⁷. Fuente: SÁNCHEZ ARAGÓN, J.S, Marzo de 2018.por medio de HEC-RAS.

La actividad del flujo descrito anteriormente para El Ruby ocasiona inundaciones donde el agua presenta niveles de hasta 0.7 m sobre el terreno, lo cual sumado a las velocidades y la débil infraestructura que evidencia el lugar donde algunas muestran su edificación en materiales como zinc y madera hacen que el riesgo para la zona demarcada por inundación en El Ruby sea de importante consideración.

Para el barrio Villa Hermosa la inundación producida por el cruce a pesar de no llevar grandes velocidades dentro de su sector urbanizado, si presenta en zonas específicas alturas máximas de hasta 1.4 m/s, debido a la topografía del terreno el agua corre por escorrentía hacia el sur-este.

El Ruby presenta en más del 2/3 de la inundación profundidades menores a 1m, sin embargo hay un fuerte 25% donde se alcanzan profundidades de hasta 1.5m.

²⁷ Tomado de Google Earth el 21/03/18

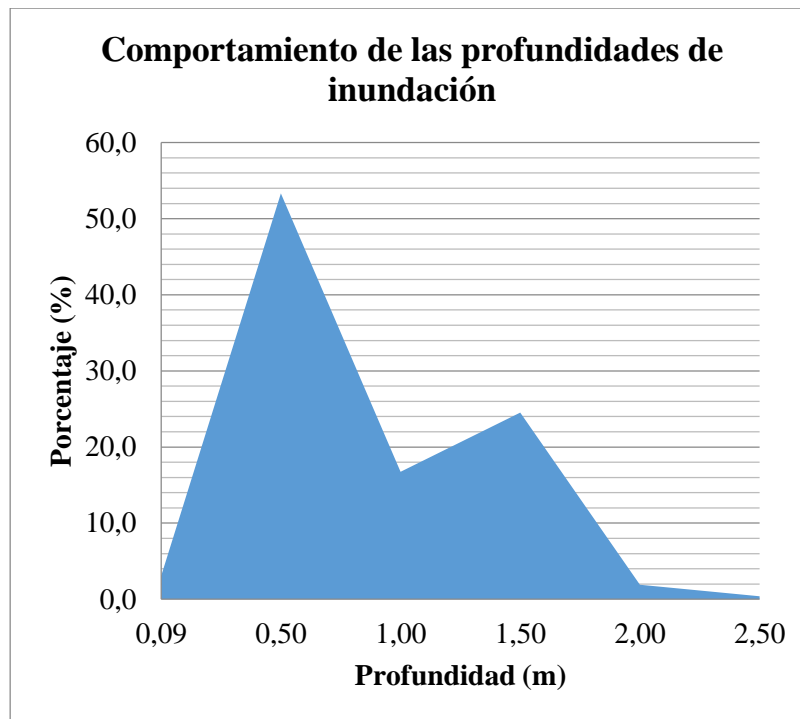


Figura 4-33Profundidades barrio El Ruby. Fuente: SÁNCHEZ ARAGÓN, J.S, Marzo de 2018.

Las inundaciones esperadas para la población de Villa Hermosa no presenta profundidades en general superiores a 1.5m (a excepción de un 5%), las áreas de inundación para cada clasificación son variables entre 18% hasta 29%.

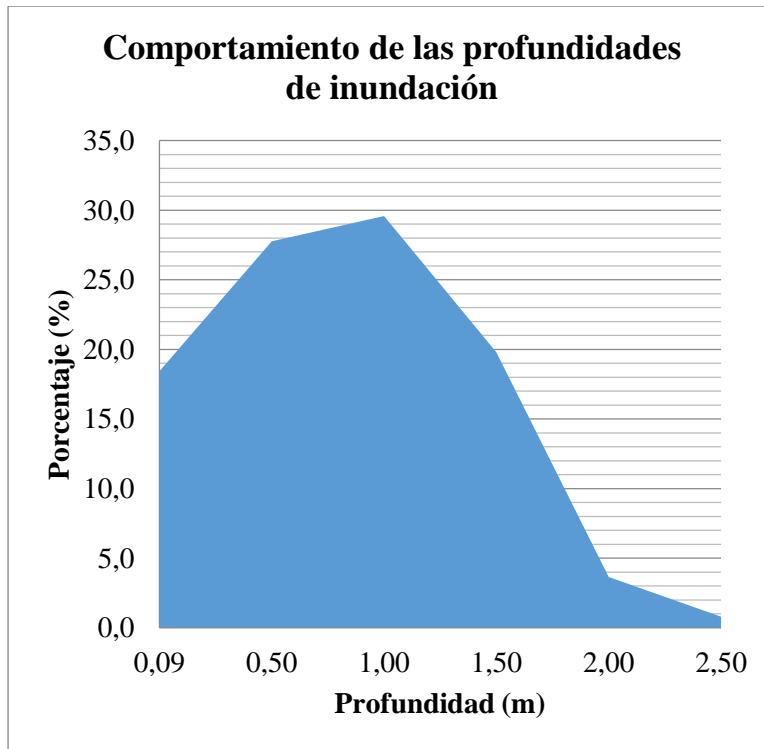


Figura 4-34 Profundidades barrio Villa Hermosa. Fuente: SÁNCHEZ ARAGÓN, J.S, Marzo de 2018.

4.1.4.3.3 San Cayetano y Puente Caído.

La inundación máxima para el Ruby inicia a las 3 horas y 30 minutos de haber iniciado la precipitación al sector, los caudales son cercanos a $54.95 \text{ m}^3/\text{s}$.

Estas poblaciones se encuentran cerca a la curva con el puente de nombre Puente Caído, de donde la población en el costado sur obtiene su nombre, y al norte se encuentra San Cayetano, para san Cayetano la zonas inundada corresponde a las más cercanas al río la cual es un negocio de soldaduras al parecer abandonado al lado del puente el cual enfrenta velocidades de hasta 1.8 m/s. Bajo el puente de la vía del amor el río se mueve a velocidades cercanas a los 5.5 m/s

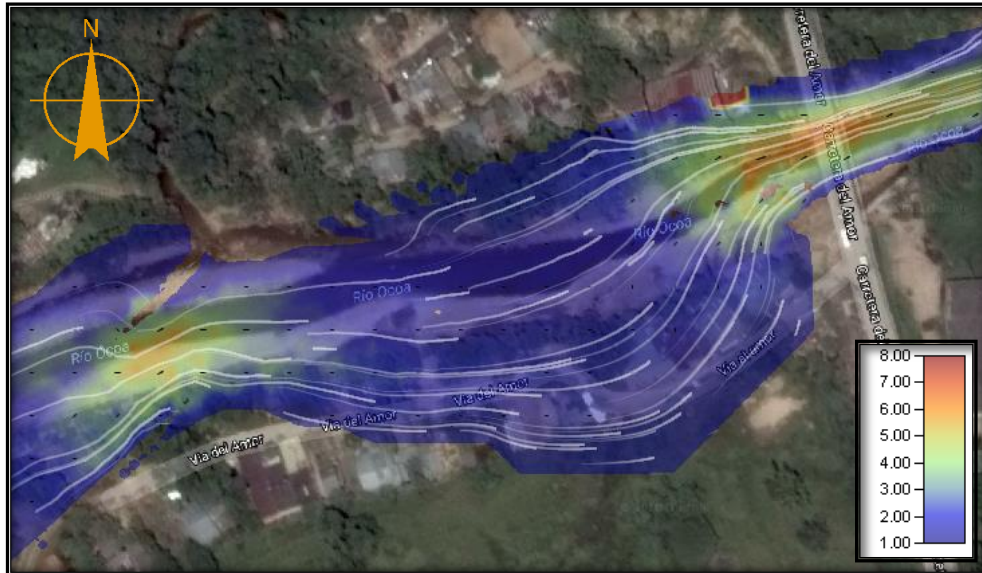


Figura 4-35 Comportamiento y velocidad de flujo Inundación San Cayetano y Puente Caído²⁸. Fuente: SÁNCHEZ ARAGÓN, J.S, Marzo de 2018 por medio de HEC-RAS.

El barrio Puente Caído presenta fuertes inundaciones ocasionadas por velocidades que abarcan los 1.3 m/s promedio, las cuales son ocasionadas por el ingreso del flujo al comienzo del pueblo, por una baja altura al iniciar el barrio hacia el oeste del lugar, bajo el río no se presentan posibles riesgos gracias a estructuras de contención Figura 4-35



Figura 4-36 Barrio Puente Caído a la riberia del río Ocoa. Fuente: SÁNCHEZ ARAGÓN, J.S, Marzo de 2018.

²⁸ Tomado de Google Earth el 21/03/18

Modelación hidráulica del río Ocoa para la identificación de zonas de inundación dentro del casco urbano del municipio de Villavicencio, desde el barrio Porfía hasta Kirpas

El asentamiento se encuentra en un lugar donde lo rodean grandes alturas hacia el este por la vía del amor y al sur por una alturas superiores del terreno al que tienen las viviendas lo que evita escorrentía hacia los costados obligando al flujo de agua que la inunda a volver a su cauce natural.

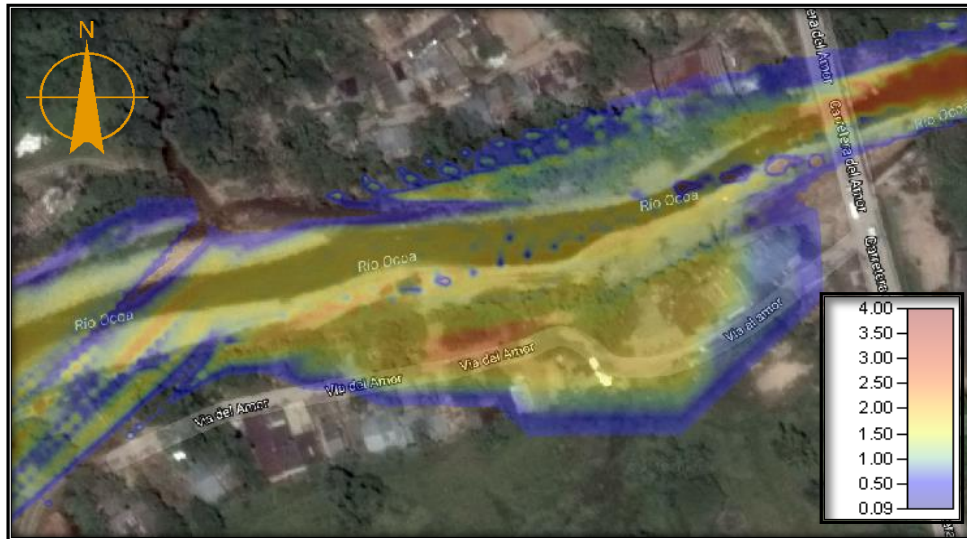


Figura 4-37 Profundidades de Velocidades San Cayetano y Puente Caído²⁹. Fuente: SÁNCHEZ ARAGÓN, J.S, Marzo de 2018 por medio de HEC-RAS.

Respuesta del encierro natural al que se somete esta población por las alturas a sus costados este y sur, la población no tiene un drenaje adecuado más que el mismo río Ocoa hacia el norte lo que desemboca en inundaciones con alturas promedio de 1.5m a 1.7m.

²⁹ Tomado de Google Earth el 21/03/18

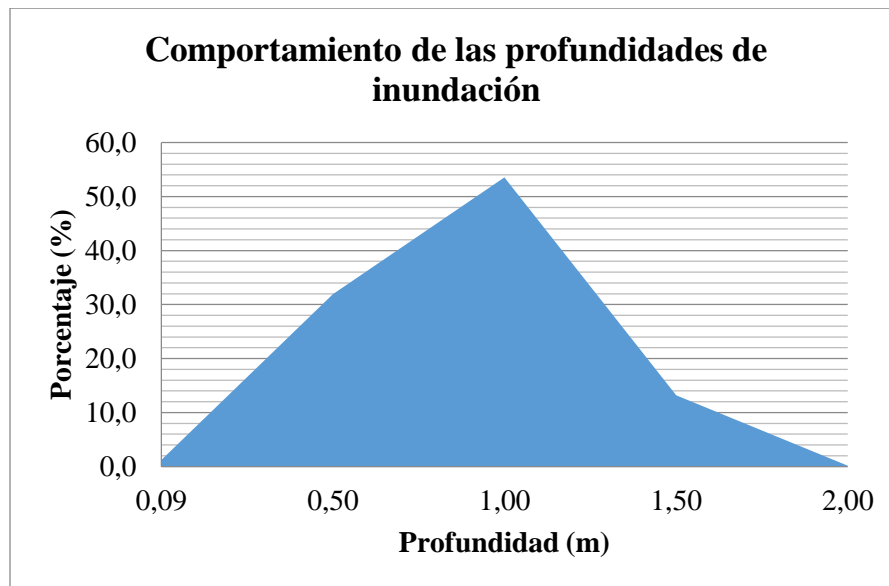


Figura 4-38Profundidades barrio San Cayetano. Fuente: SÁNCHEZ ARAGÓN, J.S, Marzo de 2018.

La población de San Cayetano muestra un área de inundación mínima, presentada a las estructuras que se encuentran a los costados del puente donde el agua alcanza profundidades superiores a 1m, dentro de la zona de más contacto con viviendas las profundidades no son mayores a 0.5m.

Puente Caído se identifica como uno de los poblados en donde en relación a su % de profundidad evidencia una alta vulnerabilidad a causa de la topografía del terreno expuesta anteriormente lo que ocasiona un 46% de inundación que llega hasta los 2 metros de profundidad, la amenaza sigue latente con un 38% que supera los 0.5m hasta 1.5 máximos.

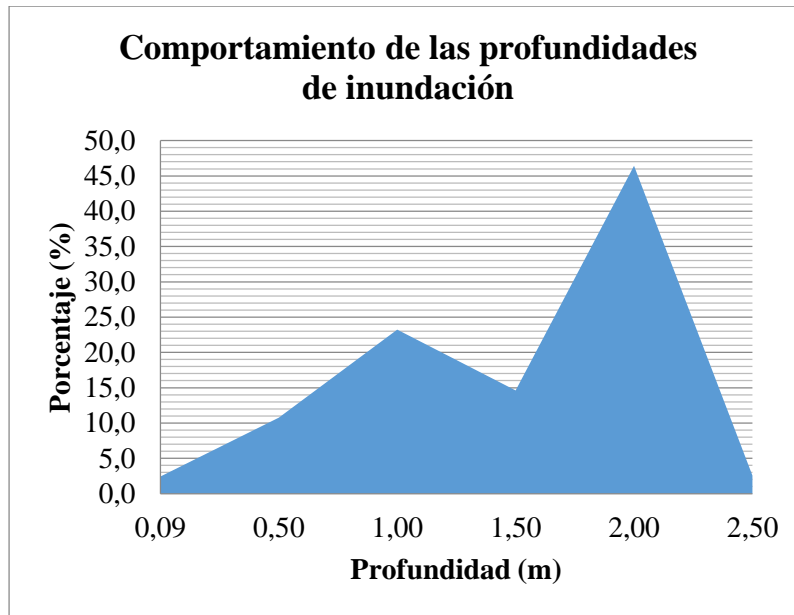


Figura 4-39 Profundidades barrio Puente Caído. Fuente: SÁNCHEZ ARAGÓN, J.S, Marzo de 2018.

4.1.4.4. Tramo C (Puente Caído-Puente Ocoa):



Figura 4-40 Inundación tramo C (A) 100 años de retorno (B) 50 años de retorno³⁰. Fuente: SÁNCHEZ ARAGÓN, J.S, Marzo de 2018 por medio de HEC-RAS.

En este sector se comienzan a evidenciar un mayor número de curvas, se pueden encontrar dos ubicaciones de interés la primera curva después de Puente Caído donde se encuentran las poblaciones de Primero de Mayo y Juan Pablo II, la siguiente es después de caño arroz

³⁰ Tomado de Google Earth el 21/03/18

donde se encuentra Casibarito la cual no presenta inundaciones evidentes, el barrio La Rosita por el contrario muestra un área extensa inundada. Finalmente se encuentra Chorillano y La Cecilia donde la segunda es afectada en un único sector.

Analizando ambos periodos de retorno las áreas de afectación para el Barrio Juan Pablo II presentan disminución importante, así también en la profundidad de inundación, el barrio Casibarito no presenta inundación alguna y la Rosita presenta un comportamiento similar, para todos se reducen las profundidades producto de la reducción del caudal para el periodo de retorno.

4.1.4.4.1 Primero de Mayo y Juan Pablo II.

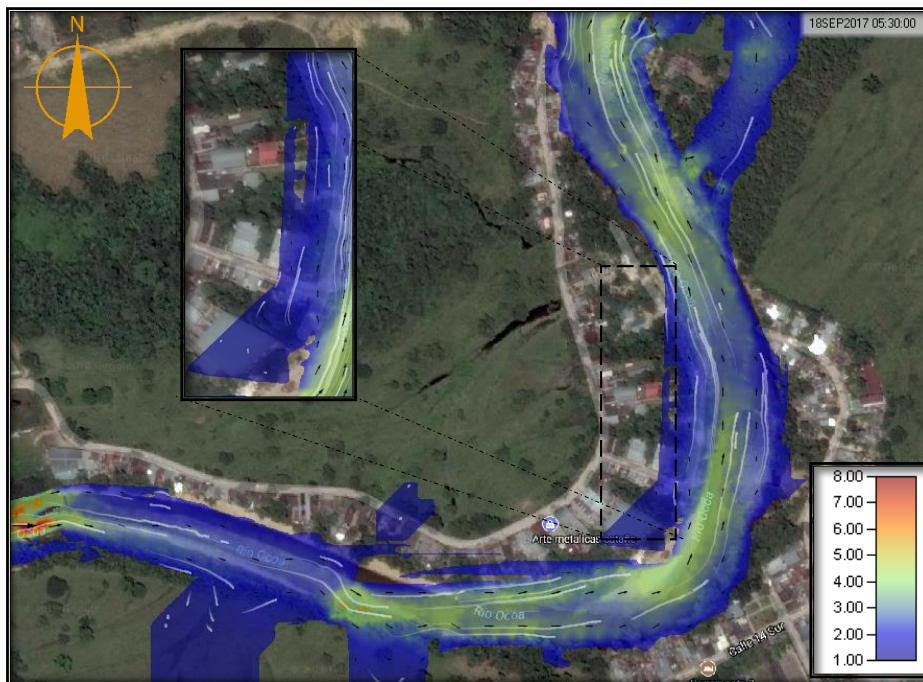


Figura 4-41 Comportamiento y velocidad de flujo inundación Primero de Mayo y Juan Pablo II³¹. Fuente: SÁNCHEZ ARAGÓN, J.S, Marzo de 2018 por medio de HEC-RAS.

La inundación máxima para el Primero de Mayo inicia a las 5 horas y 10 minutos de haber iniciado la precipitación al sector, los caudales son cercanos a $18.4 \text{ m}^3/\text{s}$

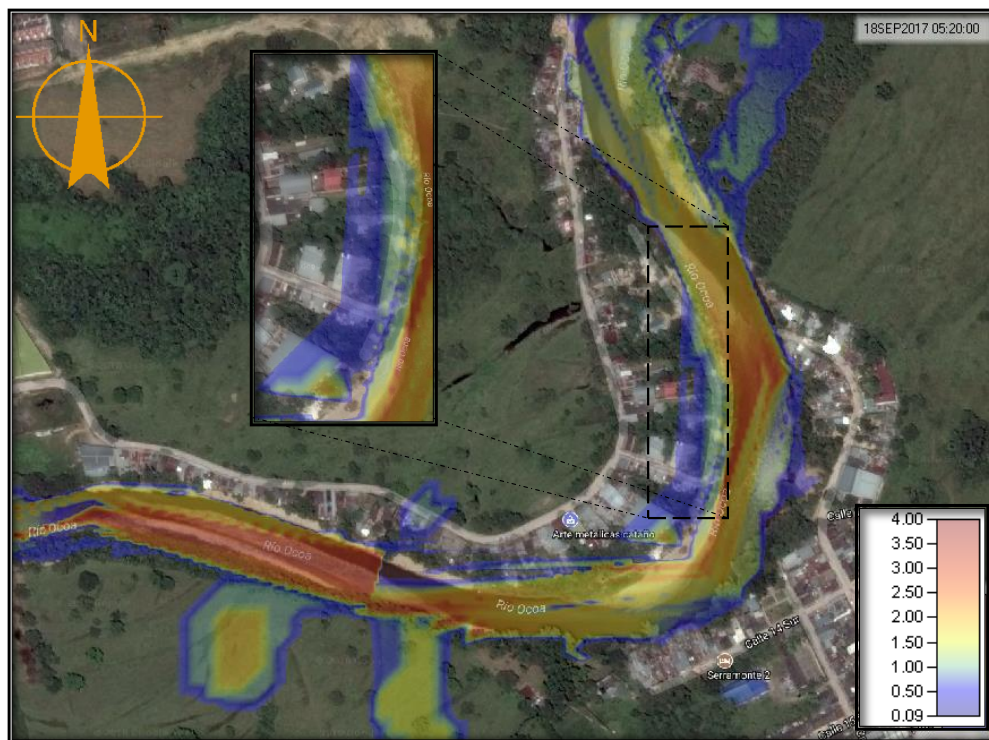
³¹ Tomado de Google Earth el 21/03/18

Modelación hidráulica del río Ocoa para la identificación de zonas de inundación dentro del casco urbano del municipio de Villavicencio, desde el barrio Porfía hasta Kirpas

La inundación máxima para el Juan Pablo II inicia a las 4 horas y 35 minutos de haber iniciado la precipitación al sector, los caudales son cercanos a $18.25 \text{ m}^3/\text{s}$

Para el barrio Juan Pablo II hacia el costado este del río, no se presenta intrusión del agua a más de 5 metros en el terreno con velocidades rodean los 1.7 m/s al borde de la banco este del río.

Por otro lado el barrio Primero de Mayo si presenta inundaciones debido a que el agua comienza la curva con velocidades circundantes a los 5 m/s lo que hace que el agua se recueste hacia el lado interno de la curva esto tiene repercusiones al momento de ingresar a la curva donde se presenta desbordamiento en general dentro de la riberas del barrio en el centro de la curva hasta finalizarla el agua recorre por los asentamientos inundados a una velocidad de 0.6 m/s en promedio.



**Figura 4-42 Profundidades de inundación Primero de Mayo y Juan Pablo II³².
Fuente: SÁNCHEZ ARAGÓN, J.S, Marzo de 2018 por medio de HEC-RAS.**

³² Tomado de Google Earth el 21/03/18

El barrio primero de mayo muestra inundaciones después de la mitad de la curva con profundidades máximas de 0.2 metros. El cierre del meandro es el causante de los cambios del agua tal como su fuerza de inercia al momento de ingresar a la curva y al momento de salir.



(A)

(B)

Figura 4-43 (A) Primero de Mayo, (B) Juan Pablo II. Fuente: SÁNCHEZ ARAGÓN, J.S, Marzo de 2018.

Observaciones en campo permiten determinar que las viviendas se encuentran a un margen del banco del río de 15 a 20 metros.

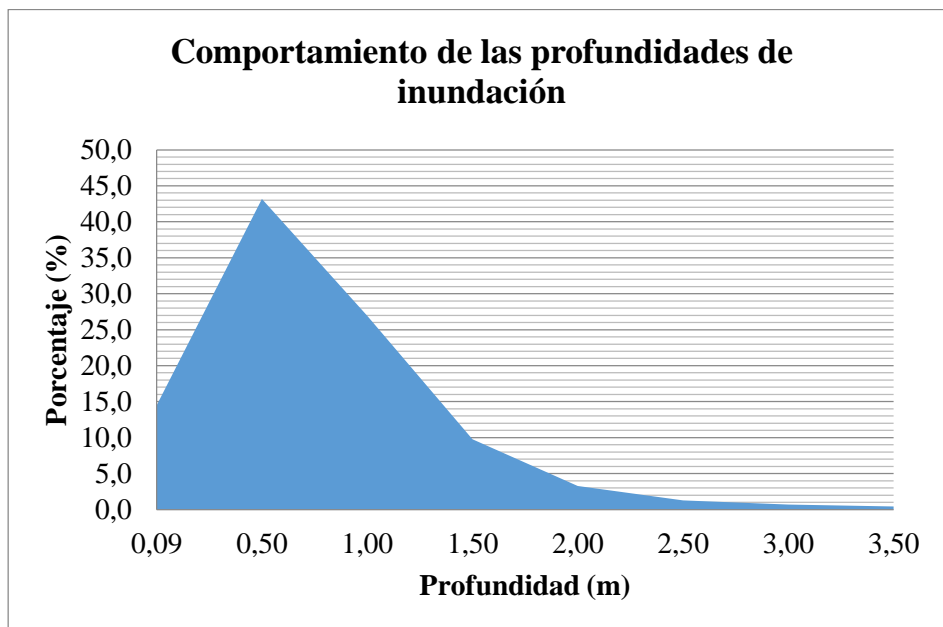


Figura 4-44 Profundidades barrio Primero de Mayo. Fuente: SÁNCHEZ ARAGÓN, J.S, Marzo de 2018.

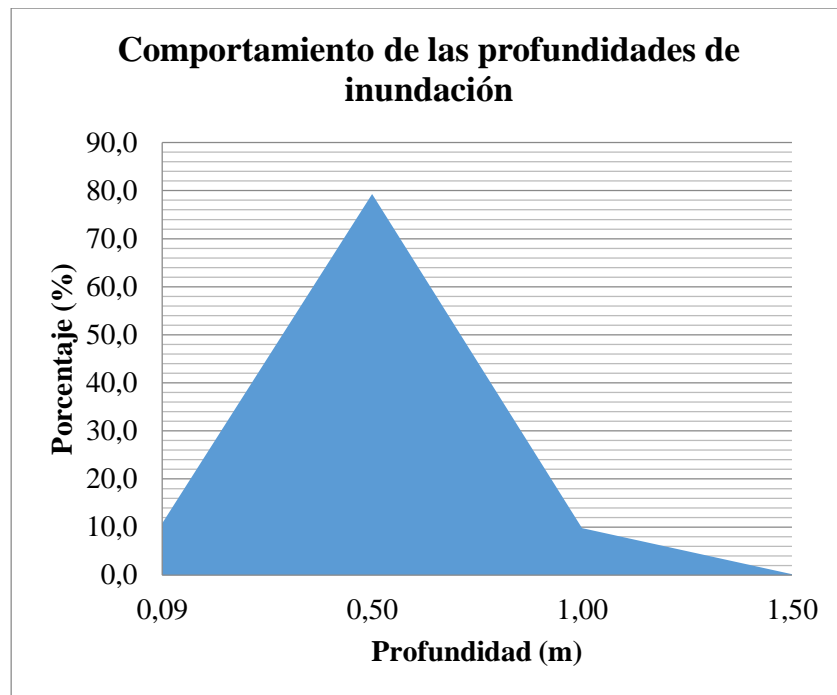


Figura 4-45 Profundidades barrio Juan Pablo II. Fuente: SÁNCHEZ ARAGÓN, J.S, Marzo de 2018.

El nivel de amenaza en general para el barrio Juan Pablo no es tan notable como las demás poblaciones al en general no superar los 0.5m de profundidad, con tan solo 10% del área que alcanza el 1m de profundidad.

4.1.4.4.2 La Rosita y Casibarito

La población en principal contacto con el río es La Rosita, mientras que Casibarito se encuentra a un aproximado de 88 metro del lugar por lo cual la inundación tiene poca área de afectación, por lo cual se centrará el análisis en La Rosita.



Figura 4-46 Viviendas a la rivera del río Ocoa en La Rosita. Fuente: SÁNCHEZ ARAGÓN, J.S, Marzo de 2018.

El barrio la Rosita presenta en general el comportamiento mostrado en la Figura 4-46, donde como se evidencia las casas están construidas a un aproximado de 7 metros o menos, en general se encuentran estructuras de contención como gaviones desgastados por el tiempo.

La inundación máxima para La Rosita cerca a la desembocadura de caño buque inicia a las 4 horas y 30 minutos de haber iniciado la precipitación al sector, los caudales son cercanos a $1.4 \text{ m}^3/\text{s}$

La inundación máxima para La Rosita zona centro de la curva inicia a las 4 horas y 45 minutos de haber iniciado la precipitación al sector, los caudales son cercanos a $71.98 \text{ m}^3/\text{s}$

La inundación máxima para La Rosita zona centro de la curva inicia a las 4 horas y 45 minutos de haber iniciado la precipitación al sector, los caudales son cercanos a $71.98 \text{ m}^3/\text{s}$

La inundación máxima para La Rosita zona centro de la curva inicia a las 4 horas y 45 minutos de haber iniciado la precipitación al sector, los caudales son cercanos a $49 \text{ m}^3/\text{s}$

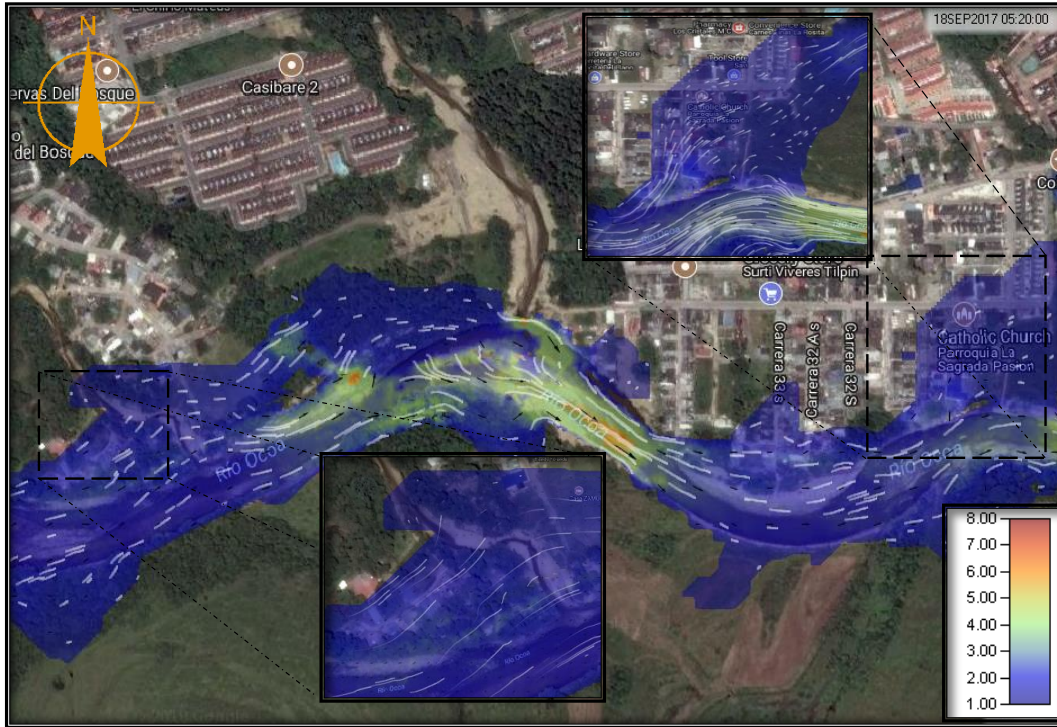


Figura 4-47 Comportamiento y velocidad de flujo inundación barrios Casibarito y La Rosita³³. Fuente: SÁNCHEZ ARAGÓN, J.S, Marzo de 2018, por medio HEC-RAS.

La máxima inundación posible para los barrios Casibarito y La Rosita ocurren 5 horas 20 minutos una vez comenzada precipitación evaluada. La población del barrio asentamiento subnormal Casibarito presenta un total de una finca cercana a la rivera del río donde el agua avanza a una velocidad de 1 m/s por las estructuras que son alcanzadas en dirección hacia Casibarito donde el agua solo alcanza las viviendas que están más cercanas al río las cuales no exceden más de 5 viviendas observadas en campo las cuales son sometidas a velocidades que no superan en general los 0.25 m/s.

El barrio la Rosita presenta inundaciones inmediatamente después de que caño Buque desemboque en el río Ocoa para el costado norte presenta velocidades de 1m/s, para ingresar a la zona urbana y moverse a una velocidad no mayor a 0.1m/s.

La siguiente área de inundada se observa cuando el flujo en la curva se expande al existir un menor tamaño de paredes interiores lo que evita un escape hacia el costado sur del río Ocoa, con lo cual las viviendas a la rivera, se ven inundadas con velocidades de 1.2 m/s,

³³ Tomado de Google Earth el 21/03/18

Modelación hidráulica del río Ocoa para la identificación de zonas de inundación dentro del casco urbano del municipio de Villavicencio, desde el barrio Porfía hasta Kirpas

disminuyendo a 0.5 m/s hasta reducirse a escorrentía.

Finalizando la zona a la rivera del barrio La Rosita el agua ingresa antes de la mitad de la curva hacia la urbanización cercana a la parroquia sagrada pasión con velocidades de 1.2 m/s para disminuir hasta llegar a 0.18m/s al norte de la inundación resaltada para este barrio en la Figura 4-48.

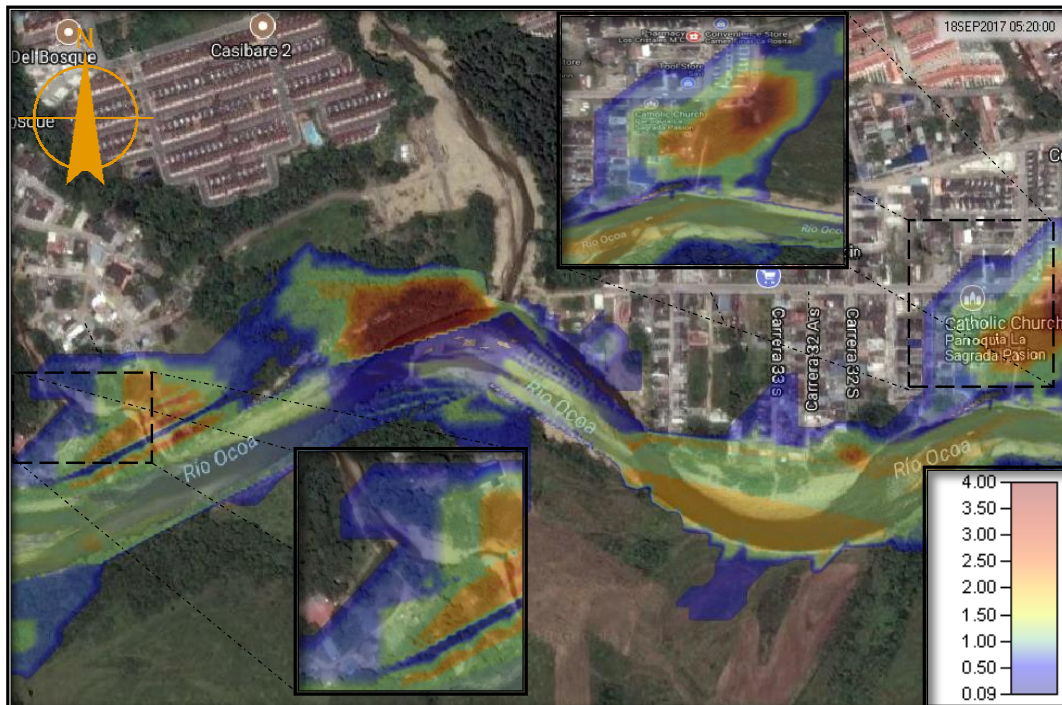


Figura 4-48 Profundidades de inundación Casibarito y La Rosita. Fuente: SÁNCHEZ ARAGÓN, J.S, Marzo de 2018, por medio HEC-RAS.

El anterior comportamiento del río descrito deja como resultado $18737m^2$ inundados en Casibarito lo cual es una pequeña parte, sin embargo deja entrevisto la necesidad de evitar la expansión de construcción en las áreas más cercanas al río Ocoa, ya que como lo muestra la Figura 4-48 las profundidades después de la vivienda a pesar de estar a más de 80 metros de la banca del río están desde los desde 1.7m hasta 3.4m a medida que se acerca al río. Por otra parte las estructuras dentro de la finca se encuentran casi en su totalidad cubiertas por el agua con profundidades promedio de 0.8m.

El área directamente inundada después de caño Buque presenta profundidades promedio menores a 0.7m, que sumadas a las velocidades hacen que no exista un riesgo de tan

importante análisis, al no existir estructuras cercanas, ni tener un área de contacto como el de las siguientes.

Para la inundación presentada en el centro de la curva en La Rosita se evidencian inundaciones que van desde 2.3m de profundidad disminuyendo hacia el norte donde se mantiene en 0.3m para finalmente detenerse.

La inundación acontecida al final de la curva de La Rosita, presenta un comportamiento en el cual las zonas ubicadas hacia el oeste presentan menor profundidad aumentando hacia el este con profundidades que alcanzan los 2.8 m, en general los niveles del agua presentados varían entre 1 a 1.7 metros de profundidad.

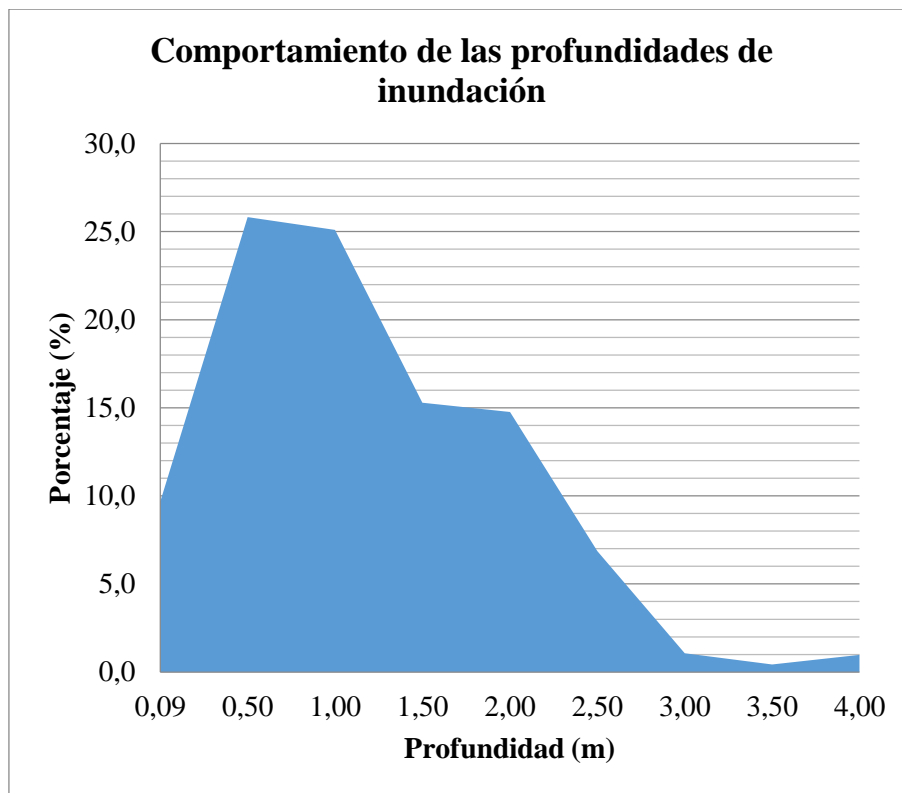


Figura 4-49Profundidades barrio La Rosita. Fuente: SÁNCHEZ ARAGÓN, J.S, Marzo de 2018.

La Rosita presenta una de las áreas de inundación más grandes de la investigación, de las cuales el 36% presentan profundidades menores a 0.5m, un 40% son zonas inundadas superiores a 1m y menores a 1.5m, para elevaciones mayores a 2m se tienen un 22% del área total inundada.

4.1.4.4.3 Chorillano y La Cecilia.

El punto de partida de estos barrios es el Puente del Ocoa el cual gracias a sus obras de contención favorecen las viviendas de la Cecilia que se encuentran inmediatamente aguas arriba de este al costado este del río lo cual no ocurre con las viviendas que se encuentran aguas abajo.



Figura 4-50 Vivienda La Cecilia Fuente: SÁNCHEZ ARAGÓN, J.S, Marzo de 2018.

En la Figura 4-50 se representa la altura que tienen varias viviendas respecto a la banca y cercanía al río las viviendas con 2 metros en altura del río Ocoa y a menos de 4 metros de él en planta, esto ocurre después la estructura en concreto que se encarga de evitar la socavación al costado sur del puente.

El barrio conocido como Chorillano no presenta viviendas en la cercanía al río a menos de 40 metros los cuales son de baja visibilidad debido a la alta cubierta vegetal del lugar.

La inundación máxima para La Cecilia zona centro de la curva inicia a las 5 horas y 05 minutos de haber iniciado la precipitación al sector, los caudales son cercanos a $4.58 \text{ m}^3/\text{s}$

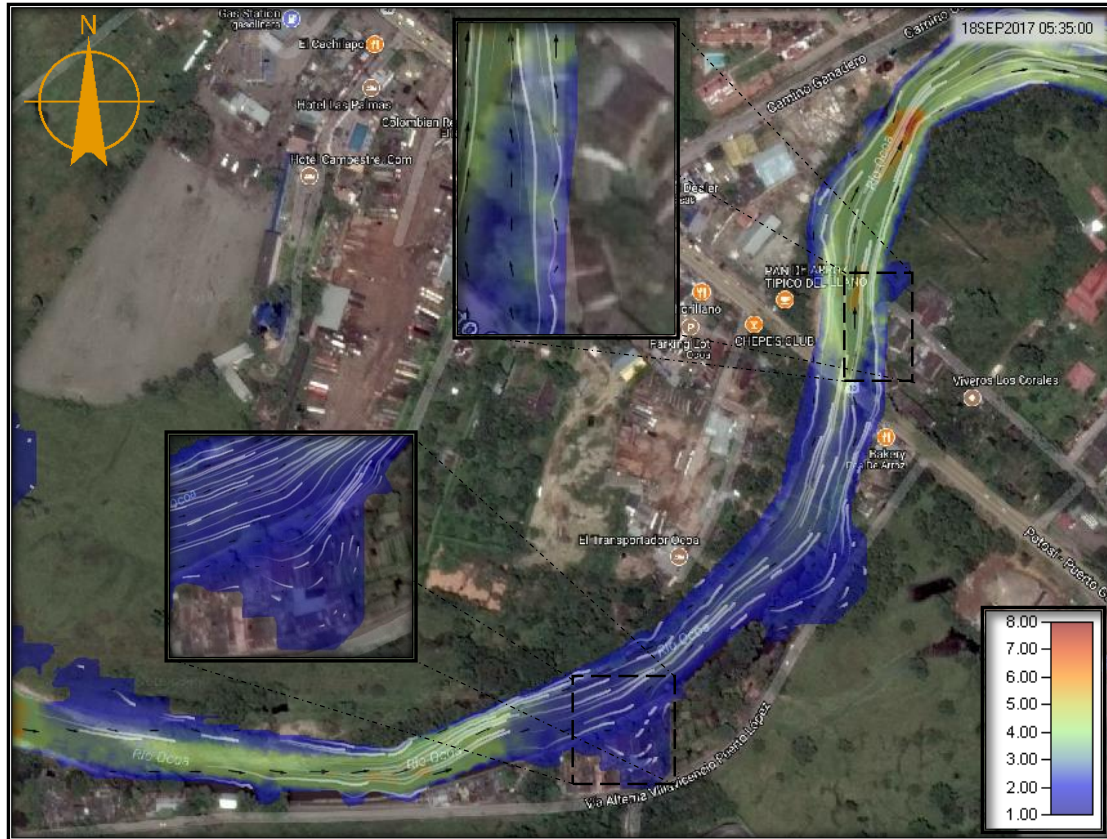


Figura 4-51 Comportamiento y velocidad de flujo inundación inundaciones Chorillano y La Cecilia³⁴. Fuente: SÁNCHEZ ARAGÓN, J.S, Marzo de 2018, por medio HEC-RAS.

Comenzando el barrio La Cecilia el río Ocoa se fluye con velocidades cercanas a los 3m/s, lo cual junto con la fuerza de inercia a causa de la curva alcanzan a desbordar el río en el área resaltado en la Figura 4-51 sobre el muro en concreto ciclópeo que allí se encuentra, el flujo que inunda la zona se mueve a una velocidad máxima de 0.3 m/s, en este punto se tiene en cuenta que la vía alterna a Puerto López presenta alturas superiores a las de las viviendas lo que evita un escape hacia el sur, este y oeste del lugar por lo cual las aguas tienden a drenar hacia el río Ocoa.

La zona resaltada cercana al puente del Ocoa de la Figura 4-52 resalta a un conjunto de viviendas que se encuentran muy cercanas al puente y que están por debajo su Galibo motivo por el cual el río llenarse en esta sección representa grave riesgo para un

³⁴ Tomado de Google Earth el 21/03/18

Modelación hidráulica del río Ocoa para la identificación de zonas de inundación dentro del casco urbano del municipio de Villavicencio, desde el barrio Porfía hasta Kirpas

aproximado de 3 viviendas que se encuentran en el lugar.

El barrio Chorillano no muestra riesgo alguno respecto posible inundación de zonas urbanizadas. La mayor zona de riesgo presente es en la curva donde anteriormente se presentó invasión del río sin embargo hoy día cuenta con obras de mitigación del riesgo.

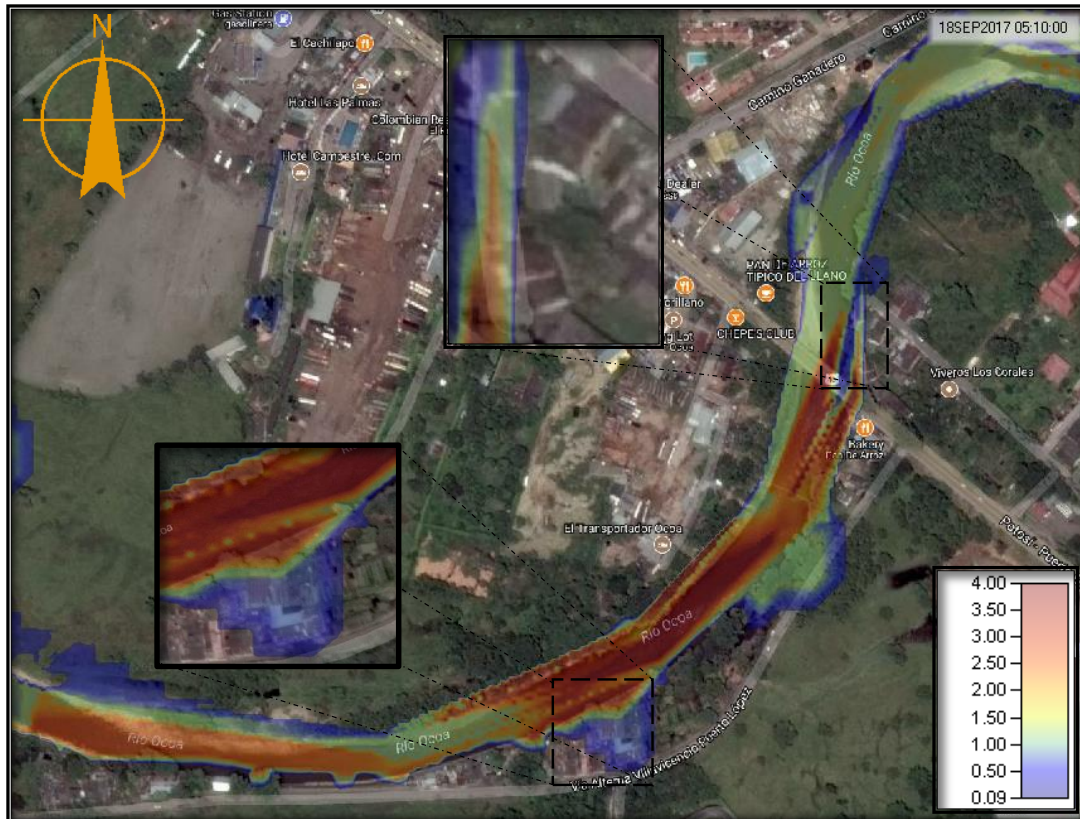


Figura 4-52 Profundidades de Chorillano y La Cecilia. Fuente: SÁNCHEZ ARAGÓN, J.S, Marzo de 2018, por medio HEC-RAS.

Concluyendo Chorillano no presenta inundación urbana, La Cecilia presenta dos zonas, la primera en la vía alterna a Pto López, donde la inundación presenta valores promedio con muy baja desviación de 0.9m, lo cual teniendo en cuenta las bajas velocidades ratifica que el lugar se encuentra cerrado a un drenaje apropiado en caso de inundación.

La segunda zona inundada de la Cecilia, es una zona de alto riesgo debido a que las viviendas se encuentran debajo del galibo del río Ocoa, esto las expone a inundaciones de hasta 2 metros de altura, destacando que en el sitio las viviendas se encontraron con fuerte presencia de humedad, la cual fue resaltada por moho en los muros, y alta humedad en el

suelo durante el trabajo de campo.

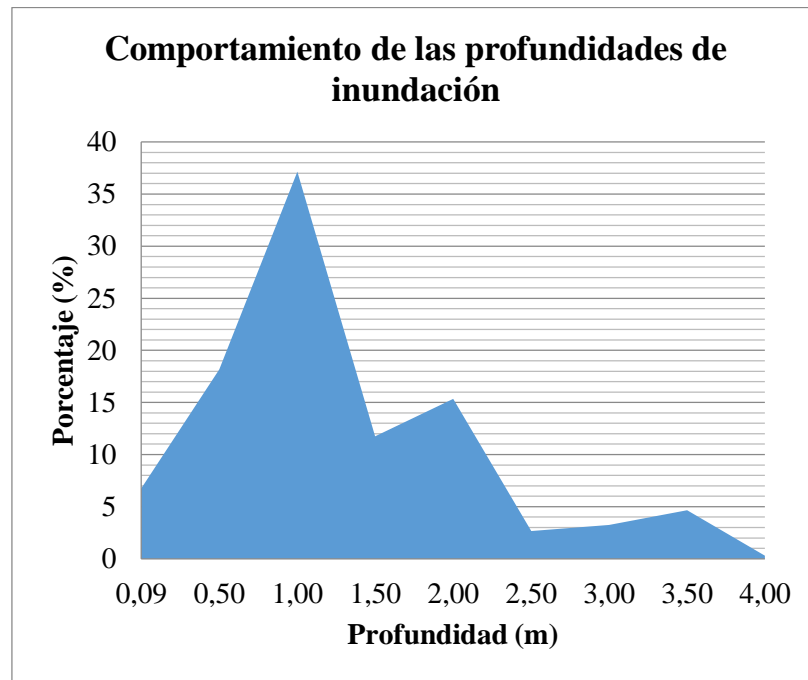


Figura 4-53 Profundidades barrio La Cecilia. Fuente: SÁNCHEZ ARAGÓN, J.S, Marzo de 2018.

Las profundidades más presentes para La Cecilia son de 37% hasta 1m, y un 27% que varían entre 1.5m hasta 2m, siguiendo hasta un 5% que alcanza los 3,5. Este barrio presenta un comportamiento topográfico similar a Puente Caído donde el drenaje es solamente posible por medio del río Ocoa.

4.1.4.5. Tramo D, (Puente Ocoa-Kirpas)



Figura 4-54 Área de inundación tramo D³⁵. Fuente: SÁNCHEZ ARAGÓN, J.S, Marzo de 2018, por medio HEC-RAS.

Al comienzo de este sector se observan estructuras de contención dirigidas a la protección de la banca del camino ganadero Figura 4-54 en su tramo más cercano al río, a lo largo del todo este tramo se identifican estructuras de contención ubicadas por los habitantes del lugar tales como muros en llantas, 1 metro de altura aproximado y el de mayor longitud encontrado en el lugar mide 100 metros de longitud ubicado en la curva antes de llegar al barrio Gaviotas. Para este tramo los barrios más afectados con Cavivir, Acapulco, Triunfadores del Ocoa y Kirpas.

Un importante detalle para el análisis es que este sector tiene los anchos de sección de mayor magnitud, los cuales varían desde 65 a 80 metros a medida que el río se dirige a su desembocadura, paralelo a esto las paredes del río también evidencian menor a medida que se avanza en el trayecto.

³⁵ Tomado de Google Earth el 21/03/18



Figura 4-55 Estructura de contención Camino Ganadero. Fuente: SÁNCHEZ ARAGÓN, J.S, Agosto de 2017.

4.1.4.5.1 Gaviotas

El sector Gaviotas se caracteriza por bajas paredes del río que en general no superan los 2.2 metros las viviendas se encuentran hacia el costado izquierdo del río, las cuales se observan en ocasiones directamente finalizando la banca del río, anotando que se observó la construcción en desarrollo de nuevas viviendas a tener en cuenta.



Figura 4-56 Viviendas a la rivera del río Ocoa barrio Gaviotas. Fuente: SÁNCHEZ ARAGÓN, J.S, Agosto de 2017.



Figura 4-57 Comportamiento y velocidad de flujo inundación Gaviotas³⁶. Fuente: SÁNCHEZ ARAGÓN, J.S, Marzo de 2018, por medio HEC-RAS.

La inundación máxima para Gaviotas iniciando el barrio inicia a las 5 horas y 00 minutos de haber iniciado la precipitación al sector, los caudales son cercanos a $22.19 \text{ m}^3/\text{s}$.

La inundación máxima para Gaviotas iniciando el barrio inicia a las 5 horas y 00 minutos de haber iniciado la precipitación al sector, los caudales son cercanos a $46.49 \text{ m}^3/\text{s}$.

La máxima inundación esperada para Gaviotas se produce a las 5 horas 15 minutos de haber comenzado la precipitación esperada donde tan pronto iniciar el barrio se produce una infiltración debido al cierre de la curva con la que llega el río desbordándose el río con una velocidad variante alrededor de 0.3 m/s , el agua se desborda en una longitud de 100 metros del río, este flujo se mueve a lo largo de la llanura hasta llegar al sector urbano donde la sección se reduce y se mueve a velocidades de 0.9 m/s en dirección al costado izquierdo del río Ocoa donde desemboca.

La segunda zona inundada se presenta al este del barrio Gaviotas donde el ingreso se da al inicio de la curva en el cual las zonas cercanas al poblado presentan velocidades que no superan los 0.1 m/s , con una amplia área de cobertura inundada es evidencia de la importancia de evitar la construcción de viviendas hacia el este de Gaviotas.

³⁶ Tomado de Google Earth el 21/03/18



Figura 4-58 Profundidades de inundación Gaviotas³⁷. Fuente: SÁNCHEZ ARAGÓN, J.S, Marzo de 2018, por medio HEC-RAS.

La primera zona inundada presenta profundidades en las viviendas que varía entre los 0.4 a 0.6 metros, el mayor riesgo que se presenta se debe a que el flujo se dirige hacia el río en su costado sur, más que por las profundidades que allí se evidencian.

Las zonas inundadas al final del barrio no presentan alturas superiores a 0.6 m, sin embargo a tan solo 12 metros en dirección al río las profundidades aumentan hasta 1.6 metros, evidenciando aún más la necesidad de evitar la expansión urbana hacia el este del barrio.

³⁷ Tomado de Google Earth el 21/03/18

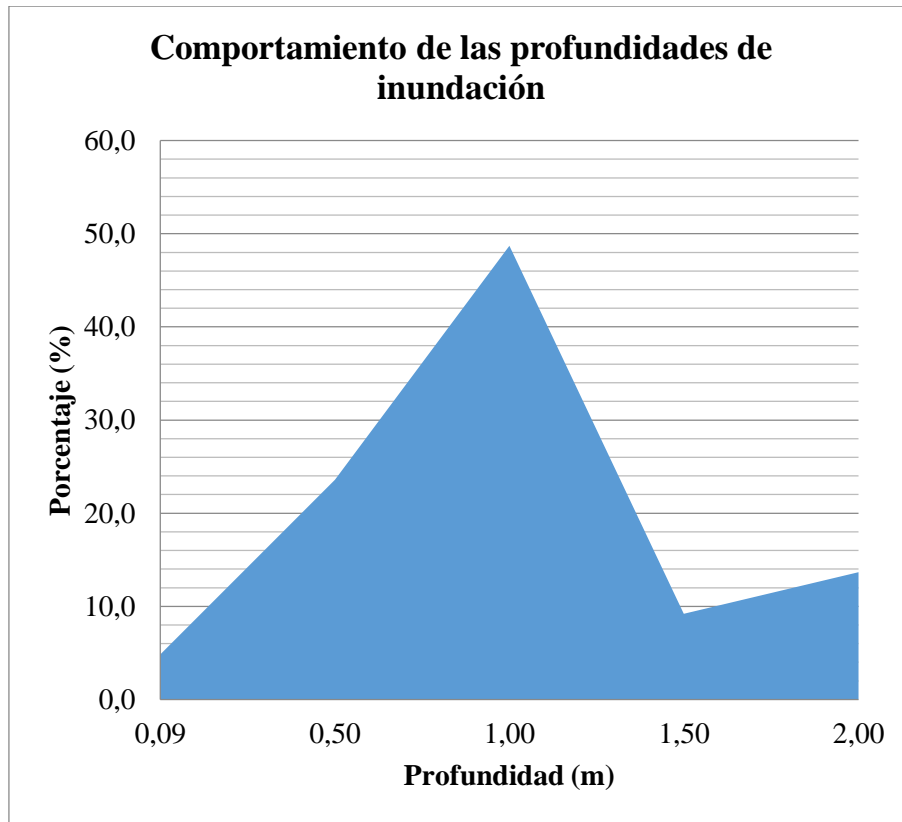


Figura 4-59Profundidades barrio Gaviotas. Fuente: SÁNCHEZ ARAGÓN, J.S, **Marzo de 2018.**

Gaviotas enfrenta profundidades que llegan hasta los 2m en un 14% de su área, el comportamiento promedio es de alturas de hasta 1.5m mayores a 0.5m con un 58%, y el restante inferior a los 0.5m de profundidad.

4.1.4.5.2 Cavivir

El sector del barrio Cavivir cuenta con el meandro más pronunciado de toda la zona estudio, la inundación afecta al barrio Cavivir y unas estructuras metálicas no adaptadas para la habitabilidad al costado interior de la curva jurisprudencia de la vereda La Cecilia. A lo largo de esta curva se encuentran estructuras de protección como gaviones y muros en llantas instaladas por los mismos lugareños.



Figura 4-60 zona interna curva barrio Cavivir. Fuente: SÁNCHEZ ARAGÓN, J.S, Febrero de 2018.

La estructura ha sido afectada por el río Ocoa en ocasiones anteriores en su estructura, donde las aguas superan el nivel del terreno en la curva, adicionalmente se indica que la estructura es no visitada con frecuencia con lo cual el riesgo por daños humanos no es perceptible de ser estudiado.

En cuanto al exterior de la curva donde se encuentra el barrio Cavivir el lugar también ha presentado daño a las estructuras de las viviendas, las cuales han sido nuevamente construidas, se evidencian gaviones en piedra y muros en llantas al interior del río en el punto inicial del centro de la curva.



Figura 4-61 zona externa curva barrio Cavivir. Fuente: SÁNCHEZ ARAGÓN, J.S, Febrero de 2018, por medio HEC-RAS.

Según los pobladores el punto de más frecuente inundación es al final del barrio donde se observaron un alto conjunto de llantas puestas a lo largo de la vivienda, lo cual indicaron ha sido reducido en su tamaño a causa del río.

El río sigue el comportamiento mostrado en la figura 4-61 en la cual se evidencia como al interior de la curva la inundación se produce a causa de la inercia al momento de iniciar el meandro, lo cual recuesta sus aguas, produciendo el desbordamiento del río a velocidades de 0.7 m/s lo cual a pesar de ser negativo para la estructura que allí se encuentra permite que el río descargue parte de su caudal disminuyéndolo mitigando la inundación que se produce en el barrio Cavivir.

La inundación máxima para Cavivir iniciando el barrio inicia a las 5 horas y 25 minutos de haber iniciado la precipitación al sector, los caudales son cercanos a $6.05 \text{ m}^3/\text{s}$.

La inundación máxima para Cavivir cerca al Lote Kirpas inicia a las 5 horas y 10 minutos de haber iniciado la precipitación al sector, los caudales son cercanos a $32.49 \text{ m}^3/\text{s}$.

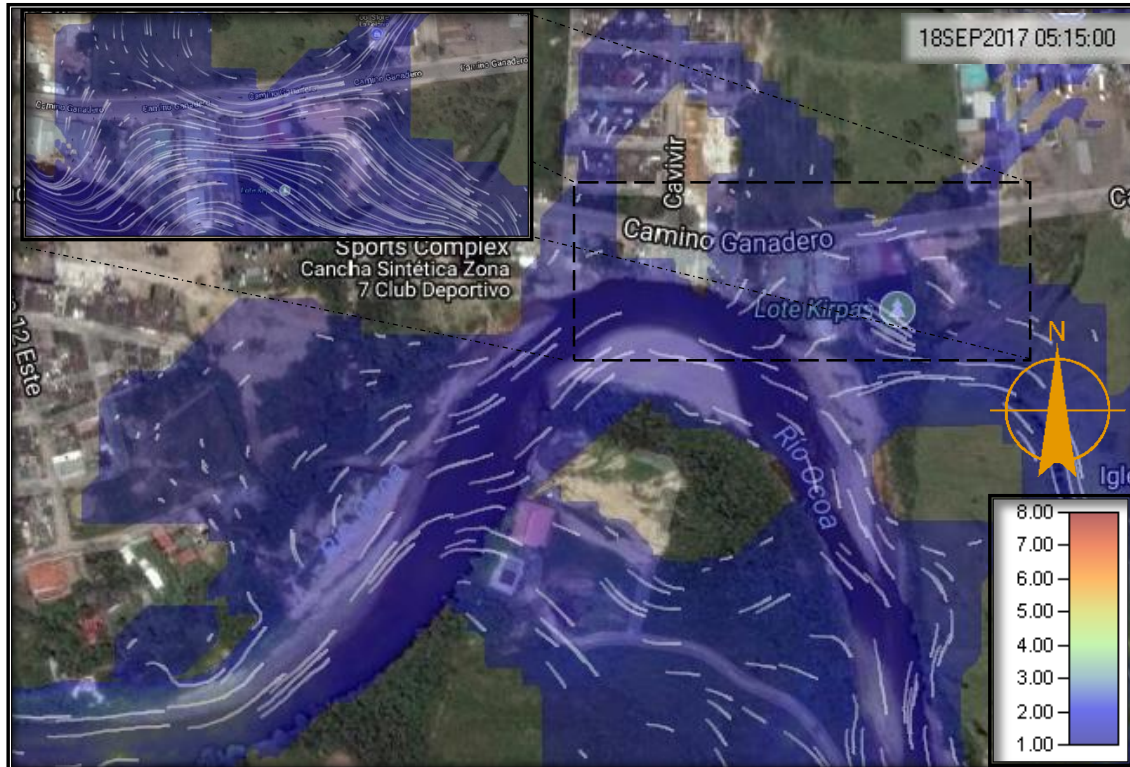


Figura 4-62 Comportamiento y velocidad de flujo barrio Cavivir³⁸. Fuente: SÁNCHEZ ARAGÓN, J.S, Marzo de 2018, por medio HEC-RAS.

En el centro de la curva ocurren dos desbordamientos de importante análisis el primero se presenta iniciando el centro de la curva ocasionada por el recostar del flujo hacia el costado izquierdo del río con velocidades próximas a 1 m/s, fluyendo a través del área Figura 4-62 a 0.2 m/s promedio, donde debido a la topografía del terreno escurre hacia el este del barrio en dirección al Camino Ganadero.

Finalizando el centro de la curva se presenta el segundo desbordamiento el cual afecta a todas las viviendas que se encuentran cercanas al Camino Ganadero hacia su costado sur en este barrio, la zona en la que se presenta la inundación concuerda con lo expuesto anteriormente con los habitantes del lugar, el nivel del agua alcanza a pasar sobre el Camino Ganadero, esta estructura desvía el flujo hacia el este con velocidades que rondan los 0.3 m/s ocasionando que se dirija al este hacia los terrenos sin urbanizar dirección al barrio Acapulco.

³⁸ Tomado de Google Earth el 21/03/18

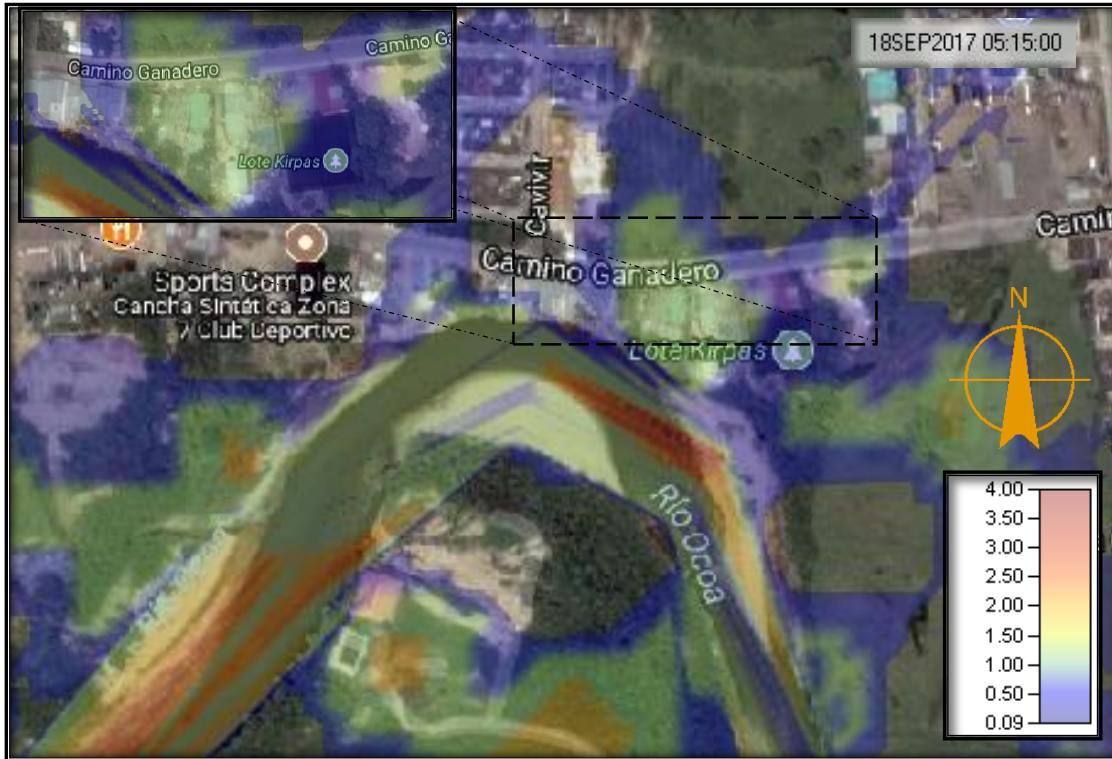


Figura 4-63 Profundidad de inundación barrio Cavivir³⁹. Fuente: SÁNCHEZ ARAGÓN, J.S, Marzo de 2018, por medio HEC-RAS.

Lo anterior produce inundaciones con profundidades que para las estructuras de la vereda La Cecilia presentan valores de profundidad en general de 1.8 m hasta 2.5 m.

En cuanto a la primera inundación presentada antes de que el flujo se encuentra con la vía causando retención presenta profundidades desde 0.5m a 1.2 m, mientras que después de la vía las profundidades que tienden a 0.4 metros.

La vía del camino ganadero causa una acumulación de flujo en las viviendas que se encuentran cerca ocasionando profundidades que tienden en general a 1.5 m, la cual va disminuyendo a medida que el flujo se drena hacia el barrio Acapulco.

Como conclusión a este punto relatar la importancia de su investigación profunda debido a que ya se ha inundado en eventos de alta precipitación en el municipio el año pasado durante el mes de mayo y hace 2 años durante el fenómeno de la niña, y el estudio realizado ratifica lo acontecido.

³⁹ Tomado de Google Earth el 21/03/18

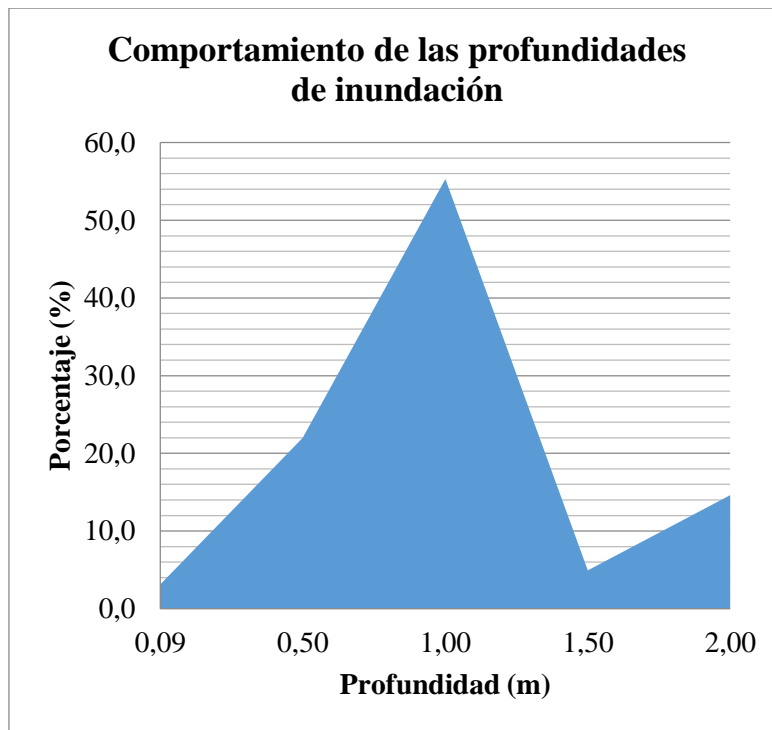


Figura 4-64 Profundidades barrio Cavivir. Fuente: SÁNCHEZ ARAGÓN, J.S, Marzo de 2018.

El comportamiento en la inundación de Cavivir es similar al de Gaviotas donde predomina de inundación es de profundidades que van desde los 0.5 hasta 1m, con elevaciones que no superan los 2m, y un 25%, de profundidades menores a 0.5m.

4.1.4.5.3 La Sabana, La Carolina, Triunfadores del Ocoa.

Una vez terminado el meandro del barrio Cavivir se hace de mayor relevancia observar el comportamiento del río Ocoa donde los caudales que lleva no son sostenidos por las bajas paredes del río a pesar de su ancho de sección que varía hacia los 60 a 70 metros en sus tramos más anchos. Esto produce que parte de los caudales que recoge el río se desvíen, producto de las bajas paredes y los cambios de velocidad, esto es fuertemente observado en este sector donde las inundaciones presentan fuertes áreas de afectación.



Figura 4-65 Viviendas en tramo final Kirpas. Fuente: SÁNCHEZ ARAGÓN, J.S, Febrero de 2018.

La Figura 4.1.4.3-1 es muestra de las paredes del río las cuales no superan los 1.5m del río Ocoa respecto a su nivel en la rivera de los barrios La Sabana, Triunfadores del Ocoa, Villa Samper y Kirpas.

La inundación máxima para La Sabana en dirección al camino Ganadero iniciando el barrio inicia a las 5 horas y 35 minutos de haber iniciado la precipitación al sector, los caudales son cercanos a $4.22 \text{ m}^3/\text{s}$.

La inundación máxima para La Carolina calle 24 sur inicia a las 5 horas y 50 minutos de haber iniciado la precipitación al sector, los caudales son cercanos a $14.32 \text{ m}^3/\text{s}$.

La inundación máxima para Triunfadores del Ocoa calle 24 sur inicia a las 5 horas y 25 minutos de haber iniciado la precipitación al sector, los caudales son cercanos a $79.2 \text{ m}^3/\text{s}$.

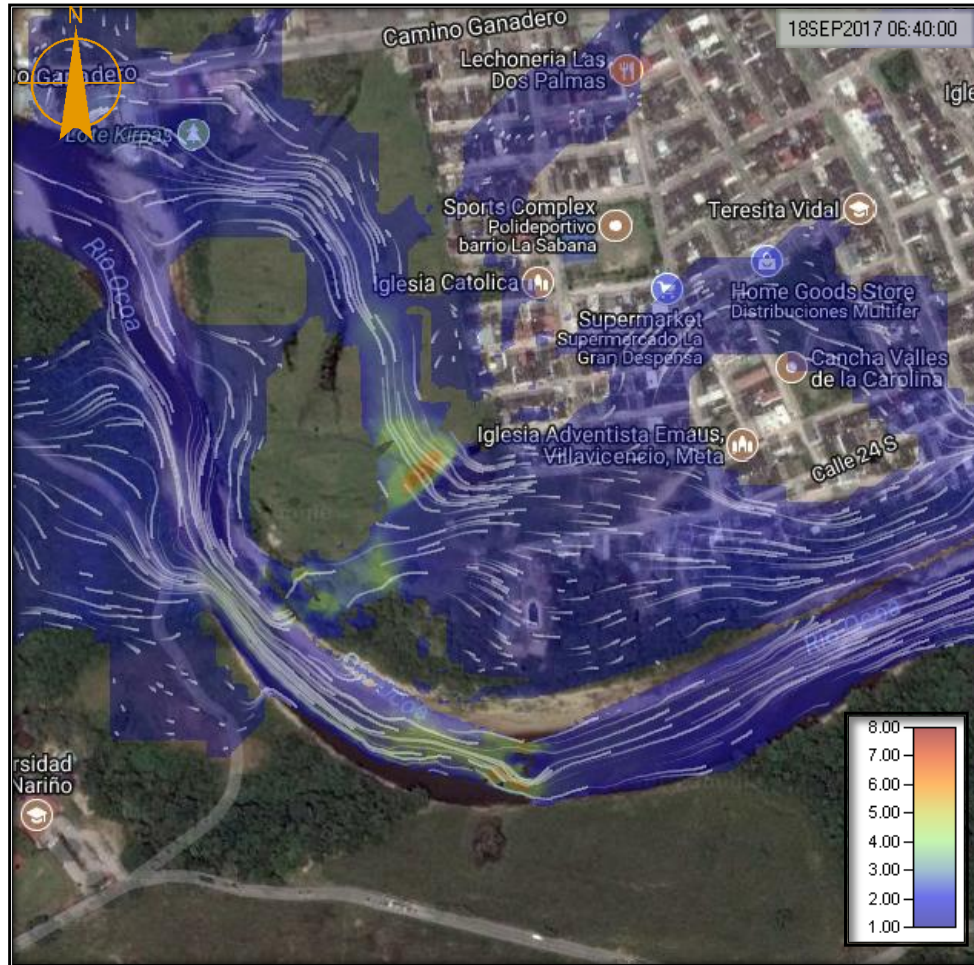


Figura 4-66 Comportamiento y velocidad de flujo inundación barrios La Sabana, La Carolina, Triunfadores del Ocoa⁴⁰. Fuente: SÁNCHEZ ARAGÓN, J.S, Marzo de 2018, por medio HEC-RAS.

La inundación evidenciada en la Figura 4-66 es producto de 3 caudales: el caudal proveniente de la inundación ocurrida al final del centro del meandro anteriormente abordado, el caudal de la inundación al interior del meandro en la vereda La Cecilia y finalmente el caudal propio del río Ocoa en su cauce natural.

Lo anterior resulta en una inundación en dos frentes al costado izquierdo del río que se unen e inundan parte de la población de La Sabana fluyendo a través del área inundada a una velocidad alrededor de los 0.2 m/s sobre el terreno, el flujo igualmente alcanza a llegar al barrio de La Carolina y finalmente se dirige hacia el sur al río Ocoa. El flujo se mueve a

⁴⁰ Tomado de Google Earth el 21/03/18

Modelación hidráulica del río Ocoa para la identificación de zonas de inundación dentro del casco urbano del municipio de Villavicencio, desde el barrio Porfía hasta Kirpas

una promedio de 0.23 m/s donde no varía en general a más de 0.4 m/s.

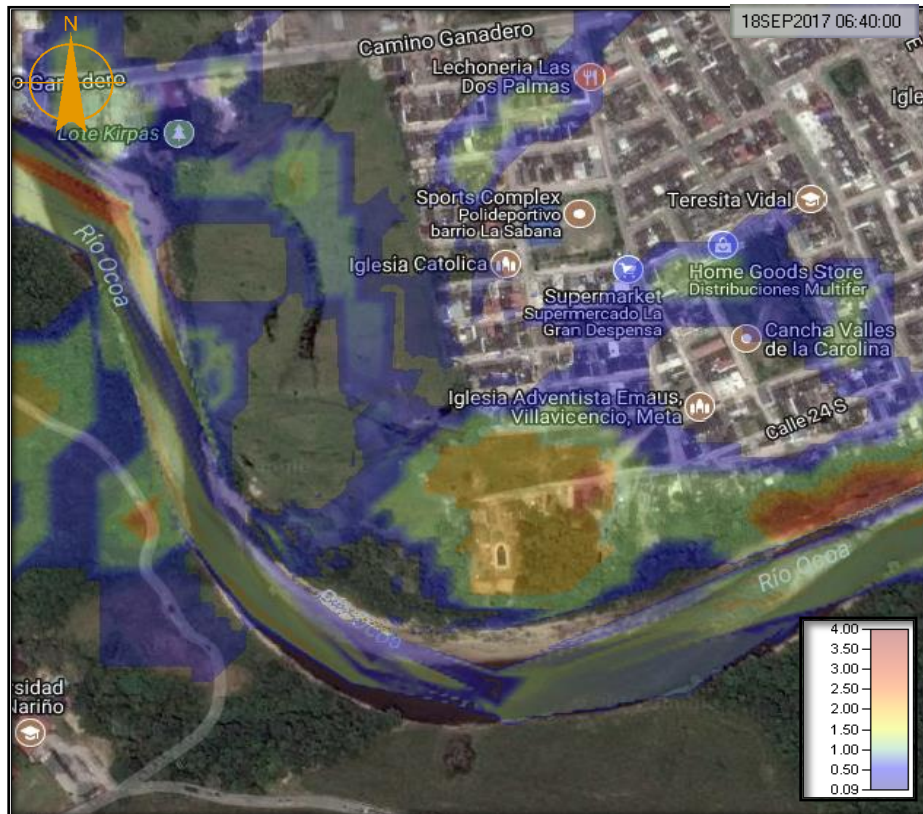


Figura 4-67Profundidades de inundación desde La Sabana ha Triunfadores del Ocoa⁴¹. Fuente: SÁNCHEZ ARAGÓN, J.S, Marzo de 2018, por medio HEC-RAS.

Teniendo en cuenta las velocidades que maneja el área inundada de ambos barrios se resuelve que los lugares con mayor profundidad son causa del llenado del terreno donde las viviendas más cercanas al río en su costado norte son los más susceptibles con profundidades que van desde 1.4 a 2.4 metros.

Las zonas más internas de los barrios se identifican profundidades que van desde los 0.4 hasta 0.9 metros y en algunas zonas alcanza los 1.4m, como se observa en la Figura 4-67.

⁴¹ Tomado de Google Earth el 21/03/18

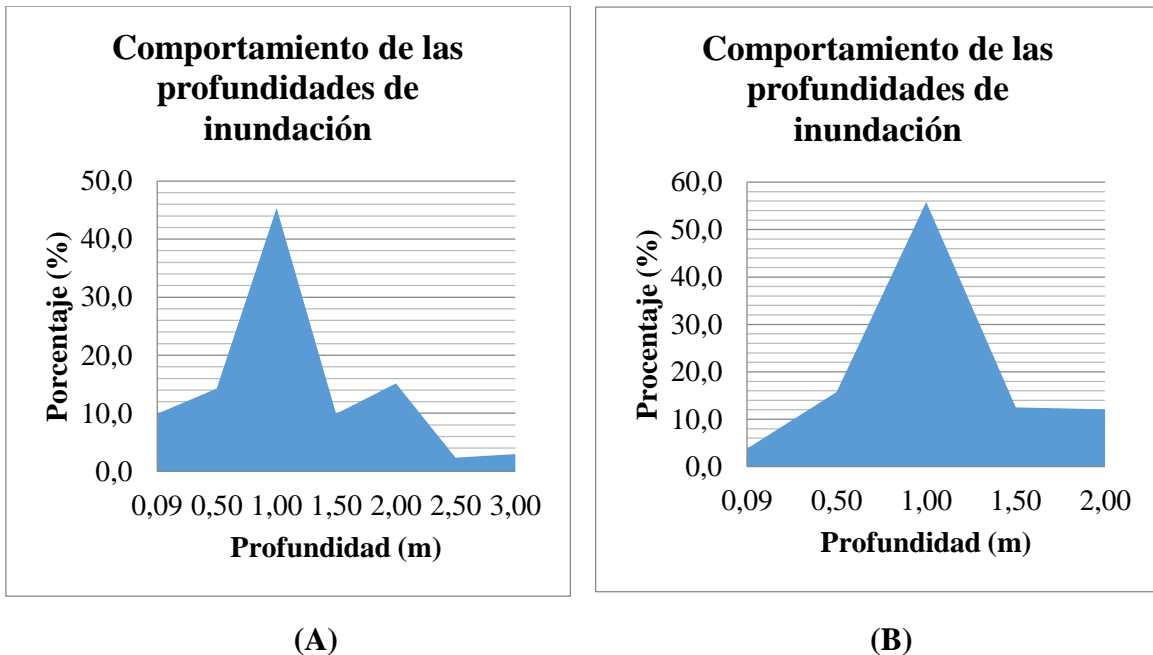


Figura 4-68 Profundidades barrio (A) La Sabana (B) La Carolina. Fuente: SÁNCHEZ ARAGÓN, J.S, Marzo de 2018.

El comportamiento a los niveles de inundación de los barrios La Sabana y La Carolina sigue la similitud en cuanto a su comportamiento con los barrios Gaviotas y Cavivir, respecto a la predominancia de las alturas que van desde los 0.5m hasta 1m y su generalidad a no presentar valores relevantes superiores a los 2m, únicamente contando con un 6% en el barrio La Sabana producto de su zona ubicada cercana a la rivera del río en los límites con el barrio Triunfadores del Ocoa.

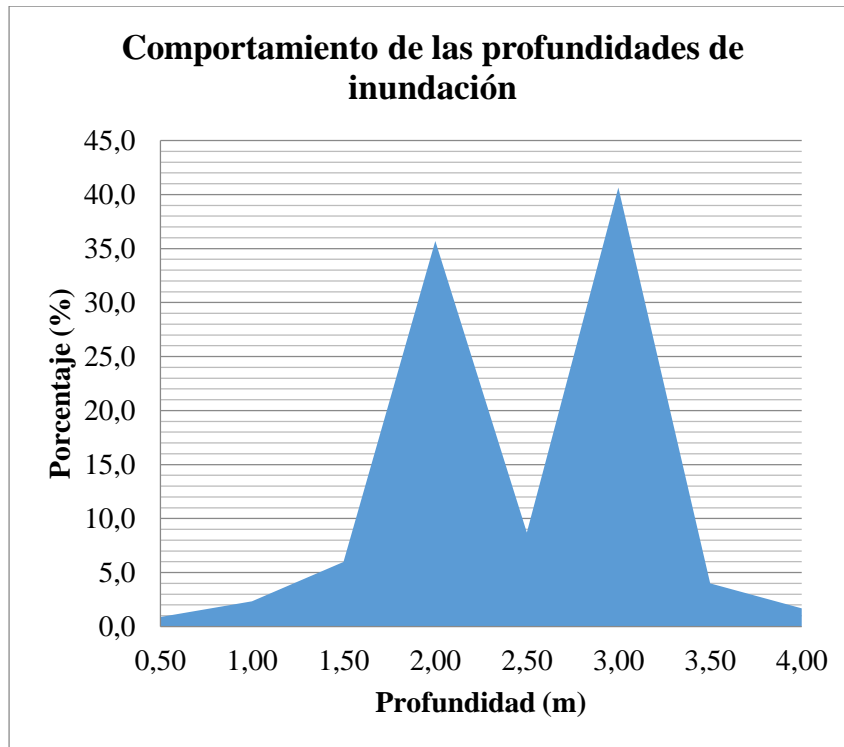


Figura 4-69 Profundidades barrio Triunfadores del Ocoa. Fuente: SÁNCHEZ ARAGÓN, J.S, Marzo de 2018

Para el barrio Triunfadores debido al comportamiento topográfico del terreno las profundidades son elevadas lo que ocasiona un represamiento de aguas donde en su parte inundada presentan un 40% del área con profundidades promedio de 2.5., así mismo las altas profundidades, se presentan en todo el lugar con valores generales mínimos de 1.5m. A manera de aclaratoria las zonas que presentan mayores profundidades no presentan viviendas pero si zonas de producción para agricultura, ganadería entre otros observados en campo.

4.1.4.5.4 Villa Samper y Kirpas

La inundación máxima para Villa Samper calle 24 sur inicia a las 5 horas y 25 minutos de haber iniciado la precipitación al sector, los caudales son cercanos a $97.67 m^3/s$.

La inundación máxima para Kirpas carrera 19E inicia a las 5 horas y 25 minutos de haber iniciado la precipitación al sector, los caudales son cercanos a $21.7 m^3/s$.

Modelación hidráulica del río Ocoa para la identificación de zonas de inundación dentro del casco urbano del municipio de Villavicencio, desde el barrio Porfía hasta Kirpas

El comportamiento de la distribución del terreno y las viviendas en las riveras de estos barrios es similar al de los que se encuentran en el mismo sector como La Sabana, paredes del río con baja altura y secciones variables a los 65 m de ancho.

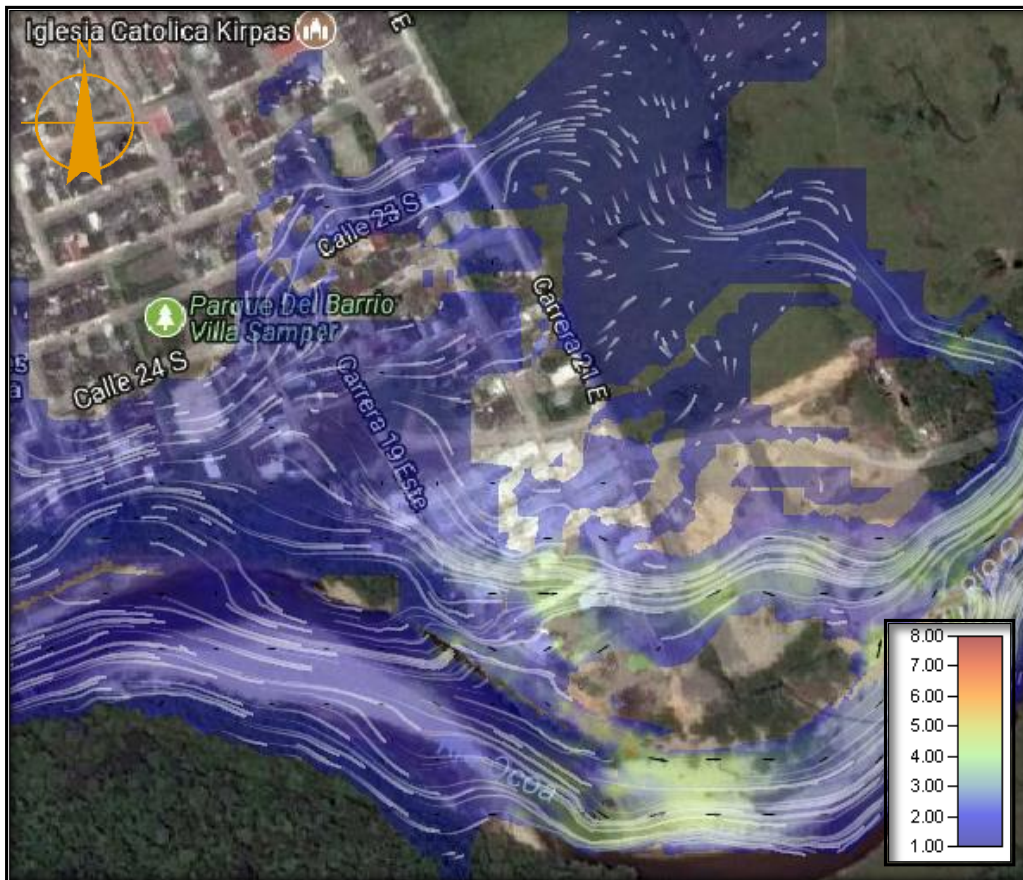


Figura 4-70 Comportamiento y velocidad de flujo inundación barrios Villa Samper y Kirpas⁴². Fuente: SÁNCHEZ ARAGÓN, J.S, Marzo de 2018, por medio HEC-RAS.

La inundación a los barrios de Villa Samper y Kirpas es el producto de las inundaciones que afecto a los barrios de La Sabana y La Coralina hacia la calle 24 sur los flujos se reúnen en una sección de 100 metros con velocidad promedio de 0.5 m/s, reunidos caudales de hasta $130 \text{ m}^3/\text{s}$ del cual aproximadamente $55 \text{ m}^3/\text{s}$ toma rumbo hacia el río Ocoa, mientras que el restante se distribuye intermitentemente por el barrio como lo evidencia la Figura 4.-71 alcanzando a la calle 23 sur al norte y a la carrera 21E en el este de Kirpas.

⁴² Tomado de Google Earth el 21/03/18

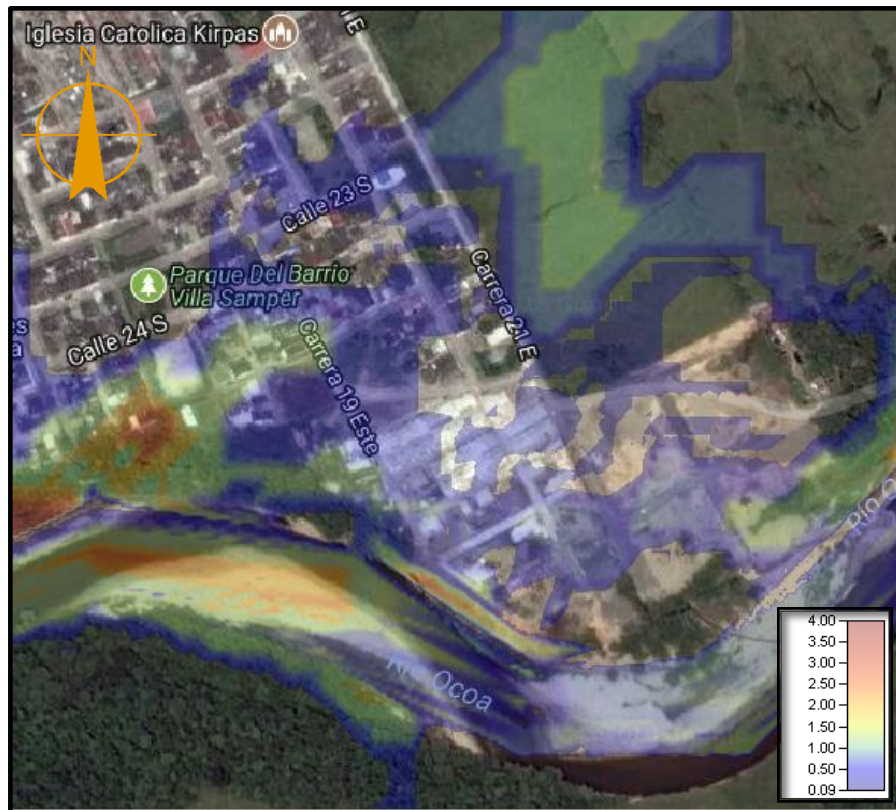


Figura 4-71Profundidades de inundación barrios Villa Samper y Kirpas. Fuente: SÁNCHEZ ARAGÓN, J.S, Marzo de 2018, por medio HEC-RAS.

Los niveles de inundación para ambos barrios en general no son mayores a 0.4 metros de profundidad excepto al sur de la calle 24 sur donde las profundidades van desde 1.5 hasta 3.4 metros, comportamiento que llega máximo hasta la carrera 19 este lugar de elevado riesgo.

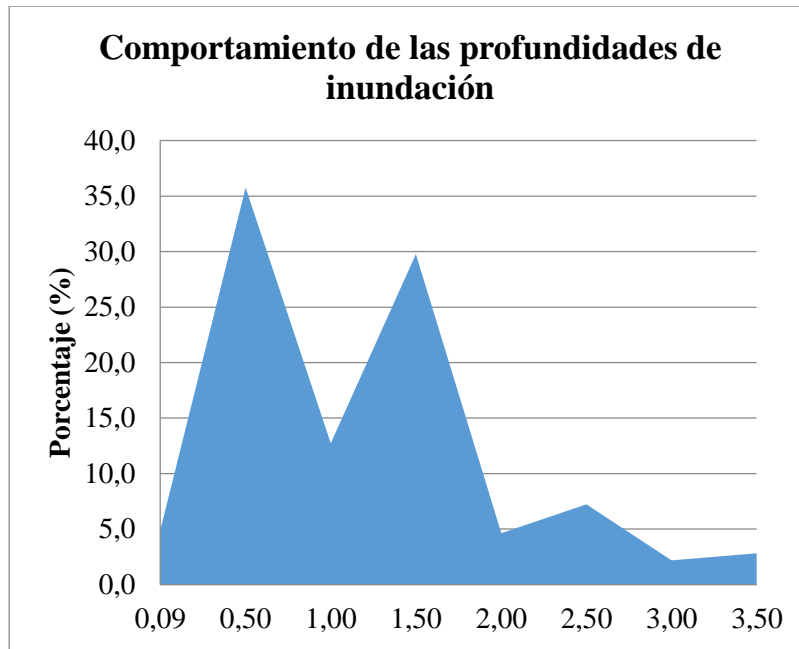


Figura 4-72Profundidades barrio Villa Samper. Fuente: SÁNCHEZ ARAGÓN, J.S, **Marzo de 2018.**

En un total para Villa Samper se observan un balance en cuanto a las profundidades de inundación menores a 1m observándose con un 54% del área total, un 30% de profundidades que llegan hasta 1.5 metros, y un restante 16% de valores que varían entre los 2m hasta 3.5m.

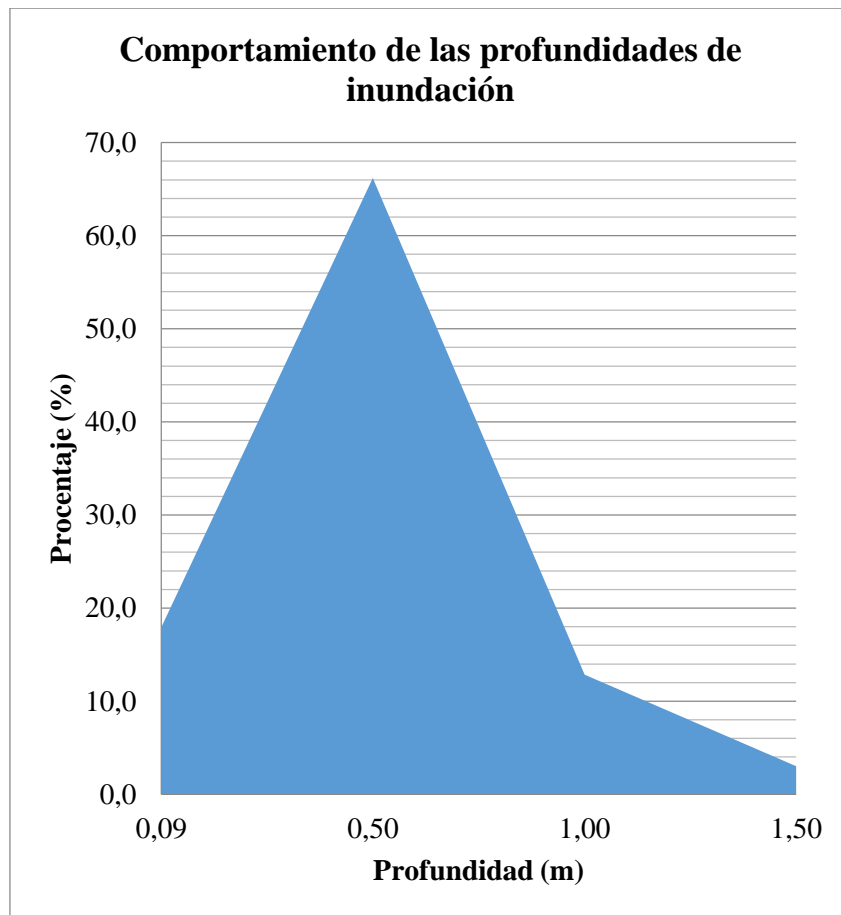


Figura 4-73 Profundidades barrio Kirpas. Fuente: SÁNCHEZ ARAGÓN, J.S, Marzo de 2018.

Las profundidades mostradas en la Figura 4-73 son el producto de lo descrito anteriormente donde el área de inundación de Kirpas no supera altas profundidades, a causa de que el flujo se distribuye en el poblado con alturas que en un 84% no supera los 0.5m, tan solo un 13% se mueve entre el rango de 0.5 a 1m de profundidad

4.1.5. Cuantificar el área urbana dentro de las zonas de riesgo resultantes.

Las inundaciones presentadas durante todo el tramo estudiado presentan profundidades que para las zonas más profundas en las áreas inundadas alcanzan los 5 metros. Con el fin de representar el nivel de inundación se divide en 3 niveles de amenaza respecto a la profundidad bajo los siguientes parámetros:

Tabla 4-2 Calificación de la amenaza.

Nivel de amenaza	Profundidades (m)
Bajo	<0.09
Medio	>0.09 - <2
Alto	>=2

Fuente: SÁNCHEZ ARAGÓN, J.S, Marzo de 2018.

Los niveles de amenaza bajo representan las zonas de acumulación de flujo bajos que no se evidencian daños para la vida humana o estructuras construidas de acuerdo a las normas

Los niveles medios representan aquellas profundidades que con velocidades altas tienen la capacidad de afectar la vida humana y causar daños a las estructuras.

El nivel de inundación alto presenta profundidades que superan más de la altura de una persona en general. Se presentan principalmente a los costados inundados del río.

En el anexo H se resumen los m^2 inundados para cada barrio teniendo en cuenta la profundidad de inundación. Del cual se obtienen los siguientes análisis:

- El barrio con mayor inundación es Kirpas con un área urbana total de $27027 m^2$, resultado de la reunión de caudales y las bajas paredes.
- En el barrio Triunfadores del Ocoa se identifica el lugar de más riesgo por desastre con un total de $15611 m^2$ del barrio, producto de los caudales que vuelven al río Ocoa.
- El barrio que posee los menores niveles de inundación es Kirpas, esto concuerda con el hecho de que es el de mayor área, el flujo se reparte uniforme sobre este barrio.
- El área de inundación en los sectores urbanizados es de $254620 m^2$.

4.1.6. Cumplimiento de objetivos específicos

Tabla 4-3 Cumplimiento de objetivos.

Resultados	Indicador	Objetivo Relacionado	Porcentaje de desarrollo
TIN con detalle cada 5 metros del río Ocoa en el tramo estudio	TIN del área de la zona estudio con detalle en la batimetría del río principal en el tramo estudio	Realizar los mapas morfométricos y de permeabilidad del área de drenaje del río Ocoa.	50%
Mapa calificación de permeabilidad	Mapa con la calificación de permeabilidad del suelo del área estudio	Realizar los mapas morfométricos y de permeabilidad del área de drenaje del río Ocoa.	50%
Mapa número de curva	Mapa de número de curva del área del área estudio	Obtener hidrogramas de crecida del área de drenaje del río Ocoa para 100 y 50 años de retorno.	100%
Zonas inundadas por el río Ocoa en el tramo estudio con urbanizaciones	Identificación de zonas inundadas por precipitación a 100 años de retorno por el río Ocoa	Identificar las zonas que posean riesgo por inundación para periodos de retorno de 100 y 50 años.	100%
Resultados	Indicador	Objetivo Relacionado	Porcentaje de desarrollo
Metros cuadrados urbanos inundados por el río Ocoa.	Metros cuadrados inundados con zonas urbanas por el río Ocoa	Cuantificar el área urbana dentro de las zonas de riesgo resultantes.	100%

Fuente: SÁNCHEZ ARAGÓN, J.S, Marzo de 2018, formato Universidad Santo Tomás

Villavicencio-Meta

5. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

5.1. Conclusiones

El conjunto de herramientas como software, y procesos permiten el cumplimiento de los objetivos planteados a pesar de tener un área de información extensa, con lo cual se demuestra que se pueden realizar estudios de gran tamaño en un tiempo reducido por medio de la actualización de herramientas digitales.

El río Ocoa ha reportado varios eventos de inundación los cuales no han tenido una adecuada relevancia debido a que no ha llegado a causar daños en áreas grandes, pero porque esperar a que estos ocurran el presente proyecto define las zonas donde se presentan las infiltraciones a las poblaciones provocando inundaciones.

Los asentamientos con mayor porcentaje de área urbanizada inundada son Kirpas, La Rosita, La Isla, Puente Caído, Triunfadores del Ocoa.

Los asentamientos con mayor amenaza por profundidad, sin evaluar la magnitud del área inundada son Puente Caído, La Cecilia.

Se observa un riesgo de importante consideración de inundación en el sector conocido como La Isla ya que presenta elevaciones menores debido a su ubicación dentro del río, ante una inundación sin aviso del río su única ruta de escape es un puente colgante ubicado a 2 metros de la lámina de agua.

El sistema de modelación hidráulica del programa HEC-RAS, presenta inundaciones en zonas donde en ocasiones anteriores se han desarrollado lo cual aumenta la confiabilidad en estas zonas para los resultados obtenidos.

5.2. TRABAJOS FUTUROS

Este proyecto se realizó estudiando un área de drenaje grande, con archivos a escala superior a 1:25000, sería ideal el estudio de áreas más pequeñas con material primario de escala significativamente más pequeña, que proporciones resultados específicos de aquellos lugares que presentan inundación.

Se realizó la inundación provocada únicamente por el río Ocoa, pero sus afluentes como caño Buque, el Maizaro, Caño Parrado, caño Pendejo entre otros que pasan por el sector central de la ciudad de Villavicencio, también pueden presentar riesgos por inundación por lo que su investigación sería de valiosa información al control de riesgos.

A pesar de que los habitantes reconocen que las zonas alguna vez se han inundado siguen construyendo en los mismos sitios, bajo el ideal de que las alturas no superarán más de los 0.5m de profundidad, el nivel de amenaza para poblaciones como La Isla son motivo para crear planes de mitigación del riesgo. Es importante la revisión al control de la construcción de viviendas a lo largo del río Ocoa ya que a pesar de presentar ya eventos donde se ve el daño que este puede causar se sigue la expansión de viviendas especialmente en Porfía.

A lo largo del levantamiento batimétrico se pudieron observar varias descargas de agua al río que no corresponden a los afluentes reconocidos, y en ocasiones presentan fuertes cambios de color, como blanco o posibles aguas negras en especial de las viviendas que se encuentran a lo largo del cauce, aunque sin embargo también se hallaron tuberías de gran magnitud. A esto se le suma el fuerte olor a lixiviados que presenta el río especialmente en la zona Kirpas. Por lo cual un estudio de la contaminación del río se debe hacer rápido para cuidar la fuente hídrica.

Se recomienda por parte del ente encargado un mayor control a la defensa del río Ocoa debido a que además de descargas contaminadas se encontraron muchos desechos a lo largo del río físicos tales como productos de aseo, plásticos, hasta un mueble en medio del río, preocupante situación de contaminación del río Ocoa.

Se recomienda el estudio de estructuras que permitan mitigar los efectos de la inundación en los sitios identificados por la amenaza en este estudio.

Se observaron viviendas en la ronda del río inmediatamente tan pronto termina el ancho del

Modelación hidráulica del río Ocoa para la identificación de zonas de inundación dentro del casco urbano del municipio de Villavicencio, desde el barrio Porfía hasta Kirpas

rio, donde no se identifican sistemas de protección por lo cual una investigación tanto de riesgo como de posibles soluciones serían viables para su mitigación por socavación u otros factores.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Informando, «Seis viviendas destruidas por aguas del río Ocoa en Villavicencio,» informando.com, 27 Marzo 2016. [En línea]. Available: <https://www.informando.com.co/es/noticias/seis-viviendas-destruidas-por-aguas-del-rio-ocoa-en-villavicencio>. [Último acceso: 04 04 2017].
- [2] Universidad Católica de Oriente-Centro de estudios regionales, «Riesgo,» de *AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA E INUNDACIONES ZONA URBANA*, Guarne, Universidad Católica de Oriente, 2014, p. 19.
- [3] AJUSTE DEL PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DEL COMPLEJO DE HUMEDALES, «Amenazas,» de *IDENTIFICACIÓN DE AMENAZAS Y VULNERABILIDADES*, Magdalena, 2011, p. 11.
- [4] Departamento Nacional de Planeación, «Una Aproximación a la Vulnerabilidad,» Gráficas Ducal Ltda., Bogotá D.C, 2007.
- [5] D. R. M. W. M. Ven Te Chow, Hidrología aplicada, Santafé de Bogotá: Nomos, 1994.
- [6] Cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos, «Hydrologic modeling system HEC-HMS,» 12 2013. [En línea]. Available: http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-hms/documentation/HEC-HMS_QuickStart_Guide_4.0.pdf. [Último acceso: 10 10 2017].
- [7] Cuerpo de ingenieros de los Estados Unidos, «HEC-RAS River Analysis System,» 02 2016. [En línea]. Available: <http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/documentation/HEC-RAS%205.0%20Users%20Manual.pdf>. [Último acceso: 10 10 2017].
- [8] Congreso de la República, «LEY N° 46 DE 1988,» de *POR LA CUAL SE CREA Y ORGANIZA EL SISTEMA NACIONAL PARA LA PREVENCIÓN Y ATENCIÓN DE*, Bogotá D.C, 1988, p. 1.
- [9] Ministerio de interior, «DECRETO 93 DE 1998,» de *Por el cual se adopta el Plan*

Nacional para la Prevención, Santa Fé de Bogotá, 1998 , pp. 3-5-6.

- [10] Departamento Nacional de Planeación, «Conpes 3146,» de *ESTRATEGIA PARA CONSOLIDAR LA EJECUCIÓN DEL PLAN NACIONAL PARA LA PREVENCIÓN Y ATENCIÓN DE DESASTRES – PNPAD - EN EL CORTO Y MEDIANO PLAZO*, Bogota D.C, 2001, pp. 4-18.
- [11] Congreso de la República, «Ley 9 de 1989,» de *Por la cual se dicatan normas sobre planes de desarrollo municipal, compraventa y expropiación de bienes y se dicatan otras disposiciones*, Bogota D.C, 1989.
- [12] Congreso de la República, «LEY 2 DE 1991,» AlcaldíadeBogotá.gov.co, 15 01 1989. [En línea]. Available: <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=1575>. [Último acceso: 12 04 2017].
- [13] MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL, «DECRETO 4002 DE 2004,» Alcaldía de Bogotá, 30 11 2004. [En línea]. Available: <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=15288>. [Último acceso: 12 04 2017].
- [14] Ministerio de medio ambiente y desarrollo sostenible, «DECRETO 2811 DEL 18 DE DICIEMBRE DE 1974,» minambiente.gov.co, 18 12 1974. [En línea]. Available: http://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/normativa/Decreto_2811_de_1974.pdf. [Último acceso: 10 10 2017].
- [15] Ministerio de medio ambiente y desarrollo sostenible, «Ref. Consulta No4120-E1-11525 del 7 de Febrero de 2007,» minambiente, 16 04 2007. [En línea]. Available: http://www.minambiente.gov.co/images/normativa/Otros/Conceptos/2007/concep_011525_2007.pdf. [Último acceso: 10 10 2017].
- [16] Ministerio de Justicia, «POR EL CUAL SE DETERMINA EL ALCANCE DE ALGUNAS EXPRESIONES USADAS EN LEYES REFERENTES A BIENES NACIONALES,» Sistema Único de Información Normativa, 26 02 1931. [En línea]. Available: [http://www.suin-juriscol.gov.co/clp/contenidos.dll/Decretos/1087429?fn=document-frame.htm\\$f=templates\\$3.0](http://www.suin-juriscol.gov.co/clp/contenidos.dll/Decretos/1087429?fn=document-frame.htm$f=templates$3.0). [Último acceso: 10 10 2017].

- [17] W. Mora y R. Ochoa, «Universidad tecnológica y pedagógica de Colombia,» 2016. [En línea]. Available: repositorio.uptc.edu.co:8080/handle/001/1677. [Último acceso: 2018 05 15].
- [18] ASOCARS, *IDENTIFICACION DE AMENAZAS Y VULNERABILIDADES*, MAGADALENA, 2011.
- [19] Universidad Católica de Oriente-Centro de Estudios Territoriales, «AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA E INUNDACIÓN ZONA URBANA,» de *VULNERABILIDADES*, Guarne, 2014, pp. 16-17.
- [20] Municipio de Villavicencio- secretaria de planeación, «DOCUMENTO TÉCNICO DE SOPORTE PLAN DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL MUNICIPIO DE VILLAVICENCIO,» 2015. [En línea]. Available: http://www.villavicencio.gov.co/Transparencia/PlaneacionGestionControl/POT_2015_Dts%20Gestion%20del%20Riesgo%20POT.pdf. [Último acceso: 03 04 2018].
- [21] Corporación fuerza Oxígeno, *PLAN DE ORDENACIÓN DE LA CUENCA DEL RIO OCOA MUNICIPIO DE VILLAVICENCIO*, Villavicencio: CORMACARENA, 2005.
- [22] IGAC, «División administrativa por Municipios de Colombia. Según El instituto geográfico Agustín Codazzi.,» 8 04 2016. [En línea]. Available: <https://geonode.umaic.org/layers/geonode:munic>. [Último acceso: 08 08 2017].
- [23] Google Earth, Google Earth, 07 10 2017. [En línea]. [Último acceso: 02 04 2018].
- [24] IDEAM, «Características climáticas de ciudades principales y municipios turísticos,» IDEAM.gov.co, sf. [En línea]. Available: <http://www.ideam.gov.co/documents/21021/21789/1Sitios+turisticos2.pdf/cd4106e9-d608-4c29-91cc-16bee9151ddd>. [Último acceso: 12 04 2018].
- [25] Google, «Google Earth,» Google, 07 10 2017. [En línea]. [Último acceso: 02 04 2018].
- [26] United States Geological Survey, «How do Landsat 8 band combinations differ from Landsat 7 or Landsat 5 satellite data?,» landsat.usgs.gov, 22 02 18. [En línea].

- Available: <https://landsat.usgs.gov/how-do-landsat-8-band-combinations-differ-landsat-7-or-landsat-5-satellite-data>. [Último acceso: 23 02 2018].
- [27] M. D. G. O. Rodrigo Vargas M., «Ecuación (9),» de *Curvas sintéticas regionalizadas de intensidad-duración-frecuencia para Colombia*, SantaFé de Bogotá, Ediciones Uniandes, 1998, p. 14.
- [28] Grupo Odinsa S.A, «ESTUDIOS DE FACTIBILIDAD PARA LA ASOCIACIÓN PÚBLICO PRIVADA DE INICIATIVA PRIVADA, RESOLUCIÓN No. 730 DE 2012. AGENCIA NACIONAL DE INFRAESTRUCTURA,» 01 02 2013. [En línea]. Available: <ftp://ftp.ani.gov.co/Iniciativas%20Privadas/IP%20Malla%20V%C3%ADal%20del%20Meta/AVN/1.7%20Hidrologia%20e%20Hidraulica/informe.pdf>. [Último acceso: 12 22 2018].
- [29] Duarte, Ing. Oscar, «Esgurrimento Superficial,» 2000. [En línea]. Available: <http://www.fca.uner.edu.ar/files/academica/deptos/catedras/riego/Archivos/Cap%2006%20-%20Esgurrimento%20Superficial.pdf>. [Último acceso: 2018 02 26].
- [30] Universidad Pontificia de Valencia, «Métodos para la determinación del tiempo de concentración (tc) de una cuenca hidrográfica,» 2013. [En línea]. Available: <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/10779/Tiempo%20de%20concentraci%C3%B3n.pdf>. [Último acceso: 12 10 2017].
- [31] J. I. V. ., M. T. B. L. F. Juan David Montoya Velilla, «Método muskingum Cunge,» 10 2016. [En línea]. Available: <http://www.bdigital.unal.edu.co/4158/1/AA3923.pdf>. [Último acceso: 25 02 2018].
- [32] Unites States Geological Survey, «Earth Explorer,» EarthExplorer.usgs.co, sf. [En línea]. Available: <https://earthexplorer.usgs.gov/>. [Último acceso: 10 10 2017].
- [33] Servicio Geológico Colombiano, «Plancha 266-001,» 01 01 2008. [En línea]. Available: <http://recordcenter.sgc.gov.co/B4/13010010002315/mapa/pdf/0101023151300002.pdf>. [Último acceso: 12 11 2017].
- [34] Ministerio de minas y energía, zonificación integral por amenazas naturales para la ciudad de Villavicencio-Meta, Bogotá D.C, 2001.

- [35] Environmental ingenieros consultores, «PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA DEL RÍO CRAVO SUR,» Corpoboyaca.gov, 15 03 2015. [En línea]. Available: <http://www.corpoboyaca.gov.co/cms/wp-content/uploads/2015/11/sintesisdeldiagnosticocravosur.pdf>. [Último acceso: 15 03 2018].
- [36] AQUAMINAS AYG SAS, «ESTUDIO GEOELÉCTRICO COMPLEMENTARIO PARA LA PROSPECCIÓN DE AGUA SUBTERRÁNEA EN EL ACUEDUCTO DEL MUNICIPIO DE YOPAL - CASANARE,» eaaay.gov, 11 2012. [En línea]. Available: <http://www1.eaaay.gov.co/contradmin/archivos/ESTUDIO%20GEOELECTRICO%20MUNICIPIO%20DE%20YOPAL.pdf>. [Último acceso: 15 03 2018].
- [37] CorpoBoyaca, «PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA DEL LAGO DE TOTA,» CorpoBoyaca.gov, 03 11 2005. [En línea]. Available: <http://www.corpoboyaca.gov.co/cms/wp-content/uploads/2015/11/diagnostico-hidrogeologico-lago-tota.pdf>. [Último acceso: 15 03 2018].
- [38] C. A. V. J. A. C. Germán Chicangana, «El posible escenario de un sismo de magnitud $\geq 6,5$ para la ciudad de Villavicencio (Colombia),» *Revista Colombiana de Geografía*, vol. 22, n° 2, 2012.
- [39] M. R. Ortiz, «En La Playita, sector de Porfía de Villavicencio, desesperados por el invierno,» hsbnoticias.com, 03 09 2016. [En línea]. Available: <http://hsbnoticias.com/noticias/local/en-la-playita-sector-de-porfia-de-villavicencio-desesperados-239021>. [Último acceso: 15 03 2018].

ANEXOS

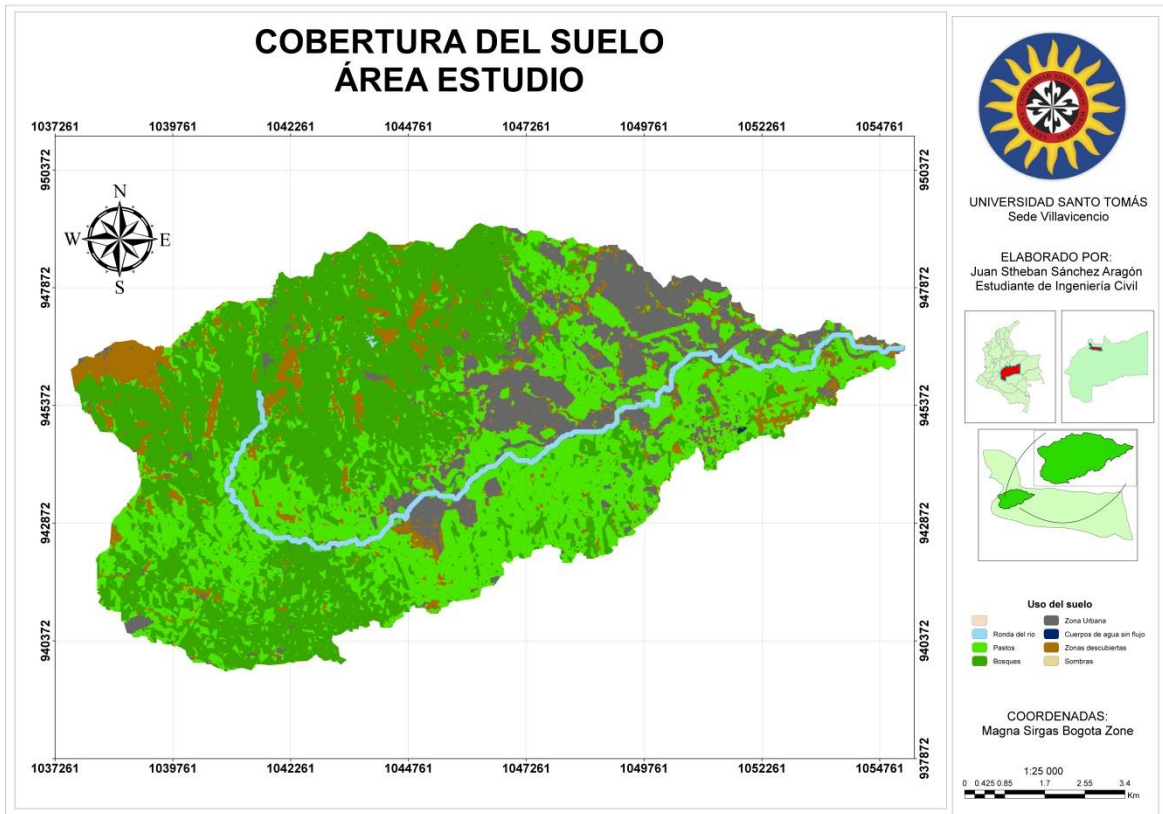
Anexo A Barrios zona estudio.



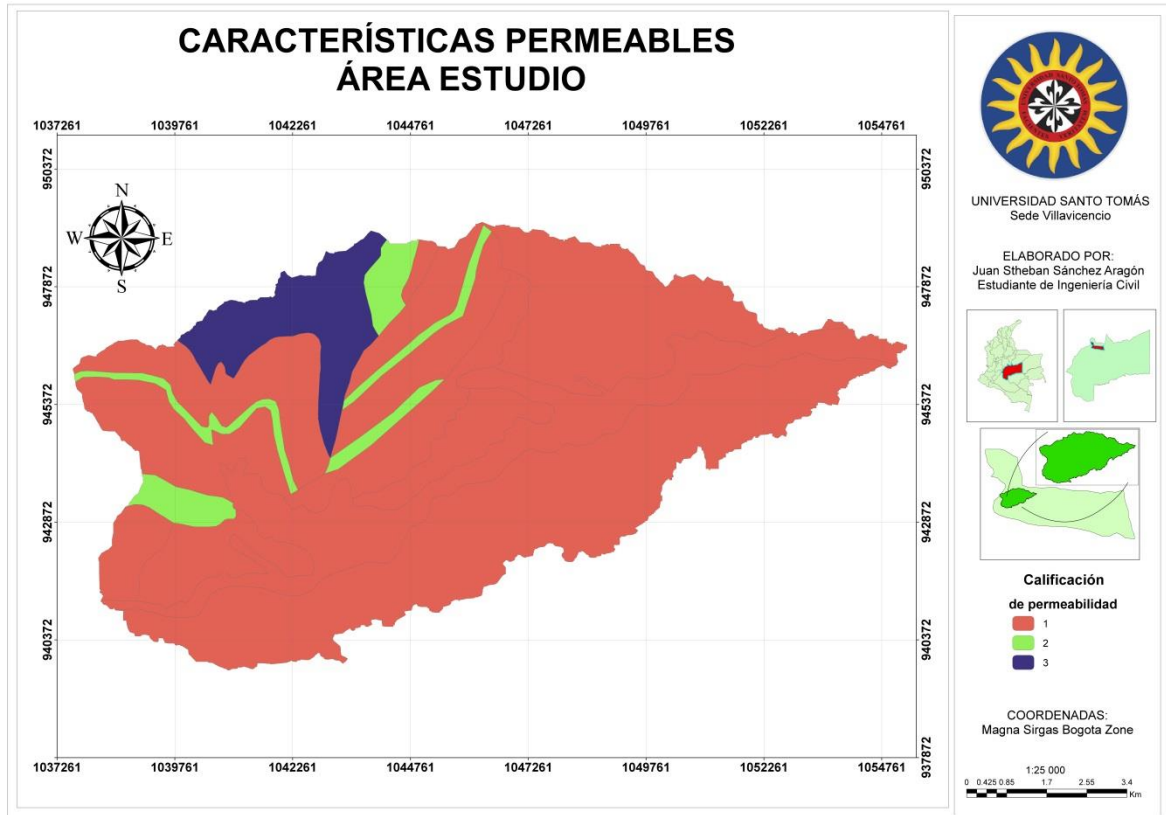
Modelación hidráulica del río Ocoa para la identificación de zonas de inundación dentro del casco urbano del municipio de Villavicencio, desde el barrio Porfía hasta Kirpas



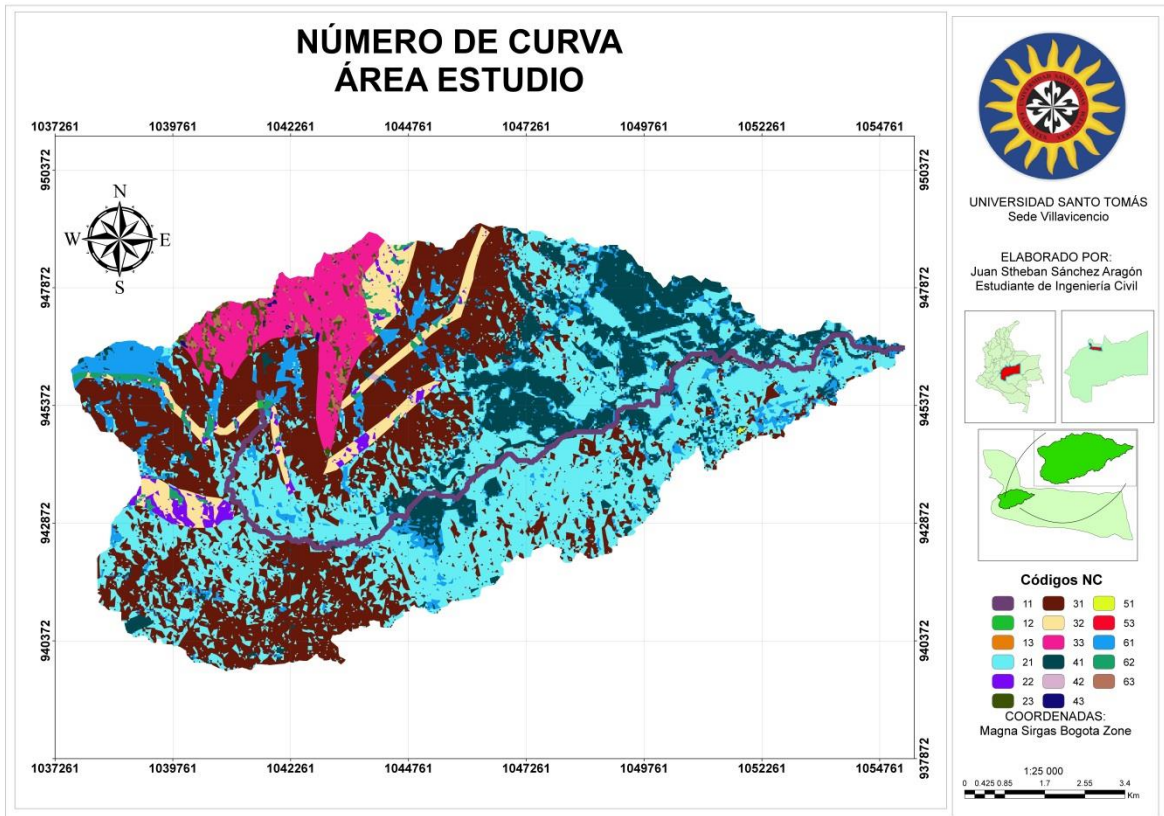
Anexo B-Uso del suelo, área de drenaje.



Anexo C-Calificación permeabilidad del suelo.



Anexo D-Número de curva, área de drenaje.



Anexo E-Datos para ingresar a HEC-HMS.

Datos para HEC-HMS					
Sub área	Pendientes (%)	Areas(Km2)	Lc (Longitud del cauce principal(m))	Tr(min)	Número de curva
1	8.03	2.72	1971.09	11.29	65.75
2	7.74	1.93	3124.70	16.33	59.09
3	2.19	0.76	1449.05	14.69	33.38
4	11.04	2.49	1890.35	9.67	44.60
5	3.12	0.90	3339.40	24.39	55.13
6	7.25	1.78	5229.75	24.89	55.52
7	7.47	1.69	8569.14	35.99	40.37
8	6.95	0.68	1118.50	7.72	39.10
9	10.46	2.58	4876.79	20.49	40.26
10	5.38	3.20	4012.14	22.77	47.29
11	11.67	4.02	2107.75	10.30	59.53
12	13.89	1.38	1159.87	6.08	39.05
13	6.26	3.06	4904.97	25.08	43.40
14	5.33	1.19	493.92	4.55	36.40
15	3.57	0.46	586.58	6.07	31.15
16	2.75	0.84	1289.86	12.30	42.80
17	1.80	1.74	1748.33	18.31	54.90
18	2.19	0.91	921.16	10.37	29.79
19	3.27	5.01	5039.86	32.86	43.53
20	3.19	2.99	5961.02	37.78	44.64
21	2.97	2.73	11000.87	62.23	53.95
22	8.29	2.51	2474.88	13.29	36.68
23	4.07	5.73	7265.64	40.03	36.53
24	5.45	9.21	11628.11	51.40	47.89
25	5.12	2.52	2622.02	16.73	37.30
26	10.42	2.52	4240.35	18.43	40.07
27	3.85	0.77	2752.04	19.38	32.25
28	6.39	4.86	3049.36	17.25	42.86
30	2.13	4.88	24291.87	130.14	39.53
31	3.61	8.94	11152.26	58.36	39.96
32	3.85	1.04	2752.04	19.38	26.40
33	2.43	14.11	8955.15	57.35	49.75
34	9.90	0.96	1370.50	7.87	35.34

Anexo F-Datos de ingreso canales, área de drenaje.

Datos de la cuenca principal método-Muskingum Cunge				
Subcuenca	Secciones de río (ID)	Ancho promedio (m)	H/V (m/m)	Longitud (m)
22	2	9	1.5	2474.88
25	4	14	1.5	2622.02
15	10	20	1.5	586.58
15	8	9.2	1.75	979.59
12	7	8.7	3	1594.89
13	9	17.5	2.5	2781.25
13	11	27	1.2	2097.02
30	14	5	0.6	24291.87
Río Principal				
23	1	12	0.9	1247.36
23	3	60	1.2	4119.11
23	5	48	2	1231.49
24	6	48	2	2986.93
24	13	53	3	2023.52
24	15	50	3.5	1965.98
24	12	50	3.5	150.00
24	16	50	3.5	650.00
24	18	58	3.5	150.00
Subcuenca	Secciones de río (ID)	Ancho promedio (m)	H/V (m/m)	Longitud (m)
24	19	43	1.5	2085.78
24	20	65	2	2470.98
24	21	66	1.2	923.95
24	17	54	1.2	2086.91
24	22	54	1.2	2986.93

Anexo G-Caudales pico de ingreso a HEC-RAS.

Lugar de ingreso	Caudal Pico m^3/s
Reach3/2	57.2
33	69.2
Reach-4+28	34.9
Reach-10+24-1	65.83
Reach-14-24-2 con base	12.37
Reach-11+9+10	143.7
26	10.7
5+2+Cbase+31	54.3
16	5.6
6	20.58
20	26.96

Anexo H-Cuantificación de área de inundación por profundidad.

BARRIO	PROFUNDIDAD >= A 2 m	PROFUNDIDADES =< 0.9m	PROFUNDIDAD >0.09m Y <2m
LA ISLA	18	1924	5916
SAN CIPRIANO	No presenta	No presenta	No presenta
VILLAS DEL OCA	1616	860	10204
LA PLAYITA	646	489	3433
CIUDAD PORFIA	1235	4354	9260
LA PLAYA	1742	90	2353
NUEVO AMANECER	No presenta	No presenta	No presenta
GUADUALES	2	9	403
SANTA LIBRADA	2	613	1676
RUBI	443	1838	7692
VILLA HERMOSA	224	301	9190
PUENTE CAIDO	2006	99	1989
SAN CAYETANO	1	9	711
PRIMERO DE MAYO	542	1387	7658
JUAN PABLO II	0	53	439
CASIBARITO	661	172	1617
ROSITA	4430	1777	12166
LA CECILIA	1138	286	2919
GAVIOTAS	1419	446	7376
CAVIVIR	2621	528	13716
ACAPULCO	2621	528	13716
SABANA	390	1370	6236
CAROLINA	3235	3841	21335
TRIUNFADORES DEL OCOA	15611	152	1433
VILLA SAMPER	3056	884	14197
KIRPAS	0	5906	27027